

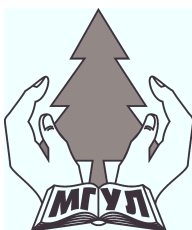
**ПРАВИТЕЛЬСТВО РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени М.В.Ломоносова**

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ЛЕСА**

# **ПОЧВЫ В БИОСФЕРЕ И ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА**

## **Монография**

**Научные редакторы:  
академик РАН Г.В. Добровольский  
д.б.н. Г.С. Куст  
д.т.н. Санаев В.Г.**



Москва  
Издательство Московского государственного университета леса  
2012

УДК 631.4

Авторы: **Добровольский Г.В., Куст Г.С., Чернов И.Ю., Добровольская Т.Г., Лысак Л.В., Андреева О.В., Степанов А.Л., Ковалёва Н.О., Макеев А.О., Федотов Г.Н., Шалаев В.С., Соколов М.С., Розов С.Ю., Смагин А.В., Ковалёв И.В., Медведева О.Е., Бессонова Е.А., Попова Л.В., Рыхликова М.Е., Рахлеева А.А., Мартыненко И.А.**

П65 Почвы в биосфере и жизни человека: монография. – М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2012. – 584 с.

ISBN 978-5-8135-0571-3

Монография является результатом многолетней работы сотрудников Института экологического почвоведения МГУ и их коллег из других учреждений, работающих по проблематике ИЭП МГУ и его программам, или по проблемам, связанным с экологическим почвоведением. В определенной степени данная книга продолжает цикл монографических работ института, вышедших ранее под названиями «Структурно-функциональная роль почв в биосфере» (1999), «Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере» (2003), и отвечает научному направлению «Исследование функций почв и разработка методов их регулирования в целях устойчивого управления почвенными ресурсами». Публикуемые материалы развивают представление о роли почв в биосфере и жизни человека. Авторы стремятся дать ответ на вопрос о том, что же представляет собой «экологическое почвоведение», постепенно приобретающее формы новой самостоятельной отрасли науки, стремящейся раскрыть роль почв в биосфере и жизни человека на базе достижений «фундаментального почвоведения» - учения о генезисе почв, их свойствах и распространении. В книге в общем виде дается очерк состояния современного экологического почвоведения, намечаются основные направления и перспективы развития, особенно находящиеся на стыке наук, причем не только естественных, но социальных и гуманитарных в том числе. Делается акцент на важность смещения вектора современной научной методологии в сторону «устойчивого управления» почвенными ресурсами на основе познания механизмов их функционирования и откликов на изменения в биосфере и антропогенные воздействия. Как и в предыдущих монографиях этой серии, почвоведы вновь обращают внимание ученых смежных специальностей и лиц, принимающих решения, на важнейшую роль почв в составе природных ресурсов, а также в качестве регуляторов состояния биологических, социальных и экономических систем.

ISBN 978-5-8135-0571-3

© Авторы глав, 2012

© Институт экологического почвоведения МГУ, 2012

© Факультет почвоведения МГУ, 2012

© ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2012

**GOVERNMENT OF THE RUSSIAN FEDERATION  
MOSCOW LOMONOSOV STATE UNIVERSITY**

**MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION  
MOSCOW STATE FOREST UNIVERSITY**

# **SOILS IN THE BIOSPHERE AND HUMAN LIFE**

**Monography**

**Scientific editors:  
Gleb V. Dobrovolsky  
German S. Kust  
Viktor G. Sanaev**



Moscow  
Moscow State Forest University Publishing  
2012

Authors: **G.V. Dobrovolsky, G.S. Kust, I.Yu. Chernov, T.G. Dobrovolskaya, L.V.Lysak, O.V. Andreeva, A.L. Stepanov, N.O. Kovaleva, A.O. Makeev, G.N.Fedotov, V.S. Shalaev, M.S. Sokolov, S.Yu. Rozov, A.V. Smagin, I.V.Kovalev, O.E. Medvedeva, E.A. Bessonova, L.V. Popova, M.E. Rykhlikova, A.A. Rakhleeva, I.A. Martynenko**

**Soils in the Biosphere and Human Life.** Monography / Editors: Gleb V. Dobrovolsky, German S. Kust and Viktor G. Sanaev. — Moscow: Moscow State Forest University, 2012. — 584 c.

ISBN 978-5-8135-0571-3

The monograph results from a long-term study of researchers working in the Institute of Ecological Soil Science of the Moscow Lomonosov State University, and their colleagues from other organizations working on problematic and programs of IESS MSU connected with ecological/environmental soil science. To certain degree this book continues a cycle of monographic works published by the Institute in recent past: «Structural and functional role of soils in biosphere» (1999), «Structural and functional role of soils and soil biota in biosphere» (2003), and sums the results of the IESS scientific programme «Study of soil functions and development of methods for their regulation and sustainable management of soil resources». Published materials develop the concept about a soils role in biosphere and human life. Authors aspire to answer a question what is the «ecological/environmental soil science» itself as a new developing branch of soil science aiming to show a role of soils in biosphere and human life on the basis of achievements of so called "fundamental soil science» - a science about soil genesis, their properties and processes, and geographic distribution. A general review about the status of modern ecological/environmental soil science is given in the book; and also the basic directions and prospects of its development are outlined, especially those connected to interdisciplinary and multidisciplinary sciences, including not only natural history, but social and humanitarian sciences as well. It is underlined that a vector of modern scientific methodology changes aside «sustainable management» of soil resources on the basis of knowledge of mechanisms of their functioning, and of soil responses to biospheric changes and human impact. As well as in the previous books of this series, soil scientists again draw attention of scientists and decision makers to the major role of soils as a part of natural resources, and also as regulators of biological, social and economic systems conditions.

ISBN 978-5-8135-0571-3

© Authors of chapters, 2012  
© Institute of Ecological Soil Science, MSU, 2012  
© Faculty of Soil Science, MSU, 2012  
© Moscow State Forest University, 2012

## Оглавление

Экологическое почвоведение – новое направление в науке о почвах (вместо предисловия) <i>Добровольский Г.В., Куст Г.С.</i>	9
--	---

### **Раздел 1. ПОЧВЫ И БИОСФЕРА**

Педосфера как оболочка высокой концентрации и разнообразия жизни на планете Земля <i>Добровольский Г.В.</i>	20
--	----

Проблемы и перспективы изучения биоразнообразия почв <i>Чернов И.Ю., Добровольская Т.Г., Лысак Л.В.</i>	35
--	----

Проблема опустынивания и почвы <i>Куст Г.С., Андреева О.В.</i>	70
---	----

Образование и поглощение парниковых газов в почвах <i>Степанов А.Л.</i>	118
--	-----

Горные почвы как архив палеоэкологической информации <i>Ковалёва Н.О.</i>	135
--	-----

Экологическая роль палеопочв в геологической истории Земли <i>Макеев А.О.</i>	183
--	-----

Структурная организация почвенных гелей и функционирование почв <i>Федотов Г.Н., Шалаев В.С.</i>	284
---	-----

### **Раздел 2. ПОЧВЫ И ЧЕЛОВЕК**

Почвы - многофункциональный ресурс и природное богатство. Ресурсология почв и почвенно-экологическая оценка <i>Куст Г.С.</i>	322
---	-----

Актуальные задачи оздоровления почв России <i>Соколов М.С.</i>	356
---	-----

Оценка почвенно-экологических рисков в связи с проблемой деградации сельскохозяйственных земель <i>Розов С.Ю.</i>	385
--	-----

Экологическая оценка и менеджмент городских почв <i>Смагин А.В.</i>	393
--	-----

Инженерное почвоведение и почвенно-ландшафтный инжиниринг <i>Ковалёва Н.О., Ковалёв И.В.</i>	447
Методологические принципы экономической оценки почвенных и земельных ресурсов <i>Медведева О.Е.</i>	470
Общие вопросы и проблемы эколого-экономической реабилитации сельскохозяйственных земель <i>Бессонова Е.А.</i>	505
<b>Раздел 3. ОБРАЗОВАНИЕ В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИЧЕ- СКОГО ПОЧВОВЕДЕНИЯ</b>	
Преподавание основ экологического почвоведения в МГУ – современное состояние и проблемы <i>Розов С.Ю., Попова Л.В.</i>	537
Экологическое почвоведение для средней школы: методы популяризации и инновационные подходы в МГУ <i>Рыхликова М.Е., Рахлеева А.А., Мартыненко И.А.</i>	545
<b>Краткий словарь по экологическому почвоведению (предложенные и используемые основные термины и определения)</b>	561
<b>Сведения об авторах</b>	576

## ***Content***

Environmental Soil Science as a new concept (instead of preface) <i>Gleb V. Dobrovolsky, German S. Kust.</i>	9
---	---

### ***Part 1. SOILS AND BIOSPHERE***

The pedosphere as a membrane of the highest density and diversity of life on the Earth <i>Gleb V. Dobrovolsky</i>	20
Problems and perspectives of soil biodiversity study <i>Ivan Yu. Chernov, Tatyana G. Dobrovolskaya, Lyudmila V. Lysak</i>	35
Desertification problem and soils <i>German S.Kust, Olga V. Andreeva</i>	70
Formation and absorption of greenhouse gases in soils <i>Alexey L. Stepanov</i>	118
Mountain soils as a archive of palaeoecological information <i>Natalia O. Kovaleva</i>	135
Ecological significance of paleosols in the geologic history of the Earth <i>Alexander O. Makeev</i>	183
Structural arrangement of soil gels and functioning of soils <i>Gennadiy N. Fedotov, Valentin S. Shalaev</i>	284

### ***Part 2. SOILS AND MAN***

Soils as a multifunctional resource and natural wealth. Soil and ecological assessment and soil resources study <i>German S. Kust</i>	322
Actuality of soil remediation in Russia <i>Mikhail S. Sokolov</i>	356
Soil and ecological risk assessment in connection with agricultural land degradation issue <i>Sergey Yu. Rozov</i>	385
Ecological assessment and management of urban soils <i>Andrey V. Smagin</i>	393

Soil science and landscape engineering <i>Natalia O. Kovaleva, Ivan V. Kovalev</i>	447
Methodological principles for economic evaluation of soil and land resources <i>Olga E. Medvedeva</i>	470
General issues of ecological and economic rehabilitation of agricultural lands <i>Elena A. Bessonova</i>	505
<b><i>Part 3. ENVIRONMENTAL SOIL SCIENCE EDUCATION</i></b>	
Teaching of environmental soil science in Moscow Lomonosov State university: status and problems <i>Sergey Yu. Rozov, Lyudmila V. Popova</i>	537
Environmental soil science for secondary school study: methods of popularization and innovation approaches in Moscow University <i>Marina E. Rykhlikova, Anna A. Rakhleeva, Irina A. Martynenko</i>	545
<b>Glossary on environmental/ecological soil science (used and offered main terms and definitions))</b>	561
<b>About authors</b>	576



## **Экологическое почвоведение – новое направление в науке о почвах (вместо предисловия)**

### ***Причины появления и становления экологического направления в почвоведении***

Экологизация человеческого сознания и современной цивилизации происходит на наших глазах, в течение жизни одного поколения. Фактически, в течение менее чем 100 лет можно проследить, как менялись концепции взаимодействия общества и природы на глобальном уровне: от потребительского отношения к природе и ее ресурсам («нам нечего ждать милостей от природы...») через концепции невмешательства в природу и охраны природы, - к учению о ноосфере, концепции разумного ограничения экономического развития, потребностей и народонаселения, и наконец – к концепциям устойчивого, а точнее - сбалансированного бескризисного социально-экономического развития, и экологической безопасности. Соответственно менялись и концептуальные представления человечества по вопросам управления природными ресурсами: от исправительных, превентивных и фрагментарных методов – к системным мерам планирования, предупреждения, профилактики, реабилитации, рециклинга, а также восстановления, расширения и наращивания ресурсных качеств.

Тем более актуально и удивительно звучат сегодня мысли основателя современного почвоведения В.В. Докучаева о становлении учения «о многосложных и многообразных соотношениях и взаимодействиях, а равно и законах, управляющих вековыми изменениями их, которые существуют между так называемой живой и мертвой природой..., ... и человеком, гордым венцом творения». По гениальному предсказанию В.В.Докучаева, это новое учение, которое мы сегодня называем «учением об окружающей среде», «экологией» в широком смысле этого слова, полноправно займет центральное место среди важнейших отделов естествознания и учения о человеке. При этом ближе всего стоящим к этому новому учению, и составляющим его главное центральное ядро, В.В.Докучаев называл НОВЕЙШЕЕ ПОЧВОВЕДЕНИЕ (выделение Докучаева – «Место и роль современного почвоведения в науке и жизни», 1898).

В связи со сказанным представляется совершенно закономерным, что в свете решений и развития идей Стокгольмской конференцией по человеку и окружающей среде (1972 г.) и Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро (1992 г.), определившей принципы и направления мирового сбалансированного развития на XXI век, современное почвоведение, до сих пор ошибочно воспринимаемое многими как отраслевая наука, имеющая в первую очередь отношение к сельскому хозяйству и проблемам плодородия, постепенно возвращается на докуча-

евские позиции, незаслуженно подзабытые в период «активного потребления природных богатств», приведшего к современному глобальному экологическому кризису.

Поэтому закономерно и то, что в 1985 году на съезде Всесоюзного общества почвоведов в Ташкенте и в 2000 году на III съезде Докучаевского общества почвоведов в Суздале в докладах Президентов обществ было обосновано появление и становление нового научного направления - экологического почвоведения, методологической основой для которого стало учение об экологических функциях почв. С появлением экологического почвоведения наступил новый период и в развитии самого почвоведения как фундаментальной науки, объектами изучения которой являются почвы как полифункциональные системы, имеющие глобальное значение для биосферы и развития человеческой цивилизации.

### ***Определение «экологического почвоведения» и его научные разделы***

Что же такое экологическое почвоведение? До каких пределов распространяются интересы этого научного направления, если с уверенностью можно говорить, что из всего многообразия проблематики современной науки о почве вряд ли можно выделить нечто, что так или иначе не затрагивало бы экологические аспекты. Ведь любые разделы почвоведения, от традиционных (генезис и география почв, химия почв, физика почв, биология почв и др.) до самых современных направлений, таких как педометрика и почвенная информатика, в той или иной мере затрагивают вопросы, связанные с ролью почвы в природе и в жизни людей. И всё же смыслового равенства между терминами «почвоведение» и «экологическое почвоведение» поставить нельзя, как нельзя приравнять, например, «геологию» и «историческую геологию». Классическое генетическое почвоведение является фундаментальной базой для экологического почвоведения, и вместе с тем, уже не может существовать без экологического направления, поскольку именно последнее расширяет современное почвоведение как фундаментальную науку. Диалектическое единство их состоит в том, что экологическое направление не противостоит и не заменяет генетического почвоведения, а расширяет сферу его значения, опирается на его фундаментальные разработки, и ни в какой мере не снимает необходимости дальнейшей разработки проблем генезиса, систематики, эволюции, географии и классификации почв, теории и практики управления плодородием почв и методов их мелиорации.

В эпоху стремительно развивающихся информационных технологий и нарастающей интенсивности интегрированных научных исследований наблюдается рост числа междисциплинарных работ как в рамках естествознания, так и на стыке естественных, гуманитарных, экономических, инженерных, сельскохозяйственных и медицинских дисциплин. Именно

здесь экологическое направление находит обширное поле для применения наработанных почвоведением подходов и методов, позволяющих учитывать экологическую роль почв и объяснять многие механизмы взаимодействия различных компонентов экосистем и биосферы в целом. И именно междисциплинарный характер экологического почвоведения придаёт ему особую значимость и привлекает к нему внимание всё возрастающего числа специалистов разного профиля.

Так, всего за несколько последних десятилетий экологическое почвоведение, приобретая черты новой отрасли науки о почвах, вобрало в себя все больше научных тем: получили развитие экологическое картографирование почв, теории почвенно-экологических рисков и почвенно-экологического состояния земель, биотестирование почв. Обновленная концепция почвенных ресурсов опирается преимущественно на оценку экологических качеств почв, важных для современного производства и управления; развиваются направления почвенно-экологической оценки, управления почв, паспортизации и стандартизации почвенных ресурсов и ресурсных качеств. Экологические подходы проникли даже в такие разделы почвоведения как палеопочвоведение, эволюция почв и микропочвоведение. Они помогают решать многие экологические проблемы, имеющие не только специальный и локальный, но и глобальный характер: климатические изменения, деградация земель и опустынивание, сохранение биологического разнообразия.

Все это нашло отражение и в структуре научных учреждений, работающих в области почвоведения: Институт почвоведения МГУ-РАН в начале 2000-х годов был переименован в Институт экологического почвоведения МГУ, и является в настоящее время головным учреждением в области разработки теории и методов экологического почвоведения; в составе направлений работ многих научных учреждений появились «экологические» темы; наконец, именно на факультете почвоведения МГУ впервые открыта университетская специальность «экология».

Давая краткое *определение экологическому почвоведению*, можно сказать, что *это - направление в современном почвоведении, изучающее роль почв как уникальной среды обитания растений, животных, микроорганизмов, и особенно – в жизнедеятельности человека, в функционировании биосферы и отдельных экосистем*. Именно эта формулировка послужила основанием для названия данной монографии – «Почвы в биосфере и жизни человека».

В экологическом почвоведении, которое в качестве одной из целей видит сближение почвоведения с сопредельными естественными и гуманитарными, экономическими и социальными науками, в настоящее время уже оформились самостоятельные тематики и направления, которые в це-

лом можно свести к четырем основным разделам, составившим основу для рубрикации данной книги.

В первом разделе «Почвы и биосфера (почвы и сферы Земли)» экологическое почвоведение рассматривает такие проблемы как:

- оболочечная парадигма (педосфера как особая глобальная оболочка, концепция геодермы);
- почвы и потоки вещества и энергии (деструкция, трансформация, круговороты, синтез, регулирование);
- почвы и биоразнообразии, почвенная биота;
- функции почв в биосфере и отдельных экосистемах;
- почвы и наномир биосферы (фундаментальные основы почвенных нано- и биотехнологий, биоинженерии);
- ключевые биосферные свойства и функции почв;
- почвенно-экологические биосферные риски и управление ими.

Во втором разделе «Почвы и человек» ставятся следующие проблемы:

- почвы как самостоятельный вещественный и многофункциональный ресурс и природное богатство (ресурсология почв);
- почвы и основные сферы человеческой деятельности;
- истощение почвенных ресурсов и охрана почв;
- почвы и здоровье человека, почвенно-геохимические провинции;
- почвы, экология, экономика и право;
- критические для человека и сообществ почвенные явления и состояния;
- почвы и развитие человеческой цивилизации - сельское хозяйство и промышленность, религия, наука, культура; урбанизация
- почвы и социальная структура общества;
- экологическое просвещение и образование.

Третий раздел «Почвы в настоящем, прошлом и будущем» поднимает такие проблемы как:

- почвы и информация,
- изменчивость и эволюция почв;
- формирование почв в геологическом и историческом прошлом;
- возрастание роли почв в настоящем;
- «глобальные» экологические международные конвенции (глобальный климат, биоразнообразии, опустынивание, культурное и природное наследие), роль почв и почвоведов в их решении;
- проблемы почв будущего;
- конструирование искусственных почв,

- экологическое почвоведение и его взаимосвязь с другими «экологиями» (агроэкология, промышленная экология, санитария, эпидемиология и токсикология, геоэкология, политическая экология, и пр.)

Четвертый раздел предусматривает развитие собственных методов и методологии экологического почвоведения, их интеграцию с методами и подходами других наук, технологий и областей знания, исследующих проблемы окружающей среды:

- применение фундаментальной методологической базы учения о функциях почв в отраслевых научных исследованиях;
- методы исследования взаимодействия почв с другими компонентами биосферы и экосистем на микро- и макроуровнях, в локальном, региональном и глобальном масштабах;
- применение методов почвоведения в междисциплинарных областях исследования окружающей среды.

Не все из перечисленного в этих четырех разделах экологического почвоведения нашло отражение в данной монографии. Да это и не удивительно, поскольку экологическое направление в почвоведении только развивается, хотя и весьма бурно. Намечая базовые контуры этого направления в представленных читательскому вниманию главах, нам хотелось придать стимул его развитию, привлечь заинтересованных ученых, представляющих разные области знания, к многостороннему сотрудничеству, в рамках которого понимается и признается уникальная и многофункциональная роль почв как природного ресурса и компонента биосферы.

## **Environmental Soil Science as a new concept (instead of preface)**

### *The reasons of formation and development of ecological/environmental<sup>1</sup> concept in soil science*

The ecologization of human consciousness and modern civilization occurs about the ears of one generation. Actually, within less than 100 years it is possible to track as concepts of global interaction of human life and nature varied: from the selfish consumer relation to the nature and its resources («we have nothing to wait for favour by nature ...»), through concepts of non-interference to the nature and nature protection, to the doctrine about a noosphere, the concept of reasonable constraints for economic development, consumptions and population, and at last – to the concepts of sustainable and proportional social and economic development, and ecological safety. Correspondingly the conceptions on management of natural resources varied from correctional and penitential, preventive and fragmentary methods – to systematic measures of planning, prevention, maintenance, rehabilitation, and recycling, as well as restoration, expansion and increasing of resource qualities.

The more important and surprising the thoughts of V.V. Dokuchaev, the founder of modern soil science, sound today about the formation of the conception «about comprehensive and diverse parities and interactions, and also about the laws governing their secular changes which exist between the so-called alive and dead nature ..., ... and man, a proudcrown of Creation». For V.V.Dokuchaev's ingenious prediction, this new doctrine which we name today as «environmental science», and/or "ecology" in a broad sense of this word, will fully take the central place among the most important schools in natural sciences, and concepts of human life. At the same time V.V.Dokuchaev called the NEWSET SOIL SCIENCE (emphasized by Dokuchaev in "The Place and Role of Modern Soil Science in Science and Life", 1898) as standing closest to this new doctrine, and as a main component of its central core.

In this connection it seems quite natural that according to the ideas and development processes of Stockholm Conference on Man and Environment (1972) and UN Conference on Environment and Development in Rio de Janeiro (1992), which defined the principles and main direction of world sustainable development in XXI century, the modern soil science, so far wrongly perceived by many as an industry science, related primarily to agriculture and fertility issues, gradually returns to Dokuchaev's positions, which have been half-forgotten in

---

<sup>1</sup> “Environmental” and “ecological” in case of soil science usually is translated to Russian in same word – “ekologicheskoe pochvovedenie”. To our consideration the English term “environmental” is more close to the discussed topic than “ecological”, but in this chapter we use both terms as synonyms, taking into account that this book is mainly oriented on the Russian speaking auditory.

the period of "active consumption of natural resources" that led to the present global environmental crisis.

Therefore it is also logically that in 1985 at the Congress of All-Union Society of Soil Science in Tashkent and at the III Congress of the Dokuchaev Soil Science Society in Suzdal in 2000 in the President's reports it has been justified and the appearance of a new scientific field - environmental soil science, which methodologically based on the scientific concept of ecological functions of soils. With the advent of environmental branch the soil science has entered a new period of its development as a fundamental science, which study soils as a multifunctional systems of global importance for biosphere and development of human civilization.

### ***Definition of "Environmental Soil Science" and its scientific sections***

What is the environmental soil science? To what extend the interests of this research direction expand, if it is safe to say that one can hardly distinguish something in modern soil science that somehow did not involve environmental issues. Any sections of soil science, either traditional (genesis and geography of soils, soil chemistry, soil physics, soil biology, etc.) or the most modern trends (such as pedometrics and soil informatics) relate to the matters of soil role in nature and people's lives. Yet the semantic equality between the terms "soil science" and "environmental soil science" can not be put as it is impossible to equate, for example "geology" and "historical geology". Classical genetic soil science is the fundamental basis for environmental soil science, and yet, can not exist without the environmental aspect, since the latter extends the modern soil science as a fundamental science. Their dialectical unity is that the environmental area is not opposed to and not a substitute for genetic soil science, but broadens the scope of its value based on its fundamental design, and in no way eliminates the need to further develop the problems of soil genesis, taxonomy, classification, evolution, and soil geography, as well as theory and practice of soil fertility management and methods for their amelioration.

In an era of rapidly developing information technologies and raising intensity of integrated researches a number of interdisciplinary activities significantly increased as in the framework of natural science, and at the intersection of natural, human, economic, engineering, agricultural and medical disciplines. This is where the environmental concept finds a vast field of soil science-established approaches and methods that provides taking into account the ecological role of soil and to describe mechanisms of interaction of various components of ecosystems and the biosphere. That is the interdisciplinary nature of environmental soil science which gives it special significance and attracts the attention of a growing number of different specialists.

So, during just the past few decades, the environmental soil science, getting the features of a new branch of soil science, has absorbed more and more scientific topics that has been developed very fast: ecological mapping of soils,

the theory of soil-environmental risks and environmental assessment of soils and lands, biotesting of soils. The updated concept of soil resources is based primarily on the assessment of the environmental qualities of soils, which are important for production and management. It includes such developing items as soil and environmental assessment, soil management, certification and standardization of soil resources and resource properties. Ecological/environmental approaches have penetrated even into such topics as paleopedology, soil evolution, and micropedology. They help to solve many environmental problems, which are not just local and special, but have global importance: climate change, land degradation and desertification, the biological diversity conservation.

All this updated the structure of scientific institutions working in the field of Soil Science: in the early 2000s the Institute of Soil Science MSU-RAS was renamed to the Institute of Environmental/Ecological Soil Science of Moscow State University and currently is the leading agency in developing the theory and methods of environmental soil science; researches of many academic institutions contain now an "environmental" topics; and finally the "Ecology"<sup>2</sup> specialty has been primarily discovered at the Faculty of Soil Science in Moscow Lomonosov State University.

Giving a brief definition of *environmental soil science*, we can say that *it is- the direction in modern soil science that studies the role of soils as a unique habitat for plants, animals, and microorganisms, and especially – its role in human life, and in the functioning of ecosystems and the biosphere*. This statement was the basis for the title of this book - "Soils in the Biosphere and Human Life".

The environmental soil science, which sees among its main objectives the convergence of soil science topics with adjacent natural and humanitarian, economic, and social sciences, has crystallized relatively independent subjects and sections that can generally be reduced to four main sections, which also formed the basis for rubricating of this book.

In the first section "Soils and the biosphere (soils and spheres of the Earth)" the environmental soil science considers such issues as:

- membrane paradigm (pedosfera as a specific global membrane, “geoderma” concept);
- the soil and flows of matter and energy (destruction, transformation, cycles, synthesis, regulation);
- soil and biodiversity, soil biota;
- functions of soils in the biosphere and ecosystems;
- soils and the nanoworld of the biosphere (the fundamentals of soil nano-and biotechnologies, bioengineering);
- key biospheric properties and functions of soils;

---

<sup>2</sup> Again the term “Environmental ecology” could be better to explain the topic



- the soil and environmental biospheric risks and their management.

The second section "Soils and Man" contains the following problems:

- soil as an independent substantial and multifunctional resource and natural wealth (soil resources study);
- soil and the main areas of human activity;
- depletion of soil resources and soil conservation;
- soil and human health, soil-geochemical provinces;
- soils, environment, economics and law;
- soil conditions and features critical for people and communities;
- soils and the development of human civilization - agriculture, industry, religion, science, culture, urbanization;
- soil and the social structure of society;
- environmental education.

The third section "Soils in the Past, Present and Future" raises the following issues:

- soil and information
- variability and evolution of soils;
- soil formation in the geological and historical past;
- the growing role of soils in the present;
- «global" environmental international conventions (the global climate, biodiversity, desertification, cultural and natural heritage), the role of soils and soil science in their solutions;
- problems of soils in future;
- construction of artificial soils
- environmental/ecological soil science and its relationship to other "ecologies" (agroecology, industrial ecology, sanitation, epidemiology and toxicology, geo-ecology, political ecology, etc.)

The fourth section provides the development of their own methods and approaches of environmental soil science, and their integration with the practices and methodologies of other sciences, technologies and fields of knowledge, exploring environmental issues:

- application in specialized sciences of the fundamental methodological basis of the scientific concept of soil functions in the biosphere and terrestrial ecosystems;
- methods of study of soil interactions with other components of the biosphere and ecosystems at the micro- and macro- levels in the local, regional and global aspects;
- application of the methods of soil science in interdisciplinary topics of environmental studies.

Not all of the items in these four categories of environmental soil science are reflected in this monograph. And it is not surprising, since the concept of environmental soil science is just developing, albeit very rapidly. Outlining the basic contours of this concept in the chapters presented to the reader's attention, we would like to give impetus to its development, and to attract interested researchers of different sciences to multilateral cooperation, where unique and multifunctional role of soil as a natural resource and component of the biosphere is understood and recognized.

## **Раздел 1.**

# **ПОЧВЫ И БИОСФЕРА**

## **Педосфера как оболочка высокой концентрации и разнообразия жизни на планете Земля**

Впервые представление о почвенном покрове Земли, который одевает ее «разноцветными лентами» природных почвенных зон, сформулировал В.В. Докучаев в 1899 году (Докучаев, 1899). Картографически он показал это на «схеме почвенных зон Северного полушария Земли» в 1900 г. на Всемирной выставке в Париже.

Понятие о почвенном покрове Земли, как одной из ее геосфер, - «педосфере», аналогичной литосфере, гидросфере и атмосфере предложил в 1904 г. А.А. Ярилов (1905). С того времени термин «педосфера» вошел в научный оборот и используется в учебной и научной литературе по почвоведению (Захаров, 1927; Вернадский, 1960; Ковда, 1985).

Развитие географии и картографии почв в XX веке показало, что педосфера состоит из огромного числа самых разнообразных почв и представляет собой сложную, структурно организованную глобальную природную систему – поверхностную оболочку земной суши. В течение XX века основное внимание почвоведов было направлено на изучение влияния природных факторов (климат, почвообразующие горные породы, растения и животный мир, рельеф местности) на генезис, свойства, систематическое и географическое разнообразие почв, а также на поддержание и повышение плодородия почв в условиях сельскохозяйственного производства.

Несравненно меньше уделялось внимания изучению обратного влияния почв и почвенного покрова на общие экологические условия жизни человека в окружающей его природной среде, влияние почв на состояние атмосферы, гидросферы, литосферы, на биосферу в целом.

Какие же функции выполняют почвы в природе? Эти вопросы обострились в связи с нарастающей угрозой глобального экологического кризиса на рубеже XX-XXI веков, увеличением масштабов деградации почв в результате процессов водной и ветровой эрозии, антропогенного загрязнения почв, особенно на сельскохозяйственных землях, в городах и районах добычи полезных ископаемых – нефти, газа, различных руд и строительных материалов.

Все это послужило стимулом для анализа и оценки экологической роли почв в биосфере и жизни человека. Почвы во все большей мере стали изучаться не только с генетической и агрономической точки зрения, но и с точки зрения экологической – как сложные полифункциональные природные системы, оказывающие существенное воздействие на другие экосистемы и биосферу, включая экологические условия жизни человека. Обсуждению этой проблематики в последние годы стало посвящаться все более

научных форумов, конференций и совещаний, научных изданий. Перечислим только некоторые из них.

В докладах на V съезде Всесоюзного общества почвоведов в Ташкенте в 1985 году и на III съезде Докучаевского общества почвоведов в Суздале в 2000 году были заложены основы нового функционально-экологического направления в современном почвоведении (Ковда, 1985; Добровольский Г.В., 2001). В 2001 г. в Московском университете имени М.В.Ломоносова состоялся Международный симпозиум «Функции почв в биосферно-геосферных системах». Вышла в свет обстоятельная монография «Структурно-функциональная роль почвы в биосфере» (1999) и «Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере» (2003), в которой разносторонне рассмотрены место и роль почвы в биосфере. В 2010 г. в Пущинском научном центре Российской Академии наук на базе Института физико-химических и биологических проблем почвоведения состоялась Всероссийская научная конференция «Биосферные функции почвенного покрова». В этом же 2010 году в Музее земледелия Московского университета им. М.В.Ломоносова состоялась Всероссийская научная конференция на тему «Биосфера – почвы – человечество» (Материалы..., 2011).

В Санкт-Петербурге в 2009 г. начал выходить междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера», в первом номере которого опубликована статья «Педосфера – оболочка жизни планеты Земля» (Добровольский Г.В., 2009). С 2003 года Институтом экологического почвоведения МГУ публикуется ежегодник «Роль почв в биосфере», а с 2006 года выходит электронный журнал «Доклады по экологическому почвоведению».

Все это говорит о быстром возрастании интереса научной общественности к экологической роли и значению почвы и почвенного покрова Земли в ее биосфере и жизни человечества.

Надо заметить, что появление функционально-экологического направления в почвоведении очень точно вписывается в новую парадигму современной биологии и естествознания в целом, которое, по словам академика Г.А. Заварзина (1995) «требуется концентрации внимания на функционировании систем – от организма до биосферы».

Под экологическими функциями почв понимаются такие их свойства, которые влияют на условия жизни на Земле во всем ее видовом разнообразии. Согласно современным представлениям, многочисленные и разнообразие функции почв в наземных экосистемах подразделяются на физические, химические, физико-химические, биологические, регуляторно-информационные, а также на функции общие – целостные экосистемные и биосферные. Каждая из функций является уникальной специализированной и важной как одно из условий обитания и жизнедеятельности организмов и их сообществ. В наиболее подробном и систематизированном

виде они охарактеризованы в упомянутых выше монографиях и учебнике «Экология почв» (Добровольский Г.В., Никитин, 2006).

Физические функции почв проявляются в удержании атмосферной влаги и частичной передаче ее в грунтовые воды, в регулировании газообмена почвы с приземными слоями атмосферного воздуха; почвы представляют защитные пространственные ниши жизни для обитания и жизнедеятельности разных организмов. Почвы служат механической опорой корневых систем растений и хранилищем семян и эмбрионов растений и животных.

Разнообразны химические и физико-химические функции почв. К ним относятся адсорбция и аккумуляция разных жизненно необходимых для почвенной биоты биофильных химических элементов и ферментов, деструкция и минерализация отмерших остатков растений, животных и микроорганизмов и возвращение тем самым биофильных элементов в новые циклы жизни; в почвах осуществляется ресинтез органических и минеральных соединений, в том числе гумуса и вторичных минеральных и органо-минеральных новообразований. Все эти процессы осуществляются в основном обитающими в почвах организмами – почвенной биотой.

На эту особенность почвы обратил внимание В.И. Вернадский еще в 1913 году. Вот его слова: «С каждым годом значение биохимических процессов в почвах становится для нас всех ясна... И вместе с тем, все яснее становится нам значение почвы в биосфере – не только как субстрата, на котором живет растительный и животный мир, но как области биосферы, где наиболее интенсивно идут разнообразные химические реакции, связанные с живым веществом... Роль почвы в истории земной коры отнюдь не соответствует тонкому слою, какой она образует на ее поверхности. Но она вполне отвечает той огромной активной энергии, которая собрана в живом веществе почвы...» (Вернадский, 1960). В связи с этой мыслью В.И. Вернадского уместно сказать, что в современной биологии и почвоведении не угасает интерес к проблеме происхождения и эволюции жизни на Земле. По представлению некоторых современных ученых (Gilbert, 1986; Лозина-Лозинский (1984); Добрецов (2005)), наиболее благоприятные условия для биологического синтеза высокомолекулярных органических соединений, а следовательно, и для возникновения первых молекулярных зачатков жизни, были скорее на суше, нежели в океане; по их мнению, для подобного синтеза благоприятны экстремальные физико-химические и гидротермические условия, свойственные разным поверхностям твердых минеральных субстратов на земной суше.

В дальнейшей истории по представлению А.Ю. Розанова и Г.А. Заварзина (1997) единственными обитателями на Земле в докембрийских временах были сине-зеленые водоросли, образовавшие тончайшие плёнки – «маты» на влажных поверхностях горных пород – прообразах первичных почв. Дальнейшая эволюция жизни происходила путем коэволюции сооб-

ществ микроорганизмов, растений и животных. Так вопросы современного палеопочвоведения соприкасаются с фундаментальной общенаучной проблемой происхождения жизни на Земле (Добровольский Г.В., 2006; Добровольский Г.В., Макеев, 2009; Палеопедология, 1974).

Важнейшее экологическое значение имеют такие современные общебиологические, целостные функции почв как среда обитания и жизнедеятельности самых разнообразных форм жизни, обеспечение связи биологического и геологического круговорота веществ и энергии на земной поверхности.

Очень важна функция биологической продуктивности почв. Упомянем лишь некоторые черты названных функций почв.

Уникальность почв как среды обитания жизни проявляется в том, что в них обитает около 92 % всех известных видов животных и растений (Dobzhansky, 1953). Это дало основание академику М.С. Гилярову (1985) назвать почву «основным хранилищем генетического разнообразия жизни на нашей планете». Действительно, трудно себе представить, но в одном грамме почвы может находиться до нескольких миллиардов клеток бактерий, сотни метров грибных гифов, тысячи одноклеточных простейших животных, многие тысячи метров тонких корней и корневых волосков растений.

Проблема сохранения биологического разнообразия на Земле, которая привлекает все большее внимание научной общественности, имеет прямое отношение к почве. В Конвенции ООН по сохранению биологического разнообразия (1992) было подчеркнуто, что эта задача является общей и очень актуальной для всего человечества. С точки зрения почвоведения очень важной представляется формулировка в Конвенции вопроса о том, что «...основным условием сохранения биологического разнообразия является сохранение *in situ* экосистем и естественных мест обитания, поддержание и восстановление жизнеспособных популяций видов в их естественных условиях».

Не менее важно и определение понятия «экосистема». В Конвенции оно дается в следующем виде: «Экосистема означает динамический комплекс сообществ растений, животных и микроорганизмов, а также их неживой окружающей среды, взаимодействующих как единое функциональное тело». Нет нужды доказывать, что эти понятия экосистемы и естественных мест обитания живых существ в полной мере соответствуют понятию о почвах, как естественной биокосной среде обитания животных, растений и микроорганизмов.

Выдающимися отечественными учеными показано, что между почвами и населяющими их сообществами живых организмов существует теснейшая связь и взаимозависимость, что каждому типу и виду почв свойственны только им присущие виды сообществ растений, животных и микроорганизмов. Отсюда следует, что проблему сохранения биоразнообразия

нельзя и невозможно решать без сохранения разнообразия почв в заповедниках, национальных парках, ботанических садах, на других особо охраняемых территориях. По мнению президента Российской Академии наук, академика Ю.С. Осипова (2000) проблема сохранения биологического разнообразия является «одной из актуальных проблем современности... От решения этой задачи во многом зависит устойчивость биосферы Земли в целом и благополучие человеческого общества». Этой проблеме современности посвящена вышедшая недавно монография «Роль почвы в формировании и сохранении биологического разнообразия» (2011).

Не менее важна другая общебиологическая функция почвы как связующего звена биологического и геологического круговорота веществ на Земле. Именно в почвах осуществляется двусторонний процесс деструкции и синтеза веществ, образованных в процессе фотосинтеза и последующего возвращения, содержащихся в них химических элементов в состав нового живого вещества в растениях и животных. В этом биологическом круговороте химических элементов в системе почва – растения – животные удерживается огромная масса биофильных элементов, которые в результате процессов выветривания и денудации горных пород суши выносятся речным стоком в мировой океан. Общая масса вовлекаемых в биологический круговорот зольных элементов в несколько раз превышает их величину в суммарном ионном речном стоке в океан (Добровольский В.В. 2003).

Изучая среднее содержание химических элементов в горных породах, почвах, пресных и соленых водах, в атмосфере, в составе тел растений и животных, А.Е. Ферсман (1937) пришел к выводу, что ближе всего среднее содержание химических элементов (так называемые «кларки») в почвах с таковыми же в живом веществе растений и животных и что «в сущности, почвенный покров предопределяет состав организмов». В этом нет ничего удивительного, т.к. почвы создаются в результате многовекового взаимодействия растений и животных с горными породами. Именно на основании близости химического состава почв и «живого вещества» Земли В.И. Вернадский отнес почвы к «биокосным» телам планеты Земля.

Третьей важнейшей и наиболее широко известной общебиологической и экологической функцией почв является почвенное плодородие или в более широком смысле – биологическая продуктивность почв. Несмотря на ничтожно малую толщину почвенного покрова Земли, представляющего собой буквально тончайшую пленку на ее поверхности, именно эта пленка является самой биологически продуктивной частью биосферы. Биомасса суши, неразрывно связанная с ее почвенным покровом составляет 99.8 % всей биомассы Земли. А ежегодная биологическая продуктивность наземных растительных сообществ существенно превышает таковую мирового океана (Базилевич, Родин, Розов, 1970). Масса пищевых продуктов, получаемых человеком на суше в результате использования плодород-



дия почв, составляет 93 % всей массы продуктов питания человека (Браун, 2003). Только этих данных достаточно, чтобы показать, какую незаменимую экологическую ценность для жизни людей, для всего живого на Земле, представляет функция плодородия почв, функция их биологической продуктивности.

Все в большей мере выясняется в наше время регуляторная роль почв в функционировании наземных биогеоценозов. Она определяется гидротермическим режимом почв, сезонной и годовой динамикой почвенных свойств и процессов, влияющих на условия жизни биоты, жизнедеятельность корневых систем растений и почвенных организмов (Трофимов, 2002).

Разнообразие экологических функций, выполняемых почвами в наземных биогеоценозах свойственно и почвенному покрову Земли в целом – ее педосфере. Педосфера теснейшим образом взаимодействует с другими сферами (оболочками) Земли – атмосферой, гидросферой и литосферой. Происходящие в педосфере процессы существенным образом влияют на состав и состояние других поверхностных геосфер (Вернадский, 1965).

В последние годы почвоведрами и почвенными микробиологами установлено, что «дыхание» почвенного покрова является важнейшим фактором влияния на элементный состав атмосферы. Показано, например, что эмиссия диоксида углерода и метана из почвенного покрова России существенно превышает суммарный выброс промышленностью этих газов. В тоже время показано, что суммарный сток диоксида углерода на территории России (главным образом за счет фотосинтеза ее таежными лесами) превышает суммарный объем эмиссии углекислого газа почвами и промышленностью. Острота проблем влияния производственной деятельности человечества на атмосферу и возможные изменения климата проявились в последние годы на международном уровне при разработке «Киотского протокола», призванного ограничить выбросы парниковых газов в атмосферу (Кудеяров, 2000; Степанов, 2011).

Огромно влияние почвенного и растительного покрова на состав, режим и географию поверхностных и грунтовых вод. Фильтруясь через почвенный слой, атмосферные осадки приобретают под воздействием биохимизма почвы особый химический состав, отражающий зонально-региональные геохимические черты почвенного покрова Земли. В статье «Живое вещество в химии моря» В.И. Вернадский (1960) писал «Мы обычно не учитываем и не представляем себе то огромное значение, которое имеет в жизни и химических реакциях океана почвенный покров нашей суши. Почва и морская вода химически и генетически тесно связаны».

Таково влияние почвенного покрова на гидросферу Земли.

Не менее тесное взаимодействие характерно и для педосферы и литосферы. О зависимости генезиса и свойств почв от особенностей почвообразующих грунтов и разных горных пород известно давно, и хорошо

сформулировано еще В.В. Докучаевым, а о влиянии биохимических почвенных процессов на состав и свойства верхних слоев литосферы известно значительно меньше. Но в конце XIX и в течение XX века в результате развития учения о процессах выветривания (гипергенезе) и геохимии все более ясным становится существенное воздействие почвенных процессов на формирование древних и современных кор выветривания, на генезис лёссов, покровных суглинков, мощных латеритных, карбонатных и других кор выветривания (Полынов, 1956; Петров, 1976; Добровольский В.В., 2007). Появились первые монографические работы о взаимодействии педосферы с другими геосферами (Добровольский Г.В., 2010).

В последнее время все большее внимание почвоведов, археологов, историков и географов привлекают информационные функции почв. Они представлены не только информационно-регуляторными сигналами об изменении гидротермических условий в почве, но и способностью (функцией) почв «записывать» и сохранять в своем составе и свойствах свидетельства об условиях почвообразования в прошлых геологических цивилизациях. Эти «свидетельства» содержатся в погребенных или поверхностных древних почвах в виде различных минеральных и органических новообразований, почвенного гумуса, посмертных остатков растительных и животных организмов. Возраст этих «свидетелей прошлого» определяется методами радиоактивного изотопного анализа, геологической стратиграфии и др. Под степными курганами, в грунтовых толщах древних городищ и поселений, да и современных старых городов сохранились древние почвы, по которым можно судить о природной и антропогенной обстановке тех времен, когда они формировались (Демкин, 1997). По предложению В.О. Таргульяна и И.А. Соколова (1974) эта функция почв «запоминать» и сохранять свидетельства прошлого называется «памятью почв». Недавно вышла фундаментальная монография на эту тему «Память почв: почва как память биосферно – геосферно - антропогенных взаимодействий» (2008). Информационные функции почв все шире используются в особом направлении почвоведения – палеопочвоведении, или иными словами - историческом почвоведении (по аналогии с исторической геологией). В мировом союзе почвенных наук активно работает комиссия по палеопочвоведению. В Московском университете началось преподавание специального курса «Палеопочвоведение».

Еще одно направление в экологическом почвоведении приобретает в последние годы особенно важное значение. Это влияние почвы на здоровье человека, особенно в связи с антропогенным загрязнением почв. Уже давно было замечено, что существует прямая связь между спецификой химического состава почв в некоторых районах и наличием в них региональных эндемических заболеваний человека и животных. Так, например, в Забайкалье в бассейне р. Уров была широко распространена страшная болезнь суставов и вообще костной ткани, получившая название «уровской

болезни». Причина ее лежит в необычном соотношении содержания кальция, стронция и кремния в почвах, водах, местных растительных и животноводческих продуктах питания. В степных отгонных пастбищах равнинного Дагестана наблюдается проявление так называемого митоза (болезни мышц) у овец как следствие избытка бора в почвах и растениях. Всем известна болезнь щитовидной железы из-за недостатка йода в кислых подзолистых почвах во внутриконтинентальных районах.

Почвенно-географические районы с явной аномалией химического состава почв и вод и связанными с ними болезнями академик А.П. Виноградов (1938) назвал «биогеохимическими провинциями». Особенно остро и далеко недостаточно изучено антропогенное химическое загрязнение почв в городах, на крупных транспортных магистралях, в районах добычи нефти, газа, цветных металлов и строительных материалов, не говоря уже о загрязнении почв радиоактивными элементами и пестицидами. Известны случаи долговременного микробного загрязнения почв (столбняк, ботулизм, сибирская язва). Расширяются аллергические заболевания, вызванные микроскопическими почвенными грибами в городах (Марфенина, 2005). Возникло понятие о «здоровой почве» как необходимом условии здоровья человека (Соколов и др., 2010). Загрязнение, деградация и разрушение почв эрозией получили по инициативе В.А. Ковды название «патологии почв» (Ковда, 1989). По его мнению, слагающие патологию почв процессы грозят всей дальнейшей судьбе человечества и должны быть преодолены.

Действительно, почвенный покров Земли, ее педосфера, как глобальная природная система теснейшим образом взаимосвязана своими функциями со всей историей и современной жизнью человечества.

Эти связи исключительно разнообразны и начали проявляться еще на заре жизни древнего человека. Но вполне отчетливо они сказались во времена зарождения земледелия и особенно формирования древних земледельческих цивилизаций. Не случайно, а именно в связи с плодородием почв наиболее ранние цивилизации возникали на аллювиальных почвах в долинах крупных рек южных стран – Нила в Египте, Тигра и Евфрата в Месопотамии, Ганга – в Индии, Янцзы и Хуанхэ в Китае, Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи в Средней Азии и др. На территории Русской равнины развитие земледелия было связано с высокоплодородными черноземами. По мнению выдающегося биолога и географа Н.И. Вавилова, ранними очагами земледелия были горные страны тропического и субтропического поясов Земли. В дальнейшем, по мере роста населения и переселения народов, земледелие все шире распространялось по земной суше. Осваивались менее плодородные почвы умеренных и даже северных широт, требовавших все большего труда, опыта и знаний земледельцев. Быстрая и неконтролируемая распашка огромных пространств Земли все чаще сопровождалась процессами водной и ветровой эрозии почв, заболачивания и засоления

земель. Во второй половине XIX века, и особенно в XX веке, эти процессы достигли глобальных размеров и стали осязаемо влиять на состояние биосферы и жизни людей во многих странах. Нарастала площадь почв антропогенно загрязненных, переуплотненных, истощенных элементами питания растений.

Обеспокоенность состоянием окружающей среды заставила ряд международных организаций провести в 80-90 годах XX века анализ состояния почв и земельных ресурсов мира. Оказалось, что площадь пахотно-пригодных земель на планете Земля составляет 3 млрд. 278 млн. гектаров или 22 % всей площади суши. При этом высоко и средне продуктивные почвы (полностью уже распаханые) составляют всего 9 % площади земной суши (табл.1). Остальные земли по климатическим, геологическим и орографическим условиям не пригодны для земледелия (табл. 1).

Таблица 1. Возможности использования почв в мировом земледелии (А.Б.Розанов, Б.Г.Розанов, 1990)

Фактор возможности	Площадь земель	
	Миллионы гектар	% общей площади суши
Ледниковые покровы	1440	10
Очень холодные земли	2235	12
Очень сухие земли	2533	17
Очень крутые склоны	2682	18
Очень маломощные почвы	1341	9
Очень влажные почвы	596	4
Очень бедные почвы	745	5
ИТОГО непригодные земли	11622	78
Малопродуктивные почвы	1937	13
Умеренно продуктивные почвы	894	6
Высоко продуктивные почвы	447	3
ИТОГО пахотнопригодные земли	3278	22
Общая площадь суши Земли	14900	100

Современная пашня занимает около 1,5 млрд гектар. Остающиеся неиспользуемые и нераспаханные земли представлены почвами мало пригодными и требующими больших затрат на их освоение – это красноцветные кислые и выщелоченные ферраллитные почвы, а также почвы сухих тропических и субтропических саванн с большой долей солонцовых и засоленных почв.

В 1990 г. Международный справочно-информационный центр в Нидерландах совместно с Программой ООН по окружающей среде (ЮНЕП) составили карту антропогенной деградации почв, которая наглядно показала глобальный размер этого губительного процесса. Выяснилось, что

разной степени деградации подвержены почти 2 млрд. гектаров почв (табл. 2).

К этим данным следует добавить, что за исторический период человечество уже потеряло около 2 млрд. гектаров некогда плодородных почв, превратив их в антропогенные пустыни и неудобные земли. А ведь это больше всей суммарной площади современного земледелия (Добровольский Г.В., 1997).

Потеря плодородных освоенных почв продолжается и в наше время. Ежегодно из сельскохозяйственного использования изымается около 8 млн. га за счет отчуждения на другие хозяйственные нужды и около 7 млн. га теряется в результате различных процессов деградации почв. Следовательно, каждый год человечество в конце XX века теряло около 18 млн. гектаров продуктивных угодий. На мировой карте деградации почв хорошо видно, что наибольшие площади деградированных почв относятся к странам и районам давнего земледелия. Таковы плоды бесконтрольного землепользования человечеством в течение многих веков. Глобальный процесс деградации и разрушения почв уже получил название «тихого кризиса планеты» (Добровольский Г.В., 1996, 1997; Браун, 2003).

Таблица 2. Типы и степень деградации земель

Типы и степень деградации	Площадь	
	млн. га	%
<i>Тип деградации</i>		
Смыв и разрушение водной эрозией	1093,7	55,6
Развевание и разрушение ветровой эрозией	548,3	27,9
Химическая деградация (обеднение элементами питания, засоление, загрязнение, закисление)	239,1	12,2
Физическая деградация (переуплотнение, заболачивание, просадки)	83,3	4,2
<b>ВСЕГО</b>	<b>1964,4</b>	<b>100</b>
<i>Степень деградации</i>		
Слабая	749,0	38,1
Умеренная	910,5	46,4
Сильная	295,7	15,1
Очень сильная	9,3	0,5

Насколько опасен для судеб человечества процесс деградации почв, отчетливо видно из данных по потреблению людьми «плодов земных»: 77 % продовольствия человечество получает в результате выращивания на почвах сельскохозяйственных растений и 16 % - результате получения животноводческой продукции (мяса в зерновом эквиваленте) на пастбищных землях, а всего – более 90% всей продовольственной продукции. На продукцию морского рыболовства приходится всего 7 % продуктов питания

(Браун, 2003). Надо ли что-нибудь еще говорить о ценности почв для человеческой цивилизации? Тем более недопустимым является продолжающийся процесс разрушения и биологической деградации почвенного покрова Земли – ее педосферы.

Пора понять, что биологически продуктивные почвы – это невозобновляемый природный ресурс для жизни человека - не менее важный, чем воздух и вода, и при этом еще важно помнить, что экологическое значение почвенного покрова в биосфере отнюдь не ограничивается его ролью «поставщика» продовольствия для жизни людей, а распространяется на все условия жизни человека, да и на все живое на земной суше (Ковда, 1989; Добровольский Г.В., 1998; Добровольский Г.В., Никитин, 2000; Добровольский Г.В., 2006).

В какой же мере человечество осознало опасность деградации почвенного покрова Земли? История показывает, что впервые на необходимость глубокого познания почв в целях их рационального освоения, охраны и улучшения было обращено внимание В.В. Докучаевым и его последователями. В XX веке эта проблема приобрела уже международное значение. В 1972 г. Первая Всемирная конференция по окружающей среде в Стокгольме обратила внимание на неудовлетворительное состояние почвенного покрова мира и приняла соответствующие рекомендации. В 1974 г. на X Международном конгрессе почвоведов в Москве был обстоятельно рассмотрен вопрос о роли почвы в биосфере, подчеркнута опасность деградации почв и сокращения площади биологически продуктивных почв. Всемирная конференция ООН по проблемам опустынивания в Найроби в 1977 г. констатировала, что опустынивание всегда связано с деградацией почв. В 1982 г. Всемирная организация по продовольствию (ФАО) приняла «Всемирную хартию почв», в которой еще раз призвала правительства всех стран рассматривать почвенный покров как всемирное достояние человечества и принять все возможные меры по его сохранению и бережному использованию. С 1988 г. в Германии начало активно действовать Европейское общество охраны почв. Наконец, в 1992 г. на Всемирной конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де Жанейро вновь было заявлено, что охрана и рациональное использование почв должно стать центральным звеном государственной политики, поскольку состояние почв определяет судьбу человечества и оказывает решающее воздействие на окружающую среду.

В конце XX и начале XXI веков быстро возрастает угроза загрязнения окружающей среды в городах, в том числе городских почв. Действительно, очень большие изменения в экологическую среду планеты Земля вносят урбанизация населения и концентрация в городах большей части мировой промышленности и средств транспорта. В городах проживает более половины населения планеты. Именно в городах почвы подвергаются наибольшему промышленному и бытовому загрязнению (Добровольский

Г.В., 1997) и теряют свои оздоровительные экологические функции. Проблема загрязнения городских почв начинает обращать внимание не только научной общественности, но и городских властей. В 2007 г. правительство г. Москвы приняло специальный закон «О городских почвах», регламентирующий землепользование в г. Москве, охрану и управление качеством городских почв. Издаются методические и технологические инструкции по управлению качеством городских почв (2010), вводятся соответствующие учебные дисциплины по генезису, контролю и рекультивации городских почв (Герасимова и др., 2003).

Несмотря на авторитетные декларации и принимаемые меры по охране почв, как в международном плане, так и на уровне разных стран, деградация почвенного покрова Земли – ее педосферы – продолжается. Причин тому множество, включая финансовые, экономические, административные, но не последнюю роль в этом играет недостаточное понимание реальности глобальной угрозы процесса деградации почв, ведущего к нарушению сложившегося устойчивого функционирования биосферы, в котором живет все человечество и все живое на земной суше.

### *Литература*

- Базилевич Н.И., Родин Л.Е., Розов Н.Н., Географические аспекты изучения биологической продуктивности (Материалы 5 съезда Географического общества СССР. Ленинград, 1970, 28)
- Биосфера – почвы – человечество: устойчивость и развитие. (Материалы конференции к 80-летию А.И. Тюрюканова, Москва, 2011).
- Биосферные функции почвенного покрова (Материалы конференции к 40-летию Института в Пущино. Пущино, 2010, 375 стр.)
- Браун Л. Покончить с голодом: вызов брошен. В книге «Состояние мира» 2001. Доклад института World watch о развитии по пути к устойчивому обществу. М, изд. «Весь мир», 2003, с. 57-85
- Вернадский В.И. К вопросу о химическом составе почв. Избр. Соч. т. V стр. 304. Изд. АН СССР, 1960.
- Вернадский В.И. Живое вещество в химии моря, Избр. Соч. т. V, изд. АН СССР, 1960, стр. 176
- Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. Наука, 1965, 374 стр.
- Вернадский В.И. Избранные сочинения, т. V М., изд. АН СССР, 1960, с. 176.
- Виноградов А.П. Биогеохимические провинции и эндемии. Докл. АН СССР, 1938, т. 18, № 4/5, стр. 283-286
- Всемирная хартия почв. Ж. Почвоведение, 1983, 3, стр. 7-10.
- Герасимова М.И. Строганова М.Н., Можарова Н.В., Прокофьева Т.В. Антропогенные почвы. /под ред. Г.В. Добровольского, 2003, 266 стр.

- Гиляров М., Криволуцкий Д. Жизнь в почве. М., Молодая гвардия, 1985, с. 187.
- Демкин В.А. Палеопочвоведение и археология. Пушкино, 1997, 214 стр.
- Дергачева М.И. Роль почв в становлении биосферы. Ин-т почвоведения и агрохимии СО РАН
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв). М., Наука, 1990, 260 стр.
- Добровольский Г.В., Куст Г.С. Деградация почв – “тихий кризис планеты”. // Природа, 1996, № 10, с.53-63
- Добровольский Г.В. Тихий кризис планеты. Вестник РАН, 1997, 3, с. 313-319.
- Добровольский Г.В. Состояние почвенного покрова Земли и его роль в сохранении биосферы. В книге «Глобальные экологические проблемы на пороге XXI века». Наука, 1998, с. 118-136.
- Добровольский Г.В. Место и роль почвоведения в решении современных экологических проблем. Вестник Московского ун-та. Сер. Почвоведение, 2006, № 2.
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Изд. Моск. Ун-та, Наука, М., 2006, 362 стр.
- Добровольский Г.В. Роль и значение почв в становлении и эволюции жизни на Земле. В книге «Эволюция биосферы и биоразнообразия» (к 70-летию А.Ю. Розанова). Товарищество научных изданий КМК М.: 2006, стр. 246-257.
- Добровольский В.В. Древняя кора выветривания. В кн. «Гипергенез и коры выветривания», избр. Труды, том 1. Изд. Научный мир, 2007, 508 стр.
- Добровольский В.В. Основы биогеохимии. Москва, Academia, 2003, 396 стр.
- Добровольский Г.В., Макеев А.О. Палеонтология и палеопочвоведение. Труды Института экологического почвоведения МГУ, 2009, № 9, с. 5-40.
- Добровольский Г.В. Педосфера – оболочка жизни планеты Земля. Журнал Биосфера, т.1, № 1, С-Петербург, 2009, стр. 7-14.
- Добровольский Г.В., Карпачевский Л.О., Криксунов Е.А. Геосферы и педосфера. Изд. ГЕОС, 2010, 188 стр.
- Докучаев В.В. К учению о зонах природы. Горизонтальные и вертикальные почвенные зоны. С-Петербург, 1899, Сочинения, Изд. АН СССР, 1951, стр. 402.
- Заварзин Г.А. Смена парадигмы в биологии. Вестник РАН, 1995, № 1, с. 8-23.
- Захаров С.А. Курс почвоведения, М., Госиздат, 1927, с. 9.
- Иноземцев С.А., Таргульян В.О. Верхнепермские палеопочвы: свойства, процессы, условия формирования. Москва, ГЕОС, 2010, 186 стр.
- Ковда В.А. Роль и функции почвенного покрова в биосфере Земли. Пушкино, АН СССР, 1985, препринт.10 стр.



- Ковда В.А. Патология почв и охрана биосферы планеты. Препринт, Пущино, 1989, 35 стр.
- Ковда В.А. Проблемы защиты почвенного покрова и биосферы планеты. Пущино, 1989, 155 стр.
- Конвенция о всемирном наследии, ЮНЕСКО, 1992.
- Корсунов В.М., Красеха Е.Н. Педосфера Земли. Изд. Бурятского центра РАН. Улан-Удэ, 2010, 470 стр.
- Кудеяров В.Н. Вклад почвы в баланс CO<sub>2</sub> атмосферы на территории России. Доклады АН-2000, т. 375 № 2, с. 275-277
- Лозина-Лозинский Л.К. К вопросу об анабиозе микроорганизмов при высушивании и промораживании. Экспериментальный анабиоз. Тезисы докл. 2-й Всесоюзной конф. По анабиозу 1984 г. Рига, с. 22.
- Марфенина О.Е. Антропогенная экология почвенных грибов. М., Медицина для всех., 2005, 193 стр.
- Осипов Ю.С. Вестник РАН, 2000, № 10, стр. 879
- Палеопедология. Изд. «Наукова думка», Киев, 1974.
- Память почв. Почва как память биосферно-геосферно-антропогенных взаимодействий. Редакторы В.О. Таргульян, С.В. Горячкин, М., УРСС, 2008, 687 стр.
- Петров В.П. Основы учения о древних корах выветривания. Изд. «Недра», 1967, 343 стр.
- Полынов Б.Б. Кора выветривания. Избранные Труды. Изд. АН СССР, 1956, стр. 103-255 (первая публ. 1934).
- Регуляторная роль почвы в функционировании таежных экосистем (отв. ред. Г.В. Добровольский. Изд. Наука, 2002, 362 стр.)
- Розанов А.Б., Розанов Б.Г. Экологические последствия антропогенных изменений почв. «Итоги науки и техники». Почвоведение и агрохимия т.7, М., 1990, стр. 28.
- Розанов А.Ю. Заварзин Г.А. Бактериальная палеонтология. Вестник РАН, 1997, №3, с. 241-245.
- Роль почвы в формировании и сохранении биологического разнообразия (отв. ред. Г.В. Добровольский, И.Ю. Чернов). Товарищество научных изданий КМК, М, 2011, 275 стр.
- Соколов И.А., Таргульян В.О. Взаимодействие почвы и среды: почва-память и почва-момент. (Сборник трудов по изучению и освоению природной среды. М.,1976).
- Соколов М.С., Дородных Ю.А. Марченко А.И. Здоровая почва как необходимое условие жизни человека. Почвоведение, 2010, №7, с. 858-866.
- Степанов А.Л. Микробная трансформация парниковых газов в почвах. ГЕОС, 2011, 190 стр.
- Строганова М.Н., Мягкова А.Д., Прокофьева Т.В. Городские почвы- генезис, классификация, функции В кн. Почва-город-экология. Под ред. Г.В. Добровольского. М., 1997.

- Структурно-функциональная роль почвы в биосфере. Отв. редактор Г.В. Добровольский, изд. ГЕОС, 1999, 278 стр.
- Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере. Отв. ред. Г.В. Добровольский. Изд. Наука, 2003, 364 стр.
- Управление качеством городских почв. Учебно-методическое пособие. М., 2010, 95 стр.
- Ферсман А.Е. Геохимия, т. 1, М.: ОНТИ, 1937, 260 стр.
- Функции почв в биосферно-геосферных системах (Материалы международного симпозиума). МГУ им. М.В. Ломоносова, М., 2001.
- Ярилов А.А. Педология как самостоятельная естественно-научная дисциплина о земле. Юрьев, 1905, часть вторая, стр. 243.
- Dobzhansky Th. Genetics and the origin of speices. New York, 1953.
- Dokoutchaev V.V. Zones naturelles et classification des sols. Сочинения, Изд. АН СССР, т. VI, стр 493-526. Вклейка: «Почвенные зоны северного полушария (схема).
- Gilbert W. The RNA World. Nature, 1986, vol. 319, № 6055, p. 618
- World Map of the Status of Human Induced Soils Degradation. Wageningen, 1990 (First edition), 1991 (second edition).

## **Проблемы и перспективы изучения биоразнообразия почв**

### ***Введение***

Биологическое разнообразие – центральное понятие целого комплекса биологических наук: зоологии, ботаники, микробиологии, эволюционного учения, палеонтологии, экологии, биогеографии, генетики, морфологии и т.д. Это основной итог эволюционного процесса и в то же время его главный его фактор. Сама жизнь на Земле могла развиваться как планетарное явление только на основе разделения функций в экосистемах, т.е. при определенном уровне разнообразия организмов. Круговорот веществ в биосфере может осуществляться только при достаточном разнообразии, и именно на нем базируются механизмы устойчивости и саморегуляции экосистем. На разнообразии базируются механизмы устойчивости жизни на всех уровнях ее организации. Для человека биологическое разнообразие – не только основной ресурс, источник пищи, комфортности среды, но и фактор стабильности жизненных условий. Поэтому в основе стратегии взаимоотношения человека с окружающей средой и биологическими ресурсами должно быть, прежде всего, сохранение и поддержание высокого уровня биоразнообразия.

В то же время, биологическое разнообразие – одно из наиболее трудно определяемых понятий современной биологии. Можно выделить несколько различных аспектов биоразнообразия, например видовое разнообразие, генетическое разнообразие, разнообразие экосистем. Для генетиков биоразнообразие – это разнообразие генов и организмов. Они изучают процессы типа мутаций, обменов гена, и динамики генома. Для биологов биоразнообразие – это разнообразие популяций организмов и видов, а также их функциональные особенности. Для экологов в понятие биоразнообразия входит также разнообразие взаимодействий как между видами, так и с окружающей средой (воздухом, водой и почвой), разнообразие их местообитаний.

В последнее время резко обострился интерес к инвентаризации биологического разнообразия, к оценке уровней таксономического богатства флоры и фауны отдельных районов, стран, природных зон и всего мира. На эту тему публикуется огромное количество работ самого разного профиля вплоть до монографий, обобщающих сведения о всех таксонах органического мира планеты в целом. Эти сведения рассматриваются как необходимая основа разработки принципов и технологий сохранения биологического разнообразия в современных условиях природопользования.

Одно из важнейших достижений последнего времени – осознание уникальности каждого биологического вида и необходимости сохранения

всего многообразия жизни для устойчивого развития биосферы и человеческого общества. Это нашло отражение в международной Конвенции по биологическому разнообразию, принятой в Рио-де-Жанейро в 1992.

Вместе с этим, при достаточно полном понимании наиболее общих принципов, лежащих в основе выработки стратегии сохранения биоразнообразия, многие важнейшие аспекты этой проблемы являются недостаточно проработанными. К ним относится такая проблема, как роль почв в формировании и сохранении биоразнообразия на Земле. В последние годы появился ряд монографий, в которых с различных точек зрения освещается роль почвы и почвенной биоты в функционировании и поддержании наземных экосистем, их экологические функции при взаимодействии с природными и антропогенными системами (биосферой, литосферой, гидросферой, атмосферой, антропосферой), анализируется функциональная активность химических, физических, биологических свойств почв в глобальных процессах, включая эрозию, продуктивность, формирование растительного покрова. Однако литературы, посвященной подробному анализу той ключевой роли, которую играют почвы в поддержании разнообразия наземных экосистем, явно недостаточно. Поэтому актуальным является многогранное обсуждение этой проблемы, исключительно важной для формирования и сохранения биологического разнообразия Земли.

Понятно, что значение почвы для поддержания разнообразия жизни, прежде всего, связано с ее средообразующей ролью. Почва – важнейший фактор формирования условий для существования всего разнообразия жизни. В то же время, сами экосистемные функции почв определяются уровнем разнообразия экосистем. Автохтонные почвенные организмы, проводящие в почве весь жизненный цикл, представлены многими тысячами видов бактерий, грибов, протистов, животных. Существование еще большего разнообразия организмов неразрывно связано с почвой, так как она является необходимой средой для протекания стадий жизненного цикла (личинки насекомых, анаморфы фитопатогенных грибов и др.). Важной характеристикой почвы, определяющей высокое биоразнообразие почвенной и связанной с почвой биоты, является ее гетерогенность как среды обитания. Пространственная неоднородность свойств, проявляющаяся в разных масштабах от почвенных микроагрегатов до комплексности почвенного покрова, является главным фактором, обеспечивающим сосуществование разных видов. Почва – источник для обнаружения и описания множества неизвестных форм жизни. Так, феномен некультивируемых микроорганизмов позволяет предположить, что истинное разнообразие почвенной биоты значительно превышает существующие в настоящее время оценки. Основную роль в изучении этого «скрытого» почвенного биоразнообразия играет бурное развитие молекулярно-биологических методов исследования. Для сохранения биоразнообразия огромное значение имеет также протекторная функция почвы – консервация в жизнеспособ-

ном состоянии различных переживающих стадий организмов (споры микроорганизмов, банк семян и др).

Таким образом, с проблемой сохранения биоразнообразия на Земле теснейшим образом связана задача сохранения разнообразия почв, структуры почвенного покрова, сохранения естественных, в том числе редких и исчезающих почв. Для этого необходимы разноплановые многолетние исследования роли и значения почв в становлении и эволюции жизни на Земле. Однако эти исследования все больше «упираются» не столько в методические, сколько в методологические проблемы, связанные с оценкой разнообразия связанных с почвой организмов. В первую очередь это касается активно развивающихся новых подходов к оценке микробного разнообразия почв. Бурно развивающиеся в последние десятилетия молекулярно-биологические методы учета и дифференциации микроорганизмов принципиально меняют наши представления об уровне разнообразия почвенной биоты, о роли почвенных микроорганизмов в глобальных процессах формирования и поддержания биоразнообразия на Земле. В настоящей главе мы попытаемся сделать обзор наиболее существенных и дискуссионных проблем в этой области.

### ***Биоразнообразие и теоретические проблемы систематики микроорганизмов***

Говоря о проблемах сравнительной оценки биоразнообразия почв, нельзя обойти тех кардинальных изменений в представлениях о микробном разнообразии, которые произошли в последние десятилетия в связи с внедрением в систематику генотипических методов и молекулярно-биологических признаков. Несоответствие между фенотипическим и молекулярно-филогенетическим группированием бактерий и многих грибов (особенно анаморфных), столь велики, что уже неоднократно высказывались сомнения в возможности создания единой естественной системы микроорганизмов (Заварзин, 2006). Возникло как бы две систематики: старая типологическая, когда мы систематизируем сами организмы по комплексу их фенотипических (морфологических, физиологических, биохимических) признаков, и новая молекулярно-филогенетическая на основе последовательностей макромолекул - семантид, когда классифицируются, по сути, не организмы, а их рибосомы. И если мы пытаемся изучать изменения биоразнообразия, связанные с изменениями факторов среды, то возникает вопрос: на какой основе следует выделять элементы этого разнообразия? На основе морфофизиологических признаков, или последовательностей нуклеотидов в РНК? И как быть, если эти элементы не совпадают? Особенно актуален этот вопрос при сравнительном изучении биоразнообразия различных типов почв и попытках выявить биогеографические закономерности в распределении почвенных микроорганизмов.

В связи с этим необходимо учесть следующее обстоятельство, которое совершенно тривиально для фито- и зоогеографии, но практически не обсуждалось в почвенной микробиологии. Биогеография, если ее понимать как науку, изучающую закономерности распределения живых организмов по поверхности Земли, подразделяется на два различных по сути направления: ландшафтное и историческое. Первое – объяснение распространения организмов экологическими факторами, современными свойствами среды обитания. В исторической биогеографии в качестве основного фактора, определяющего распространение организма, рассматриваются не условия среды, а пространство как таковое. Характер географического распространения таксона объясняется не соответствием между его адаптивными признаками и современными экологическими факторами, а историческими процессами расселения, удалением от центра образования, наличием географических барьеров, геологической историей, миграцией материков и т.п.

Почти все исследования в почвенной микробиологии, которые велись в направлении географическом – это выявление тех закономерностей в распределении микробного разнообразия почв, которые обусловлены температурой, влажностью, и другими факторами, зависящими от географических условий. Широтно-зональные изменения в структуре микробных сообществ, которые начинал изучать Е.Н.Мишустин – это и есть типичная ландшафтная биогеография. Очевидно, что в данном аспекте, то есть когда мы, по сути, изучаем действие экологических факторов на структуру и разнообразие микробных сообществ, корректно в качестве объектов исследования выделять именно фенотипические элементы структуры, а не те, которые дифференцируются на основании наиболее консервативных участков генома. Такие элементы вполне соответствуют тем родам и видам, которые выделялись ранее в классической микробиологии, до развития геносистематики. Их филогенетическая структура в данном контексте совершенно не имеет значения. Если, как это, по-видимому, действительно бывает в случае простейших микроорганизмов, разными филогенетическими путями возникают фенотипически неразличимые формы, то для эколога это, естественно, единый структурный элемент сообщества, одна операциональная таксономическая единица разнообразия. И наоборот, если один генотип реализуется в разных фенотипических проявлениях (например, анаморфы и телеоморфы у грибов, которые могут занимать совершенно различные экологические ниши, как личинка и имаго у многих насекомых), то это разные элементы. Мысль о том, что при анализе зависимости структуры сообществ от факторов среды более корректно выделять не филогенетические, а экологические элементы структуры, то есть вообще жизненные формы, а не эволюционно-биологические виды, высказывалась давно (Кашкаров, 1945). Однако в экологии растений и животных эти категории в определенной степени совпадают (один вид – одна эколо-

гическая ниша, принцип Гаузе). В современной микробной систематике считается возможным разделение видов только на основании существенных расхождений в нуклеотидных последовательностях рДНК, без учета степени фенотипических отличий. Выделение таких видов для исследований в области ландшафтной биогеографии может быть оправдано лишь в качестве стимула к поиску дополнительных фенотипических признаков, которые могли бы иначе ускользнуть от внимания.

Совершенно другой аспект – история освоения географического пространства организмами. Изучение исторических процессов видообразования и расселения у микроорганизмов невозможно без привлечения точных методов определения филогенетической близости, которое стало более реальным благодаря сравнению макромолекулярных последовательностей. Это направление пока совершенно не развито в почвенной микробиологии. Здесь сыграла свою роль уверенность в космополитичности микроорганизмов, в том, что их распространение определяется исключительно экологическими факторами. Однако это положение касается таксонов, причем далеко не всех, выделяемых на фенотипической основе, и совершенно не очевидно для генотипических «видов», выделяемых на основании различий в рДНК. Зависят ли изменения в генотипической структуре микробных сообществ почв в основном от экологических факторов, или здесь больше сказывается географическая разобщенность, пространственное удаление как таковое? Этот вопрос остается нерешенным, хотя уже имеются отдельные примеры исследований, которые демонстрируют возможность интерпретации различий в таксономическом составе микробных сообществ с точки зрения историко-биогеографической (Starmer et al., 1990; Naumov et al., 1997; Fulthorpe et al., 1998; Staley, Gosink, 1999). Синтез с методологией исторической биогеографии на основе молекулярно-биологических методов определения родства представляется исключительно интересным и перспективным направлением почвенной микробиологии будущего, хотя подобная задача может потребовать для своего решения не одно десятилетие.

### ***Современные методы оценки микробного разнообразия почв***

Внедрение молекулярно-биологических методов в почвенную микробиологию поселило у многих надежды на разрешение проблем, связанных с оценкой микробного разнообразия почв. В качестве явных преимуществ этого метода перечисляются следующие: отпадает необходимость использования трудоемких процедур посева, культивирования и выделения чистых культур микроорганизмов, при этом разнообразие бактериальных сообществ, определяемое этим методом, в сотни и более раз выше по сравнению с разнообразием коллекций бактерий, выделенных из этих же мест (Torsvik et al., 1990, 1996; McVeigh et al., 1996; Chandler et al., 1997).

Возможным становится учет и тех групп бактерий, которые не способны расти в лабораторных условиях – так называемые «некультивируемые формы» (покоящиеся, анабиотические, латентные). Была также продемонстрирована вероятность обнаружения с помощью молекулярно-биологических методов анализа новых эволюционных линий на филогенетическом древе прокариот (Mc Veigh et al., 1996).

Основываясь на вышеизложенных преимуществах оценки бактериального разнообразия с помощью генетических методов, были сделаны следующие выводы: те группы и таксоны бактерий, которые определяются по методу посева, представляют собой очень небольшую часть бактериального сообщества почв. Более того, предполагается, что разнообразие определяется часто совсем не теми таксонами, которые выявляются в качестве доминирующих на тех или иных питательных средах. Таким образом, ставятся под сомнение все традиционные, применяемые в течение почти столетия методы оценки разнообразия микробных сообществ почв. Неужели традиционные культуральные методы полностью исчерпали себя, а молекулярно-генетические преподносят нам «истину в последней инстанции»?

Основные методы, используемые в области молекулярной биологии применительно к анализу прокариотного разнообразия сводятся к следующим:

- изучение экстрактов ДНК из почвы при помощи метода реассоциации (Torsvik et al., 1990, 1996) и дифференциального центрифугирования в градиенте CsCl (Harris, 1994);

- экстракция из почвы нуклеиновых кислот (ДНК и РНК) с последующей амплификацией фрагментов гена 16S рРНК при помощи полимеразной цепной реакции (ПЦР) и детальное изучение амплифицированных фрагментов разнообразными молекулярно-генетическими методами (Amann et al., 1995). В последнее время наиболее широко применяется метод выделения из почвы метагеномной почвенной бактериальной ДНК с последующей амплификацией крупных фрагментов 16S рРНК и изучением амплифицированных фрагментов различными молекулярно-биологическими методами (Kirk et al., 2004);

- изучение бактериальных популяций почвы методом FISH – fluorescence *in situ* hybridization (Amann et al., 1995, Kirk et al., 2004);

- получение физиологических профилей микробных сообществ с помощью метода BIOLOG (Kirk et al., 2004) и ЭКОЛОГ (Горленко, Кожевин, 2005).

### ***Оценки микробного разнообразия почв на основании молекулярно-биологических методов***

О картине бактериального разнообразия почв, выявленной с помощью молекулярно-биологических методов можно сказать следующее:



- констатируется наличие в почвах крупных таксонов на уровне классов или групп («division»), например: грамположительные бактерии с высоким или низким процентом ГЦ, протеобактерии разных подклассов, зеленые серные бактерии, планктомицеты, спирохеты, креноархеи;

- большинство почвенных клонов имеют очень низкую степень гомологии с имеющимися в базах данных сведениями о фрагментах последовательностей известных родов или видов бактерий; в результате делаются выводы только об их примерном положении на филогенетическом древе и высказываются предположения об их возможном родстве с теми или иными таксонами;

- большая доля почвенных клонов описывается в качестве возможных претендентов на роль совершенно новых филумов царства бактерий, но при этом не обнаруживаются, например, постоянно выделяемые из большинства типов почв бактерии актиномицетной линии – континентальная ветвь прокариот.

Некоторые критические комментарии по поводу картины бактериального разнообразия, полученного с помощью молекулярно-биологических методов, иногда высказывали и сами авторы публикаций (Stackebrandt et al., 1993; Ueda et al., 1995; Vorneman et al., 1996). По их мнению, при обсуждении полученных данных не учитываются экологические основы биоразнообразия – не ставится вопрос о том, могут ли те или иные формы бактерий, обнаруженные в данной почве, размножаться и функционировать в ней, или они просто привнесены из других биотопов и сохраняются в почвенном банке микроорганизмов. Кроме того, такие крупные группы, как грамположительные бактерии с высоким или низким молекулярным процентом ГЦ, протеобактерии и другие, присутствуют практически в каждой почве, поэтому сравнение разных типов почв по наличию или отсутствию таксонов на уровне таких классов или групп не представляет особого интереса.

Факты совпадения последовательностей почвенных клонов с такими известными родами и видами, полученных из базы данных, так малочисленны, что перечень обнаруженных в исследуемой почве таксонов родового и, тем более, видового уровня ограничивается двумя-тремя названиями. В итоге, обнаруженные в образцах почвы таким методом бактерии оказываются часто весьма случайными для анализируемой почвы с экологической точки зрения. Кроме того, как признают и сами авторы публикаций, при генетическом методе оценки бактериального разнообразия почв пока невозможно сказать что-либо о физиологических особенностях и экологических функциях тех бактерий, которые обнаруживаются в данной почве. Для этого требуется выделение чистых культур и изучение их физиолого-биохимических особенностей.

Итоги использования молекулярно-биологических методов в почвенной микробиологии для оценки разнообразия микробных сообществ

почв за последние 20 лет, начиная от первой работы (Torsvik, 1980), подведены в фундаментальной обзорной статье (Ogram, 2000). За эти годы было разработано много новых молекулярно-генетических методов, которые уже вошли в качестве рутинных тестов в микробиологические лаборатории многих стран. Однако, несмотря на то, что возрастает число почвенных микробиологов, которые используют эти методы, имеются существенные трудности и недостатки, которые должны быть преодолены прежде, чем эти методы найдут такое же применение, как, например, биохимические. В числе основных трудностей, которые предстоит преодолеть в будущем, называются: очистка нуклеиновых кислот, экстрагируемых из почв, от гумусовых веществ (учет специфики физико-химических свойств разных типов почв при этом); повышение эффективности лизиса бактериальных клеток с учетом разной степени устойчивости к лизису разных групп бактерий; необходимость увеличения фрагментов ДНК, так как использование небольших фрагментов повышает вероятность появления артефактов ПЦР; переход на количественные показатели, позволяющие оценить относительное обилие индивидуальных филогенетических групп в почвенном образце или относительную активность этих групп (в этом плане перспективен метод «микрочипов»); необходима разработка методов, которые позволили бы оценить физиологическое разнообразие и экологическую роль так называемых «некультивируемых» форм бактерий. В конце статьи автор заключает, что молекулярно-генетические методы не являются панацеей от всех трудностей, возникающих при анализе почвенных сообществ. Наиболее рациональным представляется полифазный подход, при котором необходимо использование самых разных методов, в том числе и традиционного метода изолирования культур на питательные среды и изучение их физиологических и биохимических особенностей.

В результате изучения микробного разнообразия почв молекулярно-биологическими методами возникло множество новых вопросов. Они сформулированы авторами обзора (Rondon et al., 1999).

Насколько полны сведения о последовательностях 16S рРНК культивируемых форм бактерий в имеющихся базах данных?

Много ли новых неизвестных таксонов содержится в той части бактериального сообщества, которое относят на основании результатов молекулярно-биологического анализа к некультивируемым формам? Каковы их функции в почве и как это определить?

Насколько филогенетическое разнообразие некультивируемых форм бактерий отражает их физиологическое разнообразие? Почему бактериальное разнообразие почв, определяемое молекулярно-генетическими и традиционными методами посева, не совпадают?

Хотелось бы начать с ответа на последний вопрос, при этом заведомо сознавая, что результаты этих двух методов не могут совпадать. Однако нам представляется особенно значимым обсудить эту проблему в свете то-

го низкого разнообразия, которое по мнению многих авторов, характеризуют долю известных нам культивируемых форм бактерий (0,1–10%).

Сравним число видов бактерий, рассчитанных на основании определения скорости реассоциации ДНК, экстрагированной непосредственно из почвы с числом видов бактерий, определенных по скорости реассоциации суммарной ДНК биомассы бактерий, собранной с поверхности питательной среды, на которую был произведен посев из этой же почвы (Torsvik et al., 1996). Нам представляется, что количество типов бактерий, которое подсчитывается методом посева, значительно занижено вследствие использования заведомо некорректного метода сравнения. Проанализируем, как оценивалось бактериальное разнообразие почвы методом посева. Почвенные образцы высевали на одну агаризованную среду (ее состав не приводится). Авторы решили, что 90 изолятов достаточно для характеристики всего разнообразия бактерий, выявляемых на данной среде. И это разнообразие оказалось в 170 раз ниже такового, полученного при анализе тотальной ДНК, выделенной прямо из почвы. Авторы вполне убедительно оценивают причины такого разрыва, называя следующие: не учитывается при посеве на одну среду разнообразие субстратов, их концентрация и условия культивирования, которые требуются для выделения самых разных эколого-трофических групп бактерий, а также неспособность некоторых бактерий расти на твердой среде и др. Но тогда приводимые цифры, оценивающие различие в бактериальном разнообразии в 170 раз, лишены всякого смысла, так как на одной среде учитывается только малая доля того разнообразия, которое может быть выявлено методом посева на целый ряд селективных сред. Чтобы выявить наиболее полный спектр бактерий (методом посева), обитающих в данной почве, необходим посев на целый ряд сред, предполагающих возможность выделения бактерий из разных эколого-трофических и таксономических групп. Нужны специальные среды и особые условия культивирования для выделения целлюлозоразрушающих бактерий (аэробных и анаэробных), сульфатредукторов, метилотрофов и метаногенов, хемолитотрофов и фототрофов, олиготрофных бактерий, актиномицетов и бактерий актиномицетной линии и т.д. Даже устаревший ныне метод посева из почв на ряд сред для выявления так называемых «физиологических групп» – азотфиксаторы, денитрификаторы, нитрификаторы, целлюлозоразрушающие и т.д. – дал бы значительно большие величины бактериального разнообразия, чем посев на одну среду. Кроме того, необходимо создание разных условий для культивирования бактерий с учетом таких показателей как Eh и pH среды, температура, время культивирования, состав газовой фазы, концентрация веществ в среде и др. Если бы такой эксперимент был проведен, то разрыв между бактериальным разнообразием почвы, оцениваемой вышеприведенными разными методами культивирования бактерий, сократился бы в 50 – 100 раз. И только тогда можно было бы рассуждать о проценте тех известных таксонов, которые

мы учитываем в почвах по сравнению с неизвестными до сих пор формами. Поэтому те цифры – 0,1–10%, которые, по мнению многих авторов, характеризуют долю известных нам форм бактерий, представляются весьма заниженными. Некоторые исследователи, исходя из этих цифр, делают еще более безапелляционные выводы – только 1% почвенных бактерий относятся к культивируемым формам, все остальные – к некультивируемым. На такую неправомерную трактовку соотношения культивируемых и некультивируемых форм бактерий указывают и другие авторы (Rondon et al., 1999).

Многие бактерии находятся в почве в особом состоянии, которое определяется некоторыми авторами как «некультивируемое жизнеспособное состояние» (НЖС). Предложена физиологическая модель перехода бактериальных клеток в некультивируемое состояние. Необходимо создание особых условий, которые позволили бы бактериям перейти в культивируемое состояние. Для этого требуется, например, выдерживание клеток бактерий в течение некоторого времени в среде, содержащей ключевые соединения цикла Кребса, например, пируват, ацетат и др. (Головлев, 1998). Если не учитывать этого, то при выделении из почвы происходит недоучет известных форм бактерий, неспособных в момент их выделения дать рост на используемой среде в силу их особого состояния в почве. Известно, например, что при выделении из сухой почвы способность бактерий к образованию колоний значительно ниже по сравнению с таковой для бактерий, изолируемых из увлажненных почв с внесенным в них субстратом (Кожевин, 1989). Аналогичные примеры напрашиваются при определении соотношения численности бактерий по прямому методу (подсчет под люминесцентным микроскопом) и методу посева (коэффициент К). Так, в почве этот показатель может составлять от 100 до 1 000, в то время как в ризосфере этот разрыв уменьшается до 10 (Кожевин, 1989). Все эти примеры подтверждают разное состояние клеток бактерий в почве и, следовательно, их большую (как в ризосфере или увлажненной почве с внесением субстрата) или меньшую (как в сухой почве) готовность к прорастанию, определяемую методом посева.

С другой стороны, разнообразие последовательностей генов 16S рРНК, выделяемых из микробной биомассы почв, будет всегда выше разнообразия соответствующих последовательностей культур, выделенных из той же почвы. Причины такого расхождения следующие: более высокая генетическая неоднородность природных популяций по сравнению с популяциями коллекционных культур (Torsvik et al., 1990, 1996), задержка времени реассоциации в связи с недостаточной очисткой препарата ДНК из почвы от гумусовых веществ (Torsvik et al., 1990), наличие в почве значительного пула внеклеточных частично трансформированных нуклеиновых кислот (Асеева и др., 1977), присутствие в почве значительной доли некультивируемых форм, неспособных к росту на лабораторных средах, но

вносящих свой вклад в разнообразие ДНК сообщества (Ward et al., 1995; Головлев, 1998), образование «химерных» последовательностей в ходе ПЦР (Amann et al., 1995), горизонтальный перенос генов между бактериями и рекомбинации между хромосомными генами близкородственных видов (Torsvik et al., 1996; Головлев, 1998).

Почва является банком, где сохраняются самые разнообразные формы микроорганизмов, многие из которых вообще не способны развиваться ни в почве, ни на искусственных средах, их местообитанием может быть организм человека или животных, растений или микроорганизмов, водные и морские экосистемы, термальные источники, пищевые продукты и другие субстраты. Таким образом, пытаясь учитывать множество присутствующих в почве типов бактериальной ДНК путем анализа амплифицированных последовательностей гена 16 S рНК, мы определяем генофонд всего микробного мира биосферы, сосредоточенный в почве.

### ***Экологическая оценка микробного разнообразия почв***

В качестве прогрессивных моментов в работах микробиологов последних лет следует отметить попытки перейти от констатации наличия тех или иных филумов в почвах к оценке экологических функций бактерий, входящих в эти филумы. Это подтверждается появлением исследований, целью которых является попытка найти закономерности в соотношении филумов бактерий в почвах разных биомов под разными фитоценозами, выявить корреляцию между таксономическим составом бактерий (пока на уровне филотипов) и возрастом почв, степенью их окультуренности и физико-химическими свойствами. Для этого многие исследователи начали использовать одновременно как молекулярно-биологические, так и традиционные методы выделения бактерий на питательные среды с последующей их идентификацией разными методами. Примеры такого подхода приведены ниже.

Канадскими микробиологами (Chow et al., 2002) изучалось бактериальное разнообразие ризосферной почвы под сосняками (*Pinus contorta*), расположенными в 3-х биогеохимических подзонах в центральной Британской Колумбии. Отбирались проростки сосны, как освобожденные от почвы, так и монолиты почвы вместе с проростками. Филогенетический анализ показал, что 85% из 709 клонов были классифицированы как Alpha, Beta, Gamma и Delta – Proteobacteria, Actinobacteria, группа Cytophaga-Flexibacter-Bacteroidetes, Acidobacteria, Verrucomicrobia. Доминировали представители Proteobacteria (55%) и Acidobacteria (19%). Остальные филотипы составили менее 4% от имеющихся в библиотеке клонов. 106 клонов 16S рДНК не могли быть отнесены ни к одному из известных филотипов. Наиболее интересным представляется вывод авторов о том, что географическое положение сосняков, под которыми были отобраны образцы почв, не сказалось на бактериальном разнообразии, оцениваемом по соот-

ношению клонов – везде доминировали представители *Proteobacteria* и *Acidobacteria*. Впоследствии из органических и минеральных горизонтов почв этих же биотопов были изолированы бактериальные культуры (1795 штаммов). Из них определенные до рода бактерии (42 рода) оказались представителями *Beta* и *Gamma* – *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, группы *Bacillus-Clostridium* и *Cytophaga-Flexibacter-Bacteroides* (Axelrood et al., 2002). Около половины собранной коллекции было представлено родами *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Paenibacillus* и *Arthrobacter*. Определение родов было проведено на основании анализа метиловых эфиров жирных кислот (FAME). При этом актинобактерии, среди которых преобладал артробактер, были наиболее характерны для неризосферной почвы.

При сравнении бактериальных сообществ почв под разными типами леса на территории Австрии было установлено, что под сосновыми лесами разнообразие прокариотных сообществ иное, чем под дубравами или елово-буковыми лесами, характерными для этой страны. Если под сосняками доминировали актинобактерии, то под елово-широко-лиственными лесами – представители группы *Holophaga-Acidobacterium*. При этом данные по составу сообществ коррелировали как с химическими свойствами почв, так и микробной активностью (Hackl et al., 2005).

При изучении бактериального разнообразия и структуры сообществ почв под естественными лесами и удобренных пахотных почв в районе Западной Амазонии было установлено, что во всех почвах доминируют представители ветви *Acidobacteria* (Kim et al., 2007). Однако в окультуренных почвах видовое богатство прокариот было на 25% больше, чем в лесных почвах.

В почвах альпийской тундры обнаружили неожиданно высокое бактериальное разнообразие, представленное 15 филотипами (Costello, Schmidt, 2003). Наиболее часто встречались *Acidobacteria* (26%), *Proteobacteria* (24%), *Chloroflexi* (16%), *Cytophaga-Flexibacter-Bacteroides* (9%) и *Verrucomicrobia* (7%). Особенностью прокариотного состава этих почв явилось обнаружение высокой пропорции неизвестных ранее групп бактерий, входящих в филотип *Chloroflexi*. Эти бактерии доминировали при таянии снега, они также обнаруживались зимой под снегом в микроаэрофильных условиях. Авторам удалось выявить приуроченность этих прокариотных микроорганизмов к гидроморфным почвам с довольно низким содержанием органического вещества и высоким содержанием растворимого железа.

При обследовании бактериальных комплексов почв альпийских лугов скалистых гор Колорадо (Lipson, Schmidt, 2004), были составлены «библиотеки клонов» 16S рДНК для разных сезонов, культивируемые формы высевали на твердые среды. В результате удалось выявить сезонную динамику в структуре бактериальных сообществ. Весной преобладали *Acidobacteria*, зимой – *Actinobacteria* и члены группы *Cytophaga-Flexibacter-Bacteroides*, летом – *Verrucomicrobia* и *Betaproteobacteria*. Представители

Alphaproteobacteria встречались во все сезоны. В составе некультивируемых форм обнаружили два неописанных таксона.

Исследователям, изучавшим прокариотное разнообразие сообществ, сформировавшихся в напочвенных корках в пустыне Соноран (США), удалось не только выявить специфику в соотношении крупных фило типов в этих биотопах, но и провести сравнение по этому показателю между бактериальными сообществами пустынных почв, горных почв (плато Колорадо) и равнинными почвами сельскохозяйственных угодий (Nagy et al., 2005). Оказалось, что различия в составе сообществ проявляются как на уровне доминантов, так и минорных компонентов. Так, если в напочвенных корках пустынь и гор доминируют цианобактерии, то в пустынных почвах – ацидобактерии, а в окультуренных почвах – протеобактерии. Следует отметить значительную долю актинобактерий во всех исследованных биотопах. Особый интерес представляет факт констатации высокой доли циано- и актинобактерий в высокогорных и пустынных биотопах, так как известно, что эти организмы образуют специфические ассоциации, формирующиеся на поверхности горных пород или почв (Зенова и др., 2005). Были найдены филумы, характерные только для одного из сравниваемых биотопов. Для пустынных корок это Chloroflexi и Deinococcus, для гор – Thermomicrobiales, для пустынных почв – Flexibacteria, для окультуренных – Verrucomicrobia. Представители Planctomycetes были выявлены в пустынных почвах (4,5%) и почвах сельскохозяйственных угодий (7,2%).

Попытка проследить за изменением бактериального разнообразия в процессе эволюции почв, возраст которых определяется цифрой 77 тысяч лет, была предпринята американскими микробиологами (Tarler et al., 2008). В качестве объекта исследования были выбраны почвы дюн, сформировавшихся вдоль долины реки в Южной Джорджии (район субтропиков). Почвы дюн представляет собой толстый слой песчаных эоловых наносов, которые периодически приносились и откладывались в течение 77 тысяч лет. Самые молодые наносы имеют возраст 5 тысяч лет. Растительный покров представлен дубами, соснами и кактусами, почвы покрыты лишайниками. Почвы никогда не использовались в сельском хозяйстве и практически не подвергались антропогенному воздействию. Образцы отбирались из горизонта Bw, сформированного на глубине 25–40 см и представляющего собой в основном илистую фракцию. Анализ бактериальных сообществ проводился как определением нуклеотидных последовательностей генов 16S рРНК, так и методом FAME (анализ метиловых эфиров жирных кислот). Было установлено, что состав бактериальных сообществ изменяется с возрастом почв – разнообразие, богатство и выравненность сообществ увеличиваются при переходе от молодых к более зрелым почвам. Во всех почвах, независимо от их возраста, доминировали представители филумов Acidobacteria (54%), Proteobacteria (19%), Planctomycetes (13%) и Chloroflexi (8%). Однако соотношение этих групп изменялось с

увеличением возраста почв – относительное обилие *Chloroflexi* было максимальным в молодых почвах, в то время как доля *Beta* и *Gamma* *proteobacteria*, а также *Acidobacteria* увеличивалась. Концентрация и разнообразие *Planctomycetes* уменьшалось в зрелых почвах. Было высказано мнение (Buckley et al., 2006), что планктомицеты чувствительны ко всяким изменениям и нарушениям, происходящим в почвах в процессе их формирования, в том числе и антропогенным. Делается вывод, что обилие плактомицетов может быть использовано как показатель сохранения почв в естественном состоянии.

Оценка взаимосвязи бактериального разнообразия и биогеографии почвенных бактериальных сообществ была проведена американскими микробиологами (Fierer, Jackson, 2006). Исследование было выполнено на 98 образцах почв, отобранных в направлении от севера к югу на территории Америки. Для анализа состава сообществ и разнообразия использовался метод фингерпринтинга рДНК. В результате было показано, что бактериальное разнообразие не связано ни с широтой местности, ни с температурой или другими географическими факторами, которые определяют распространение растений и животных. Разнообразие и богатство бактериальных сообществ, по их мнению, зависит от типа биогеоценоза, и эти различия определяются, прежде всего, значениями рН почвы. Бактериальное разнообразие максимально в нейтральных почвах и минимально в кислых почвах. Авторы делают выводы о том, что распространение бактерий (на уровне крупных филогенетических групп) контролируется эдафическими факторами и коренным образом отличается от биогеографии «макроорганизмов». Была найдена корреляция между величиной рН и некоторыми другими свойствами почвы – дефицит влаги, содержание органического вещества и соотношение C/N.

С целью выявить взаимоотношения между свойствами почв и относительным обилием 6 наиболее распространенных филумов бактерий, были отобраны 70 образцов почв из разных типов биогеоценозов на территории Северной Америки (Fierer et al., 2007). Было показано, что из многих свойств почв степень доступности углерода является одним из главных факторов, определяющих соотношение трех групп бактерий – *Acidobacteria*, *Beta* *proteobacteria* и *Bacteroidetes*. С увеличением степени минерализации углерода доля представителей *Acidobacteria* уменьшалась, а доля *Beta* *proteobacteria* и *Bacteroidetes* увеличивалась. Этот вывод был подтвержден и в модельных опытах с внесением сахарозы в почвенные монолиты – уменьшалось обилие ацидобактерий при увеличении протеобактерий и бактериоидов. При этом внесение сахарозы приводило и к снижению кислотности – от 4,6 до 5,6. Обилие трех других групп – *Alpha* *proteobacteria*, *Firmicutes* и *Actinobacteria* не зависело от степени доступности углерода. Авторы предполагают, что в соответствии с полученными результатами возможно представителей *Acidobacteria* отнести к олиготрофам, а *Beta* *pro-*



teobacteria и Bacteroidetes – к копиотрофам. Это подтверждается и данными по доминированию протеобактерий и бактериоидов в ризосфере (где больше доступного углерода), а ацидобактерий – в почве вне ризосферы. Однако исследователи заключают, что сделанные выводы не означают, что каждый из членов трех выше названных филотипов может быть отнесен к копиотрофам или олиготрофам, так как имеется большое физиологическое разнообразие и вариабельность внутри каждой группы.

Для характеристики психротолерантных гетеротрофных бактерий, изолированных из разных экосистем Финской Лапландии, был использован комплекс молекулярно-биологических и традиционных методов (Mannisto, Haggblom, 2006). Для выделения использовали многочисленные среды, включающие разные источники углерода, экстракты почвы, мхов и лишайников. Чашки Петри инкубировали при 5 и 15 °С в течение 2-х месяцев. Коллекция из 330 штаммов включала бактерии, выделенные из лесных почв, почв альпийской тундры, воды рек и озер, лишайников и водорослей. Используя метод экстракции ДНК изолятов с последующей ПЦР-амплификацией генов 16S рРНК, было установлено, что среди изолятов доминируют грамотрицательные бактерии, являющиеся членами подклассов Alpha, Beta и Gamma – Proteobacteria и группы Cytophaga-Flexibacter-Bacteroides. Более трети изолятов были идентифицированы как представители рода *Pseudomonas*, в почвах альпийской тундры псевдомонады составили 60% от всех изолятов. Другие грамотрицательные бактерии были представлены родами *Burkholderia*, *Collimonas*, *Pedobacter*, *Janthinobacter* и др. Большинство штаммов были психротолерантными – они росли при температуре от 0 до 30°С, лишь 7% штаммов росли при 35°С. Более половины штаммов бактерий были активны при 5°С, проявляя липазную и протеазную активности. Из всех исследованных культур 20% оказались способными к гидролизу крахмала и целлюлозы при 5°С. Таким образом, авторы не только определили таксономический состав бактерий, выделенных из разных биотопов, но и показали корреляцию между их «холодным» место-обитанием и способностью функционировать при низких температурах.

Другим примером комплексного подхода к изучению разнообразия и функционирования бактериальных комплексов почв может служить работа российских микробиологов (Куличевская и др., 2007), в которой изучался состав бактериального сообщества, развивающегося при разложении сфагнома в модельном лабораторном эксперименте. Молекулярный анализ выявил численное доминирование представителей филогенетических групп Alphaproteobacteria, Actinobacteria, и Planctomycetes. Доля планктомицетов возростала на конечных этапах разложения сфагнома. Численность Firmicutes и Bacteroidetes, считающихся главными агентами бактериальной деградации, была незначительной. Наиболее интересными представляются выводы авторов о функциональной роли бактерий, относящихся к фило-

группам Alphaproteobacteria и Planctomycetes. Изоляты протеобактерий из этих филумов были способны использовать галактуронат – единственное обнаруженное в воде торфяника низкомолекулярное органическое соединение, а планктомицеты – целый ряд гетерополисахаридов. При дальнейшем изучении роли бактерий в деструкции полимеров в сфагновых болотах (Панкратов, 2007) было показано, что представители филумов Bacteroidetes и Betaproteobacteria осуществляют процесс разложения пектина, а Bacteroidetes и Alphaproteobacteria – ксилана в кислых олиготрофных болотах. Был также описан новый род бактерий *Mucilaginibactor* gen nov., представители которого были способны к гидролизу пектина, ксилана, ламинарина и хондроитина в диапазоне pH 4,5 – 6 и температуре от 2 до 30 °C (Pankratov et al., 2007).

Итак, анализ работ по оценке бактериального разнообразия, выполненных за последние 10 лет, позволяет сделать следующие выводы:

1. В большинстве почв обнаружены представители филумов Acidobacteria, Verrucomicrobia и Planctomycetes, которые были описаны на основании молекулярно-биологических критериев лишь в последнее десятилетие.

2. Определено относительное обилие некоторых известных филогенетических групп бактерий. Исходя из данных разных исследователей, можно сделать вывод о том, что в почвах доминируют представители филумов Acidobacteria (19 – 54%) и Proteobacteria (19 – 55%). Бактерии, входящие в филумы Verrucomicrobia, составляют около 7%, Planctomycetes – 4–13%.

3. Предпринята попытка поисков корреляции между относительным обилием бактериальных филумов и такими экологическими факторами как тип фитоценоза, возраст почв, характер землепользования, pH почв. Однако на уровне таких крупных таксонов, как филумы, куда входят бактерии разных эколого-физиологических групп, полученные выводы вряд ли имеют прогностическую ценность. Об этом свидетельствуют уже имеющиеся противоречия в данных разных авторов. Так, если одни исследователи (Nagy et al., 2005) сообщают о том, что представителей Planctomycetes больше в почвах сельскохозяйственных угодий, чем в пустынных почвах, то другие (Buckley et al., 2006) считают, что планктомицеты чувствительны ко всяким антропогенным воздействиям и доминируют в ненарушенных заповедных почвах.

4. С этих позиций особый интерес представляют работы, в которых используется комплекс молекулярно-биологических и традиционных методов культивирования с выделением бактерий, то есть не только молекулярно-биологической идентификации, но и определение их экологических функций (Watts, Wellington, 1999).

5. Особого рассмотрения заслуживает проблема разработки подходов к культивированию ранее считавшихся «некультивируемыми» групп бактерий. Обзор этих работ дан в последующем подразделе.

### ***Проблема «некультивируемых» микроорганизмов в почвах***

Количество новых филогенетических групп домена Bacteria увеличилось от 10 (90-е годы) до 40 в настоящее время. Однако, в 13 из них не найдено пока культивируемых форм (Fry, 2008). Постепенно начали разрабатывать новые подходы к изолированию и культивированию ранее считавшихся некультивируемыми бактерий (Stevenson et al., 2004). Так, было предложено для выделения представителей Acidobacteria и Verrucomicrobia изменить способы культивирования, которые состоят в использовании бедных по составу агаризованных сред, увеличении сроков инкубации до 30 дней, защите клеток от кислорода, введении гумусовых кислот или их аналогов в питательную среду. Бактерии пробовали инкубировать в среде с пониженным содержанием кислорода или в анаэробных условиях. Значительно больше было выделено ацидобактерий в атмосфере 5% CO<sub>2</sub>. Добавление гумусовых кислот или почвенного экстракта не оказало влияния на выделение ацидобактерий. После появления колоний на чашках был применен метод смыва колоний с чашек с последующим их PCR анализом и использованием специфических праймеров. Подобная процедура была применена для выделения представителей Verrucomicrobia из кишечника термитов. Для выделения использовали среду с дрожжевым экстрактом, пептоном (0,1%) и/или ацетатом и каталазой. В результате были выделены и идентифицированы культуры ацидобактерий, принадлежащие к подгруппе 1, и веррукомикробии, относящиеся к подгруппе 4. Было показано, что представители Verrucomicrobia, выделенные из кишечника термитов, являются типичными автохтонными обитателями этих насекомых, в отличие от ацидобактерий, типичных для почв.

Несмотря на то, что большинство авторов, изучавших бактериальное разнообразие почв молекулярно-биологическими методами, отмечали присутствие, а иногда и доминирование представителей филума Acidobacteria в кислых почвах, практически очень мало было известно об их физиологии. Наиболее значимой с экологической точки зрения представляется работа микробиологов, которым удалось выделить из верховых кислых болот чистые культуры ацидобактерий, способных к росту при низких температурах с оптимумом pH 3,5–4,5 (Pankratov et al., 2008). Авторы применили комплекс методов, позволивших им определить численность и эколого-физиологические особенности этих типичных для болот бактерий. Рост ацидобактерий удалось получить после добавления разных субстратов к образцам торфа с последующим контролем роста бактерий с помощью метода FISH (in situ гибридизация с 16S рPHК-специфическими флуоресцентно-мечеными олигонуклеотидными зондами). В результате было пока-

зано, что культуры ацидобактерий способны к использованию таких субстратов как глюкоза, пектин, ксилан, крахмал, а также галактурановая кислота – характерный компонент клеточных стенок сфагнома. Авторы так характеризуют экологическую нишу этих бактерий – ацидобактерии выживают в торфяниках, используя различные гетерополисахариды, которые освобождаются в результате деструкции сфагнома и других растительных остатков. При этом они способны осуществлять свои функции при низких температурах и в кислой среде, что характерно для верховых болот.

В настоящее время филум *Acidobacteria* включает 4 рода: *Acidobacterium*, *Geothrix*, *Holophaga* и *Terriglobus*. Последний род был описан в 2007 г. (Eichorst et al., 2007). Бактерии этого рода в отличие от других родов являются умеренными ацидофилами (растут при pH от 5 до 7), не способны к росту при 37°C и содержат другой набор жирных кислот.

Другая филогенетическая ветвь домена *Bacteria* – *Planctomycetes* считается одной из наиболее загадочных групп прокариотных микроорганизмов. Это проявляется в том, что отсутствие пептидогликана в клеточной стенке делает их сходными с хламидиями, а окружение нуклеоида планктомицетов двуслойной мембраной сближает их с эукариотными организмами. В течение длительного времени не удавалось культивировать эти бактерии. С помощью молекулярно-биологических методов эти организмы были обнаружены первоначально в водной среде, а затем и в почве (Liesack, Stackebrandt, 1992., Zarda et al., 1997). Затем методом *in situ* гибридизации с 16S рРНК-специфичными флуоресцентно-мечеными олигонуклеотидными зондами (FISH) было показано, что представители *Planctomycetes* являются одной из доминирующих групп бактерий в сфагновых болотах (Куличевская и др., 2006). Популяционная численность планктомицетов в аэробных слоях торфяника составляла  $0,4-2 \times 10^7$  клеток/г сырого торфа. Для выделения культур планктомицетов авторы разработали новый эффективный подход, заключающийся в сочетании культурального метода изоляции планктомицетов с мониторингом всех этапов процедуры выделения этих организмов методом FISH. При этом авторы использовали и метод накопительных культур (получение биопленок на покровных стеклах, погруженных в чашки Петри с голодным агаром, инокулированным отжатой из торфа водой). После инкубации чашек при комнатной температуре в течение 1–3 месяцев проводили рассев на ряд разбавленных сред с pH 5,8–6. В результате удалось получить чистые культуры планктомицетов. Далее было показано, что изоляты представляют собой новые таксоны планктомицетов, о чем свидетельствовал низкий уровень сходства последовательностей их генов 16S рРНК с таковыми у известных культур этой группы. «Болотные» планктомицеты отличались от ранее описанных и рядом морфологических особенностей. Впоследствии были описаны новые роды и виды этих необычных организмов – типичных обитателей торфяников (Kulichevskaya et al., 2007, 2008). Бактерии этих родов оказались

способными к существованию в широком диапазоне рН (от 4,2 до 7,5) и температуре от 4 до 33 °С. Было установлено, что планктомицеты могут разлагать такие полисахариды как пектин, ламинарин и ксилан, но не способны, как и ацидобактерии, к гидролизу целлюлозы и хитина.

### ***Нанобактерии***

Особого рассмотрения заслуживают нанобактерии – самые мелкие представители прокариотных организмов. Подавляющее большинство бактерий имеет линейные размеры, превышающее 0,2 мкм (чуть больше разрешающей способности светового микроскопа). Наиболее крупные формы достигают нескольких микрон. Мелкие бактериальные формы, размером менее 0,2 мкм, исследованы значительно меньше. Развитие современных методов: применение ядерных мембранных фильтров, флуоресцентного микроскопа, просвечивающего и сканирующего электронного микроскопа для исследования почвенных препаратов и тонких срезов бактерий, внедрение молекулярно-биологических методов позволило иначе взглянуть на мельчайших представителей мира прокариот.

Современная концепция выживания микроорганизмов в естественных средах предусматривает переход их в так называемое, «некультивируемое, но жизнеспособное состояние» (Головлев, 1998; Чернов и др., 2005). Характерной особенностью такого состояния является уменьшение клеточного размера и высокая устойчивость клеток к физическим и химическим воздействиям. Уменьшение клеточного размера приводит к появлению ультрамикрочорм, или наноклеток бактерий. Феномен нанотрансформации как в естественных средах обитания (вода, почва), так и в чистых культурах был обнаружен у некоторых сапротрофных и патогенных бактерий еще в прошлом веке (Виноградский, 1952; Звягинцев, 1987; Никитин, 1964; Литвин и др., 2000).

Термин «нанобактерии» впервые употребил Р. Морита (Morita, 1988), однако широко использоваться он начал в работах финского микробиолога О.Каяндера (Kajander, Ciftcioglu, 1998), обнаружившего их внутри «песчинок» при мочекаменной болезни, а также в работах американского геолога Р. Фолка, открывшего подобные микроорганизмы в пробах осадочных пород (Folk, 1996). В настоящее время к нанобактериям относят мелкие прокариотные организмы с линейными размерами менее 0,2 мкм (по мнению некоторых авторов менее 0,4 мкм). В научной литературе, помимо термина нанобактерии, используют другие названия: ультрамикробактерии, наноформы, нанобактерии, карликовые клетки, фильтрующиеся клетки, *l*-формы и некоторые другие (Никитин, 1964; Крисс и др., 1948; Литвин и др., 2000; Casida, 1969; Bae, Casida, 1973; Morita, 1988).

Физиология, таксономия и экология нанобактерий остаются до настоящего времени малоизученными. Многие нанобактерии не удается выращивать на питательных средах, и они попадают из-за этого в категорию

«жизнеспособных некультивируемых форм». Предполагается, что нанобактерии могут принадлежать к одной из следующих категорий: 1) таксономически обособленная группа бактерий; 2) формы бактерий с нормальными размерами, уменьшившиеся в результате хранения, действия неблагоприятных условий, воздействия стрессоров; 3) нежизнеспособные формы, произошедшие из первой и второй групп (Panikov, 2005).

В последнее десятилетие нанобактерии внезапно привлекли к себе пристальное внимание научного сообщества: почвоведов, гидробиологов, геологов, медиков, экзобиологов и широкой общественности. Они были обнаружены в почве, на поверхности горных пород и минералов, внутри марсианских метеоритов, в почечных камнях и зубном камне, в сыворотке крови, используемой для переливаний (Вайнштейн, Кудряшова, 2000; Мишустина, 2004; Дуда и др., 2007; Дмитриев и др. 2008; Panikov, 2005).

Сыворотку и кровь, широко используемые для переливаний, стерилизуют фильтрацией. Однако фильтрующиеся формы, такие, как вирусы и нанобактерии, не удастся удалить этим методом. Финские микробиологи выделили из крови и сыворотки человека и описали ультрамелкую бактерию, получившую название *Nanobacterium sanguineum*. Интересной особенностью *Nanobacterium sanguineum* является то, что ее клетки могут служить центрами биоминерализации, т.е. биогенного образования минералов в макроорганизме. Известно также, что чистая культура *N. sanguineum*, растущая на стандартной среде с сывороткой, откладывает биогенный апатит вокруг клеток (Kajander, Ciftcioglu, 1998).

Согласно анализу 16S рРНК другие нанобактерии, обнаруженные внутри тела человека, отнесены к классу Alphaproteobacteria, патогенным для человека родам *Brucella* и *Bartonella* (Kajander, Ciftcioglu, 1998). Однако до сих пор остается неясным, являются ли нанобактерии возбудителями заболеваний человека. По мнению ряда исследователей, нанобактерии способны вызывать мочеполовые инфекции, пародонтоз, онкологические заболевания или сопутствовать им (Panikov, 2005).

Нанобактерии были обнаружены в морской воде (Крисс и др., 1948; Mishustina, 1973), где составляли значительную долю от общей численности бактерий. Долгое время единственной выделенной и наиболее исследованной нанобактерией была *Sphingopyxis alaskensis* – морская бактерия, принадлежащая к классу Alphaproteobacteria (Godoy et al., 2003). Несколько лет назад (Rappe et al., 2002) были выделены роды нанобактерий, принадлежащие кластеру SAR11. Сравнительно недавно из подводных гидротермальных систем Атлантического и Тихого океанов были выделены археи наноразмера (Huber et al., 2003). Новому виду было присвоено название *Nanoarchaeum equitans*, он был отнесен к филуму Nanoarchaeota. Эти бактерии растут на поверхности археобактерии-хозяина, нового представителя рода *Ignicoccus*. *N. equitans* обладает наименьшим геномом среди архей.

Все попытки культивировать *N. equitans* отдельно от клеток хозяина были неудачны.

По мнению некоторых исследователей, нанобактерии инициируют образование кристаллов кальцита и арагонита, за счет притяжения катионов к отрицательно заряженным клеткам. Предполагается участие нанобактерий в образовании рудных минералов (пирит, халькопирит, халькоцит), различных форм кремнезема (опал, халцедон, кристобалит) и глинистых минералов (Folk, 1999; Folk, Lynch, 1997; Folk, Taylor, 2002).

Для почвенных микробиологов изучение нанобактерий представляет большой интерес как составная часть «скрытого» биоразнообразия почвенных прокариот и важный ресурс биотехнологии. Очевидна необходимость изучения численности, физиологического состояния, таксономической принадлежности и экологических функций почвенных нанобактерий. Данные о численности почвенных нанобактерий крайне ограничены и противоречивы, что обусловлено как различными методами выделения нанобактерий, так и разными критериями величин их размеров (менее 0,2 мкм или менее 0,3- 0,4 мкм) принимаемых разными исследователями. Для выделения нанобактерий в настоящее время используется как метод фильтрации почвенной суспензии через мембранные фильтры (Iizuka et al., 1998), так и модификация метода предельных разведений, дополненная длительной инкубацией накопительных культур с последующей фильтрацией через мембранные фильтры (Hahn et al., 2003). При этом исследователи, как правило, работают каким-то одним из этих методов, что также приводит к противоречивости результатов.

Уже давно было известно, что бактерии в почве имеют гораздо меньшие размеры, чем на питательных средах (Виноградский, 1952; Новогрудский, 1956; Никитин, 1964; Звягинцев, 1987). Однако к данным о размерах бактериальных клеток, полученным с использованием флуоресцентного и электронного микроскопа, следует относиться с большой осторожностью, поскольку они не дают точного представления о величине объекта (Гузев, Звягинцев, 2003).

По оценкам разных авторов численность нанобактерий в разных почвах и сопряженных с почвой субстратах может достигать не менее половины от общей численности бактерий в образце, т.е. достигать величин около миллиарда в 1 г почвы. Так, по оценке зарубежных исследователей, выполненных с помощью электронной микроскопии, доля клеток бактерий с размерами менее 0,3 мкм достигала 70% от общего числа клеток (Вае, Casida, 1973), с помощью метода FISH были получены примерно такие же результаты – 60–70%. В исследованных экстремальных биотопах (грунтах вечной мерзлоты Восточной Сибири, нефтешламах, биопленках труб подземных нефтепроводов) численность нанобактерий колебалась от 29 до 34% от общего числа бактерий (Дмитриев и др., 2008).

Полученные результаты по оценке численности нанобактерий в некоторых почвах России (чернозем, торфяная почва, дерново-подзолистая почва) близки к данным, полученным другими исследователями – около 20% от общего числа бактерий, что составляет сотни миллионов клеток в 1 г почвы (Лысак, Лапыгина, 2007).

Данные о метаболической активности нанобактерий весьма ограничены. Было обнаружено, что у клеток размером менее 0,4 мкм скорость роста была ниже, чем у относительно больших клеток (De Fede, Sexstone, 2001). Изучение ультратонких срезов почвенной суспензии выявило присутствие мелких объектов, которые могли принадлежать только клеткам, поскольку четко прослеживалась клеточная стенка, цитоплазматическая мембрана, мезосомы и т. д. Очень редко были видны септы, что говорит о низкой метаболической активности бактерий *in situ* (De Fede, Sexstone, 2001).

Доля нанобактерий в образцах почв и мерзлых грунтов Арктики и Антарктики была значительной (более половины клеток) и превышала долю бактериальных клеток с обычными размерами. Обращало на себя внимание доминирование клеток бактерий с грамотрицательным типом клеточной стенки (Soina et al., 2004).

Сравнительное изучение метаболической активности фракции клеток обычного размера и более мелких клеток (менее 0,4 мкм) при помощи метода BIOLOG выявило ограниченную способность нанобактерий к утилизации субстратов (углеводы и органические кислоты), тогда как клетки обычного размера использовали более широкий спектр субстратов (Panikov, 2005).

Было также исследовано физиологическое состояние бактерий в основных генетических горизонтах верхового торфяника с использованием красителя L7012, позволяющего дифференцировать клетки с ненарушенной мембраной (живые) от клеток с поврежденной мембраной (мертвые или физиологически неактивные). Численность нанобактерий размером менее 0,2 мкм в основных генетических горизонтах верхового торфяника составляла от 100 до 500 млн. клеток в 1 г, уменьшаясь вниз по профилю, при этом подавляющая часть клеток нанобактерий (около 95%) имели ненарушенную клеточную мембрану.

Исследование верхних горизонтов городских почв выявило в них довольно значительную численность нанобактерий – около млрд. клеток в 1 г почвы (Iizuka et al., 1998).

Сведения о таксономической принадлежности нанобактерий также крайне ограничены. Изучение образцов полупустынных почв методом разведений с последующей фильтрацией через мембранные фильтры (размер пор 0,2–0,3 мкм) позволило выделить две фракции клеток. Клетки первой фракции после пассажа через питательные среды приобрели «нормальные» размеры, клетки второй сохраняли малые размеры, что указывает на при-



надлежность их к истинным нанобактериям. С помощью метода ПЦР была проанализирована фракция нанобактерий полупустынных почв. Бактериальные культуры, идентифицированные как Alpha- и Betaproteobacteria, сохраняли карликовость клеток, тогда как мелкие клетки, отнесенные к родам *Arthrobacter*, *Propionibacterium* и другим актинобактериям, вновь обретали большие размеры. Процедура повторного фильтрования проб позволила выделить из почв представителей истинных нанобактерий. Они отнесены к филуму Crenarchaeota и четырем риботипам филума Proteobacteria, Firmicutes, Actinobacteria и неизвестной ранее филогруппе TM-7 (Rutz, Kieft, 2004).

Изучение бактериальных сообществ анаэробных почв рисовников позволило выделить три новых рода истинных нанобактерий. Малые размеры клеток были стабильной характеристикой и сохранялись даже при росте организмов на богатых субстратах. Содержание ГЦ в ДНК этих родов составляло 63%; клетки были подвижны и обладали одним жгутиком. Филогенетический анализ 16S рДНК показал, что новые роды принадлежат к ветви Verrucomicrobiales (Janssen et al., 1997).

Сравнение фракции почвенных (почва, к сожалению, не указана) нанобактерий, полученной пропусканием через мембранные фильтры, с большими клетками из почвенной суспензии с помощью метода BIOLOG и анализа 16S рДНК показало, что клетки нанобактерий фенотипически и генотипически отличаются от больших (De Fede, Sextone, 2001).

В нашей стране работы по выделению и изучению нанобактерий успешно идут в лаборатории структурно-функциональной адаптации микроорганизмов ИБФМ РАН под руководством В.И.Дуды. В этой лаборатории выделены и описаны нанобактерии из вечномерзлых отложений, из нефтяных шламов (илов) со дна водоемов, симбионтов сине-зеленых водорослей (Дмитриев и др., 2004; Дуда и др., 2007; Сузина и др., 2008; Дмитриев и др., 2008). Нанобактерии, выделенные из грунтов вечной мерзлоты и нефтешламов, удалось выделить в чистую культуру и отнести ее по ряду признаков к недавно описанному роду *Kaistia*. Оказалось, что выделенные в лаборатории штаммы образуют в цикле развития два типа клеток: кокковидные, имеющие в диаметре 0,4–0,8 мкм и ультрамелкие с диаметром 0,2–0,3 нм. Эти свободноживущие бактерии могут быть факультативными паразитами фототрофных и гетеротрофных бактерий.

Вероятно, с определенной осторожностью к нанобактериям могут быть отнесены и представители довольно хорошо изученного в настоящее время рода *Bdellovibrio*, имеющего размеры клеток 0,2–0,5 мкм, и некоторые микоплазмы, характеризующиеся мелкими размерами и отсутствием ригидной клеточной стенки.

При помощи метода фильтрации проб почвенной суспензии через мембранные фильтры (размер пор 0,2 мкм) были выделены нанобактерии из образцов торфяной почвы. Таксономическая принадлежность нанобак-

терий была изучена с помощью метода FISH. Среди нанобактерий обнаружены представители доменов Archaea (10–16%) и Eubacteria (26–35%). Среди Eubacteria доминировали грамотрицательные бактерии филогенетических групп Proteobacteria классов Alpha-, Beta-, Gamma- и Deltaproteobacteria и Cytophaga. Доля неидентифицированных клеток составляла 55%, что свидетельствовало о присутствии среди нанобактерий неизвестных или слабоизученных таксонов.

Итак, подводя итог вышесказанному, очевидно, что нанобактерии широко распространены в биосфере, ими освоены самые разные экологические ниши: организм человека и животных, пресные и соленые воды, гипертермальные источники, горные породы и почвы. При этом нанобактерии составляют значительную и наименее изученную часть почвенного бактериального разнообразия, что привлекает к ним особое внимание исследователей. Высказывались предположения об их значительной роли в генезисе вторичных почвенных минералов (Iizuka et al., 1998).

Представляет интерес распределение в почве функций между бактериями обычного размера и наноформами. Обычные бактерии выполняют в почве самые разнообразные экологические функции (Звягинцев и др., 1999). Видимо это относится и к тем бактериям, которые в жизненном цикле развития способны образовывать наноформы. Сложнее определить функции истинных нанобактерий, сохраняющих малые размеры в течение всего жизненного цикла.

### ***Перспективы оценки микробного разнообразия почв***

Основная задача, которая стоит перед почвенными микробиологами в настоящее время, очень точно сформулирована в названии обзора норвежских микробиологов «Microbial diversity and function in soil: from genes to ecosystems» (Torsvik, Ovreas, 2002). Авторы перечисляют все молекулярно-биологические методы, которые были предложены и использованы для определения микробного разнообразия почв. Основным вывод этих авторов, как и многих других молекулярных биологов, работающих в этой области, – необходимы новые подходы и методы, которые позволят выявить связь между филогенетическими группами и их функциями в почве. Это прежде всего количественный сравнительный экспресс-анализ рРНК генов и генов ключевых ферментов, которые могут дать информацию о филогении и экологии функциональных групп бактерий, ответственных за процессы типа нитрификации, денитрификации, окисления метана и др. Уже начали использоваться комбинации методов микрорадиоавтографии и FISH, сравнения содержания стабильных изотопов с анализом фосфолипидов жирных кислот, введение 5-бром-2-деоксиуридина (BrdU) в ДНК – для определения метаболически активных членов сообщества.

Одновременно с введением новых методов авторы считают необходимым обратить внимание на изучение влияния разных экологических

факторов и особенно свойств почв на микробное разнообразие. В качестве таких факторов перечисляются содержание и тип органического вещества, значения рН, размер почвенных частиц, на которых адсорбируются микроорганизмы, водный режим и др. Все эти вопросы не раз обсуждались российскими микробиологами и почвоведом. Существуют монографии, большое количество статей и обзоров, в которых продемонстрирована взаимосвязь между местообитанием микроорганизмов, свойствами почвы и их таксономическим составом и функциями (Звягинцев, 1987; Звягинцев и др., 1999; Добровольская, 2002, Добровольская и др., 2001). Все выводы о структурно-функциональной организации микробных сообществ почв были сделаны этими авторами на основании результатов микробиологических анализов почвенных образцов, выполненных традиционным методом посева. В настоящее время зарубежные микробиологи ставят на обсуждение те же вопросы и пытаются решить их на основании результатов молекулярно-биологических методов. Значимость их отражена в названиях обзоров, опубликованных за последние годы: «An ecological perspective on bacterial biodiversity» (Horner-Devine et al., 2004), «Microbial diversity and soil functions» (Nannipieri, 2003), «Toward an ecological classification of soil bacteria» (Fierer et al., 2007). Анализируя преимущества и недостатки каждого из существующих ныне методов оценки бактериального разнообразия, авторы приходят к выводу о том, что необходим дальнейший поиск методов и подходов, чтобы ответить на тот главный вопрос, который они ставят на обсуждение – как связаны между собой генетическое разнообразие, структура микробных сообществ и почвенные функции. Из анализа экспериментальных работ, проведенных разными исследователями, становится очевидным пока лишь то, что нет четкой корреляции между микробным разнообразием почв и скоростью деструкции органического вещества. Элиминирование одной из групп бактерий не оказывало значительного влияния на этот процесс, так как другие группы микроорганизмов осуществляли эти функции (Nannipieri et al., 2003). Этот принцип получил название «дублирование экологических функций» (Звягинцев, 1987). Из результатов данных многочисленных экспериментальных исследований следует, что чем больше дублеров, тем быстрее идет процесс (разложение сахаров, спиртов, органических кислот) и чем меньше дублеров, тем медленнее идет процесс (разложение фенола, анилина, ряда пестицидов и др.). Принцип дублирования весьма широко действует в почвах и, очевидно, дает возможность более точно и тонко поддерживать гомеостаз даже в изменяющихся физико-химических условиях (Звягинцев, 1987).

Для выявления роли микроорганизмов в ведущих почвенных процессах необходимо научиться определять соотношение активных и покоящихся форм микроорганизмов в почве. Для этого предлагается использовать радиоуглеродные метки, которые помогут установить связь между количеством лабильной и общей ДНК в микробной биомассе. Кроме того, даль-

нейшая таксономическая и функциональная характеристика  $C^{13}$  ДНК позволит так же более точно предсказать изменения в составе микробных сообществ, происходящие при внесении разных источников  $C^{13}$  в почву (Nannipieri et al., 2003).

Нам представляется, что несмотря на имеющиеся в настоящее время глубокие противоречия в результатах оценки бактериального разнообразия почв молекулярно-биологическими и традиционными методами посева, возможно идти по пути одновременного использования в будущем этих методов. Следует отметить, что в настоящее время в Рибосомальной Базе Данных (RDP) содержатся сведения о почти 10 000 тысячах полных и частичных последовательностях фрагментов генов 16S рРНК коллекционных культур и «почвенных клонов» (Maidak et al., 1999). База эта все время пополняется, что позволит со временем более точно трактовать сведения, получаемые на основании изучения амплификации фрагментов гена 16S рРНК экстрактов ДНК из почвы.

Совместная работа молекулярных биологов, микробиологов и почвоведов должна начинаться с самых первых шагов, буквально с методических подходов к отбору почвенных проб для анализа образцов. Это представляется весьма значимым в плане интерпретации полученных результатов. Во-первых, необходимо привлечение почвоведов, которые должны грамотно описать и определить тип почвы, разделив ее на генетические горизонты, определив ее физические и химические свойства. В большинстве публикаций, посвященных оценке бактериального разнообразия почв с помощью молекулярно-генетических методов, не указывается ни тип почвы, ни ее положение в рельефе, ни название горизонта, из которого отбирается образец, не всегда приводится и описание растительности, нет описания климата и диапазона температур, которые определяют водно-воздушный режим почв. Только при таком описании можно будет вести дискуссию о возможности функционирования в той или иной почве термофильных креноархей или анаэробных фототрофных бактерий.

Далее, необходим отбор почвенных образцов с учетом как вертикально-ярусной структуры, так и почвенных мезо и микролюков. Поскольку таксономический состав микробных сообществ подвержен сезонным изменениям, необходимо проводить отбор проб несколько раз в году, учитывая влажность и температуру почв.

Следует отметить, что примеры таких подходов к анализу бактериального разнообразия почв современными методами уже имеются (Luedemann et al., 1999). При этом образцы отбирались послойно из почвенного монолита, залитого водой с учетом градиента концентрации кислорода. Из каждого слоя толщиной 0,2 мм была экстрагирована ДНК, дальнейший анализ проводился методом «fingerprint». Была показана корреляция между типом сообщества и концентрацией кислорода, определяемой глубиной взятия образца. Сравнительный анализ последовательностей

фрагментов генов 16S рРНК показал, что в окисленных почвенных слоях доминируют популяции протеобактерий, а в лишенных кислорода слоях – грамположительные бактерии *Bacillus* и *Clostridium*.

Наметился прогресс в усовершенствовании методов определения функций бактерий, в том числе и присутствующих в почве в некультивируемом состоянии. Для этого предлагаются следующие новые подходы (Rondon et al., 1999) – метагеномный (metagenome), связанный с клонированием и анализом больших фрагментов почвенной бактериальной ДНК, и экспрессионного клонирования (expression-cloning). При этом становится возможным охарактеризовать не только гены 16S рРНК, но и структурные гены, ответственные за работу отдельных ферментов, таких, например, как нитратредуктаза, рибулозофосфаткарбоксилаза, метанолгидрогеназа и другие, что позволит сделать первые шаги к поиску связи между таксономической структурой и функционированием почвенных микробных сообществ.

Разработан также метод, который позволит распознавать редкие или новые филогенетические группы при помощи предварительного исключения из ПЦР наиболее многочисленных последовательностей путем их связывания со специфическими пептидами (Wintringerode et al., 1999).

Для количественной оценки структуры микробных сообществ предложено использовать набор экологических индексов, рассчитанных на основании данных как молекулярно-биологического метода, так и анализа профилей метиловых эфиров жирных кислот и фосфолипидов (Peacocki et al., 1999). Этот набор включал такие индексы как обилие, выравненность, коэффициент сходства между сообществами и др. Результаты показали значительную корреляцию между индексами, вычисленными разными методами. Аналогичные индексы было предложено использовать ранее (Добровольская и др., 1997; Добровольская и др., 1999) для характеристики структуры бактериальных сообществ, определяемой по методу посева.

Не менее значимым, чем усовершенствование и интеграция методов, является развитие направления в области изучения микробного разнообразия почв, связанного с описанием тех мест и экосистем, где обитают и размножаются разнообразные, в том числе и уникальные формы микроорганизмов. В частности, разработан вертикально-ярусный и географический подходы к анализу микробных сообществ (Звягинцев и др., 1999, Добровольская, 2002), которые имеют своей целью дать такое описание. Аналогичные взгляды, касающиеся необходимости точного указания местонахождения и относительного обилия разных видов микроорганизмов в природных экосистемах, высказывают и другие авторы (Kennedy, Gewin, 1997; Rondon et al., 1999). Они же предлагают охранять и сами природные ресурсы, содержащие высокое микробное разнообразие. Ранее подобная точка зрения была высказана Г.А.Заварзиным (1990), написавшим, что защите должны подлежать не отдельные микроорганизмы в пробирках, а природ-

ные биоценозы. Поэтому «заповедники для микробов нужны, пожалуй, не менее чем для любых других генетических ресурсов».

Подготавливаемые в настоящее время российскими почвоведомы красные книги почв по аналогии с таковыми для растений и животных, также имеют своей целью сохранить не только редкие почвы, но их содержимое – генетический фонд биоразнообразия жизни на Земле. Имеет смысл и длительная криоконсервация почвенных образцов, представляющих особый интерес в плане сохранения в них разнообразных, в том числе и древних форм почвенных микроорганизмов. Известно о сохранении жизнеспособности бактерий в породах возрастом в несколько млн. лет, пролежавших все это время в замороженном состоянии. Причем, вывод микроорганизмов из анабиоза не требует каких-либо специальных приемов, он происходит довольно быстро на обычных питательных средах и при обычных условиях (Zvyagintsev, 1995).

Таким образом, сочетание природоохранных мероприятий с одновременным усовершенствованием и интеграцией методов оценки почвенного микробного разнообразия позволит объединить в будущем усилия ученых, направленные на сохранение стабильности экосистем и биосферы в целом.

### *Литература*

- Асеева И.В., Паников Н.С., Чурсина О.Т. 1977. Содержание и состав нуклеиновых кислот в дерново-подзолистых почвах // Вестник МГУ. Сер.17. Почвоведение. №1. С.85–91.
- Вайнштейн М.Б., Кудряшова Е.Б. 2000. О наннобактериях // Микробиология. Т.69. №2. С.163–174.
- Виноградский С.Н. 1952. Микробиология почвы. М.: Наука. 350 с.
- Головлев Е.Л. 1998. Другое состояние неспорулирующих бактерий // Микробиология. Т.67. №6. С.725–735.
- Горленко М.В., Кожевин П.А. 2005. Мультисубстратное тестирование почвенных микробных сообществ. М.: МАКС Пресс. 115 с.
- Гузев В.С., Звягинцев Д.Г. 2003. Биометрический анализ клеток бактерий в почве // Микробиология. Т.72. №2. С.221–227.
- Дмитриев В.В., Сузина Н.Е., Баринаева Е.С., Дуда В.И., Воронин А.М. 2004. Электронно-микроскопическое изучение ультраструктуры микробных клеток *in situ* в экстремальных биотопах // Микробиология. Т.73. №5 С.832–840.
- Дмитриев В.В., Сузина Н.Е., Русакова Т.Г., Петров П.Ю., Олейников Р.Р., Есикова Т.З., Холоденко В.Л., Дуда В.И., Боронин А.М. 2008. Электронно-микроскопическое обнаружение и характеристика наноформ бактерий *in situ* в экстремальных биотопах // Микробиология. Т.77. №1 С.46–54.

- Добровольская Т.Г. 2002. Структура бактериальных сообществ почв. М.: ИКЦ «Академкнига». 282 с.
- Добровольская Т.Г., Лысак Л.В., Зенова Г.М., Звягинцев Д.Г. 2001. Бактериальное разнообразие почв: оценка методов, возможностей, перспектив // Микробиология. Т.70. №2. С.149–167.
- Добровольская Т.Г., Чернов И.Ю., Евтушенко Л.И., Звягинцев Д.Г. 1999. Разнообразие сапротрофных бактерий в пустынных биогеоценозах // Успехи современной биологии. Т.119. №2. С.151–164.
- Добровольская Т.Г., Чернов И.Ю., Звягинцев Д.Г. 1997. О показателях структуры бактериальных сообществ // Микробиология. Т.66. №3. С.408–414.
- Дуда В.И., Сузина Н.Е., Акимов В.И., Вайнштейн М.Б., Дмитриев В.В., Барина Е.С., Абашина Т.Н., Олейников Р.Р., Есикова Т.З., Боронин А.М. 2007. Особенности ультраструктурной организации и цикла развития почвенных ультрамикробактерий, относящихся к классу Alphaproteobacteria // Микробиология. Т.76. №5. С.652–661.
- Заварзин Г.А. 1990. Заповедники для микробов // Природа. №2 С.39–45.
- Заварзин Г.А. 2006. Составляет ли эволюция смысл биологии? // Вестник РАН. т.76, №6. С.522–543.
- Звягинцев Д.Г. 1987. Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во МГУ. 256 с.
- Звягинцев Д.Г., Добровольская Т.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М., Лысак Л.В., Полянская Л.М., Чернов И.Ю. 1999. Структурно-функциональная организация микробных сообществ // Экология в России на рубеже XXI века (наземные экосистемы). М.: Научный Мир. С.147–180.
- Зенова Г.М., Орлеанский В.К., Омарова Е.О. 2005. Почвенные стрептомицеты – компоненты альго-бактериальных ценозов. Почвоведение. №10. С.1251–1255.
- Кашкаров Д.Н. 1945. Основы экологии животных. Л.: Учпедгиз. 382 с.
- Кожевин П.А. 1989. Микробные популяции в природе. М.: Изд-во МГУ. 175 с.
- Крисс А.Е., Бирюзова В.И., Золковер А. 1948. Точечный диализ – метод подготовки биологических препаратов для электронной микроскопии // Микробиология. Т.63. №3. С.484–489.
- Куличевская И.С., Белова С.Э., Кевбрин В.В., Дедыш С.Н., Заварзин Г.А. 2007. Анализ бактериального сообщества, развивающегося при разложении сфагнума // Микробиология. Т.76. №5. С.702–710.
- Литвин В. Ю., Гинцбург А. Л., Пушкарева В. И., Романова Ю. М. 2000. Обратимый переход патогенных бактерий в покоящееся (некультивируемое) состояние: экологические и генетические механизмы // ВРАМН. №1. С.7–13.
- Лысак Л.В., Лапыгина Е.В. 2007. Индикация состояния клеток бактерий в почве // Всероссийская научно-практическая конференция. Сборник статей. Ч.2. Пенза: МНИЦ ПГСХА. С.86–89.

- Мишустина И.Е. 2004. Нанобиология океана // Известия РАН, сер. биологическая. №5. С.597–600.
- Никитин Д.И. 1964. Применение электронной микроскопии для изучения почвенных суспензий // Почвоведение. №6. С.612–618.
- Новогрудский Д.М. 1956. Почвенная микробиология. Алма-Ата. 402 с.
- Панкратов Т. А. 2007. Бактериальные сообщества сфагновых болот и их участие в деструкции природных полимеров. Дисс. к.б.н. М. 137 с.
- Сузина Н.Е., Есикова Т.З., Акимов В.Н., Абашина Т.М., Дмитриев В.В., Поливцева В.Н., Дуда В.И., Боронин А.М. 2008. Электронно-микроскопическое и флуоресцентно-микроскопическое изучение эктопаразитизма ультрамикробактерий рода *Kaistia*, штаммов NF1 и NF3 // Микробиология. Т.77. №1. С.55–62.
- Чернов В.М., Мухаметшина Н.Е., Головлёв Ю.В., Абдрахимов Ф.А., Чернова О.А. 2005. Адаптивные реакции микоплазм *in vitro*: «жизнеспособные, но некультивируемые формы» и наноклетки *Acholeplasma laidlawii* // Микробиология. Т.74. №4. С.498–504.
- Amann R.I., Ludwig W., Schleifer K.H. 1995. Phylogenetic identification and *in situ* detection of individual microbial cells without cultivation // Microbiol. Rev. Vol.59. No1. P.143–169.
- Axelrood P.E., Chow M.L., Arnold C.S., Lu K., McDermott J.M., Davies J. 2002. Cultivation-dependent characterization of bacterial diversity from British Columbia forest soils subjected to disturbance // Can. J. Microbiol. Vol.48. No7. P.643–654.
- Bae H.C., Casida L.E. 1973. Responses of indigenous microorganisms to soil incubation as viewed by transmission electron microscopy // J. Bacteriology. Vol.113. P.1462–1473.
- Borneman J., Skroch P.W., O'Sullivan K.M., Palus J.A., Rumjanek N.G., Jansen J.L., Nienhuis J., Triplett E.W. 1996. Molecular microbial diversity of an agricultural soil in Wisconsin // Appl. Environ. Microbiol. Vol.62. No6. P.1935–1942.
- Buckley D.H., Huangyutitham V., Nelson T.A., Rumberger A., Thies J.E. 2006. Diversity of Planctomycetes in soil in relation to soil history and environmental heterogeneity // Appl. Environ. Microbiol. Vol.72. P.4522–4531.
- Casida L.E. 1969. Observation of microorganisms in soil and other habitats // Appl. Microbiol. Vol.18. P.1065–1071.
- Chandler D.P., Brockman F.J., Fredrickson J.K. 1997. Use of 16r DNA clone libraries to study changes in a microbial community changes in a microbial community resulting from *ex situ* perturbation of a subsurface sediment // FEMS Microbiol. Rev. Vol.20. No3–4. P.217–230.
- Chow M.L., Radomski C.C., McDermott J.M., Davies J., Axelrood P.E. 2002. Molecular characterization of bacterial diversity in Lodgepole pine (*Pinus contorta*) rhizosphere soils from British Columbia forest soils differing in dis-



- turbance and geographic source // FEMS microbial. Ecology. Vol.42. No3. P.347–357.
- Costello E.K., Schmidt S.K. 2003. Alpine tundra soil at spring snow melt harbors novel and abundant groups of chloroflexi bacteria // ASM General Meeting. Poster N-252.
- De Fede K.L., Sexstone A.J. 2001. Differential response of size-fractioned soil bacteria in BIOLOG microtitre plates // Soil Biol. Biochem. Vol.33. P.1547–1554.
- Eichorst S.A., Breznak J.A., Schmidt T.M. 2007. Isolation and characterization of soil bacteria that define *Terriglobus* gen. nov., in the phylum Acidobacteria // Appl. Environ. Microbiol. Vol.73. No8. P.2708–2717.
- Fierer N., Braddford M.A., Jackson R.B. Toward an ecological classification of soil bacteria. Ecology, 2007, vol. 88, No 6, p. 1354–1364.
- Fierer N., Jackson R.B. The diversity and biogeography of soil bacterial communities // Proc. Natl. Acad. Sci. 2006. V. 103. P. 626–631.
- Folk R. L., Lynch F.L. 1997. The possible role of nannobacteria (dwarf bacteria) in clay-mineral diagenesis and the importance of careful sample preparation in high-magnification SEM study // J. Sediment Res. Vol.67. P.583–589.
- Folk R. L., Taylor L.A. 2002. Nannobacterial alteration of pyroxenes in martian meteorite Allan Hills 84001 // Meteor. Planet. Science. Vol.37. P.1057–1069.
- Folk R.L. 1996. In defense of nannobacteria // Science. Vol.274. P.1285–1289.
- Folk R.L. 1999. Nanobacteria and the precipitation of carbonate in unusual environments // Sediment. Geol. Vol.126. P.47–55.
- Fry J. 2008. Bacterial diversity and «unculturables» // Microbiology Today. Vol.27. P.186.
- Fulthorpe R.R., Rhodes A.N., Tiedje J.M. 1998. High levels of endemicity of 3 benzoate-degrading soil bacteria // Appl. Environ. Microbiol. Vol.64. P.1620–1627.
- Godoy F., Vancanneyt M., Martinez M., Steinbuchel A., Swings J., Rehm B.H.A. 2003. *Sphingopyxis chilensis* sp. nov., a chlorophenol-degrading bacterium that accumulates polyhydroxyalkanoate, and transfer of *Sphingomonas alaskensis* to *Sphingopyxis alaskensis* comb. nov // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. Vol.53. P.473–477.
- Hackl E., Zechmeister-Boltenstern S., Bodrossy L., Sessitsch A. 2005. Comparative diversity and composition of bacterial communities inhabiting natural forest soils // Geophysical Research Abstracts. Vol.7. P.2765.
- Hahn M.W., Lunddorf H., Wu Q., Shcauer M., Holfe M.G., Boenigk J., Stadler P. 2003. Isolation of novel ultramicrobacteria classified as Actinobacteria from five freshwater habitats in Europe and Asia // Appl. Environ. Microbiol. Vol.69. P.1442–1451.
- Harris D. 1994. Analysis of DNA extracted from microbial communities // Beyond the biomass. K. Ritz, J. Dighton, K.E. Gillre. (eds.). Chichester: John Wiley and Sons. P.111–118.

- Horner-Devine M.C., Carney K.M., Bohannon J.M. 2004. An ecological perspective on bacterial biodiversity // Proc. R. Soc. Lond. Vol.271. P.113–122.
- Huber H., Hohn M.J., Rachel R., Stetter K.O. 2003. The phylum Nanoarchaeota; Present knowledge and future perspectives of a unique form of life // Res. Microbiol. Vol.154. P.165–171.
- Iizuka H., Yamanaka S., Nishiyama T., Hiraishi A. 1998. Isolation and phylogenetic analysis of aerobic copiotrophic ultramicrobacteria from urban soil // J. Gen. Appl. Microbiol. Vol.44. P.165–171.
- Janssen P., Schulman A., Morschel E., Rainey F. 1997. Novel anaerobic ultramicrobacteria belonging to the Verrucomicrobiales lineage of bacterial descent isolated by dilution culture from anoxic rice paddy soil // Appl. Environ. Microbiol. Vol.63. P.1382–1388.
- Kajander E. O., Ciftioglu N. 1998. Nanobakteria: An alternative mechanism for pathogenic intra- and extracellular calcification and stone formation // Proc. Natl. Acad. Sci. USA. Vol.63. P.1382–1388.
- Kennedy A.C., Gewin V.L. 1997. Soil microbial diversity: present and future considerations // Soil Sci. Vol.162. No9. P.607–617.
- Kim J.S., Sparovek G., Longo R.M., De Melo W.J., Crowley D. 2007. Bacterial diversity of terra preta and pristine forest soil from the Western Amazon // Soil Biol. Biochem. Vol.39. No2. P.684–690.
- Kirk J.L., Beaudette L.A., Hart M., Moutoglou P., Klironomos J.N., Lee H., Trevors J.T. 2004. Methods of studying soil microbial diversity // Journal of Microbiological Methods. Vol.58. P.169–188.
- Kulichevskaya I.S., Ivanova A.O., Baulina O.I., Bodelier P.L., et al. 2008. *Singulisphaera acidiphila* gen. nov., sp. Nov., a non-filamentous, Isosphaera-like planctomycete from acidic northern wetlands // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. Vol.58. P.1186–1193.
- Kulichevskaya I.S., Ivanova A.O., Belova S.E., Baulina O.I. et al. 2007. *Schlesneria paludicola* gen nov., sp. nov., the first acidophilic member of the order Planctomycetales, from Sphagnum-dominated boreal wetlands // Int. J. Syst. Evol. Microbiol. Vol.57. P.2680–2687.
- Liesack W., Stackebrandt E. 1992. Occurrence of novel groups of the domain Bacteria as revealed by analysis of genetic material isolated from an Australian terrestrial environment // J. Bacteriol. Vol.174. P.5072–5078.
- Lipson D.A., Schmidt S.K. 2004. Seasonal changes in an Alpine soil bacterial community in the Colorado rocky Mountains // Appl. and Environ. Microbiol. Vol.70. No5. P.2867–2879.
- Luedemann H., Henkel A., Arth J., Liesack W. 1999. Changes in the bacterial community structure along the vertical oxygen gradient of flooded soil cores, as revealed by T-RFLP analysis of 16 S r RNA and their encoding genes // Abstracts ASM Conference of Microbial Biodiversity. August 5–8, Chicago, Illinois. P.30.

- Maidak B.L., Cole J.R., Parker C.T. et al. 1999. A new version of the RDP (Ribosomal Database Project) // *Nucleic Acids Research*. Vol.27. No1. P.171–173.
- Mannisto M.K., Haggblom M.M. 2006. Characterization of psychrotolerant heterotrophic bacteria from Finnish Lapland // *System. and Appl. Microbiol.* Vol.29. P.229–243.
- McVeigh, Munro J., Embley T.M. 1996. Molecular evidence for the presence of novel actinomycete lineages in a temperate forest soil // *J.Industrial Microbiol.* Vol.17. P.197–204.
- Mishustina I.E. 1973. Submicroscopic forms in marine muds isolated by a density gradient method and studied by electronmicroscopy // *Bull. Ecol. Res. Comm. (Stockholm)*. Vol.17. P.143–149.
- Morita R.I. 1988. Bioavailability of energy and starvation survival in nature // *Can. J. Microbiol.* Vol.34. P.436–441.
- Nagy M.L., Perez A., Garcia-Pichel F. 2005. The prokaryotic diversity of biological soil crusts in the Sonoran desert (Organ Pipe Cactus National Monument, AZ) // *Fems Microbiol. Ecology* // Vol.54. P.233–245.
- Nannipieri P., Ascher J., Ceccherini M.T., Landi L., Pietramellara G., Renella G. 2003. Microbial diversity and soil functions // *European Journal of Soil Science*. Vol.54. P.655–670.
- Naumov G.I., Naumova E.S., Sniegowski P.D. 1997. Differentiation of European and Far East Asian populations of *Saccharomyces paradoxus* by allozyme analysis // *Int. J. Syst. Bacteriol.* Vol.47. P.341–344.
- Ogram A. 2000. Soil molecular ecology at age 20: methodological challenges for the future // *Soil Biol. Biochem.* Vol.32. P.1499–1504.
- Panikov N. 2005. Contribution of nanosized bacteria to the total biomass and activity of a soil microbial community // *Advances in Applied Microbiology*. Vol.57. P.245–296.
- Pankratov T.A., Serkebaeva Y.M., Kulichevskaya I.S., Liesack W., Dedysh S.N. 2008. Substrate-induced growth and isolation of Acidobacteria from acidic Sphagnum peat // *The ISME Journal*. No2. P.551–560.
- Pankratov T.A., Tindall B.J., Liesack W., Dedysh S.N. 2007. Mucilaginibacter paludis gen. nov., sp. nov. and Mucilaginibacter gracilis sp. nov., pectin-, xylan- and laminarin-degrading members of the family Sphingobacteriaceae from acidic Sphagnum peat bog // *Int. J. Syst. Evol. Microbiol.* Vol.57. P.2349–2354.
- Peacocki A.D., Machaughtoni et al. 1999. Evaluating the diversity of soil microbial communities using molecular techniques and established ecological indexes // *Abstr. ASM Conference of Microbial. Biodiversity*. August 5–8, Chicago, Illinois. P.15.
- Rappe M.S., Cannon S.A., Vergin K.L., Giovannoni S.J. 2002. Cultivation of the ubiquitous SAP 11 marine bacterioplankton clade // *Nature*. Vol.418. P.630–633.

- Rondon M.R., Goodman R.M. and Handelsman J. 1999. The Earth's bounty: assessing and accessing soil microbial diversity // *Trends in Biotechnology*. Vol.17. P.403–409.
- Rutz B.A., Kieft T.L. 2004. Phylogenetic characterization of dwarf archaea and bacteria from a semiarid soil // *Soil Biol. Biochem.* Vol.36. P.825–833.
- Soina V.S., Mulyukin A.L., Demkina E.V., Vorobyova E.A., El-Registan G.I. 2004. The structure of resting bacterial population in soil permafrost // *Astrobiology*. Vol.4. P.435–458.
- Stackebrandt E., Liesack W., Goebel B.M. 1993. Bacterial diversity in a soil sample from a subtropical Australian environment as determined by 16S rDNA analysis // *FASEB J.* Vol.7. P.232–236.
- Starmer W.T., Lachance M.A., Phaff H.J., Heed W.B. 1990. The biogeography of yeasts associated with decaying cactus tissue in North America, the Caribbean, and Northern Venezuela // *Evol. Biol.* Vol.24. New York, London. P.253–296.
- Stevenson B.S., Eichorst S.A., Wertz J.T., Schmidt T.M., Breznak J.A. 2004. New strategies for cultivation and detection of previously uncultured microbes // *Appl. Envir. Microbiol.* P.4748–4755.
- Tarleral S., Jangid K., Ivester A.H., Whitman W.B., Williams M.A. 2008. Microbial community succession and bacterial diversity in soils during 77 000 years of ecosystem development // *FEMS Microbiol. Ecology*. Vol.64. No1. P.129–140.
- Torsvik V.L. 1980. Isolation of bacterial DNA from soil // *Soil Biol. Biochem.* Vol.12. P.15–21.
- Torsvik V., Goksoyr J., Daae F.L. High diversity in DNA of soil bacteria // *Appl. Environ. Microbiol.* 1990. Vol.56. P.782–787.
- Torsvik V., Sorheim R., Goksoyr J. 1996. Total bacterial diversity in soil and sediment communities: a review // *J. Indust. Microbiol.* Vol.17. P.170–178.
- Ueda T., Suga Y., Matsuguchi T. 1995. Molecular phylogenetic analysis of a soil microbial community in a soybean field // *Europ. J. Soil Science*. Vol.46. P.415–421.
- Ward N., Rainey F.A., Gobel B., Stackebrandt E. 1995. Identifying and culturing the «unculturables»: a challenge for microbiologists // D. Allsopp, R. Colwell, D. Hawksworth (eds.). *Microbial diversity and ecosystem function*. New York: CAB International, P.89–108.
- Watts J.E.M., Wellington E.M. 1999. Bacterial community analysis in polluted soils using molecular and metabolic techniques // *Abstr. ASM Conference of Microb. Biodiversity*. August 5–8, Chicago, Illinois. P.42.
- Wintringerode F. von, Landt O. and Gobel U.B. 1999. PNA mediated PCR-clamping for selective recovery of novel phylogenetic groups from complex microbial consortia // *Abstr. ASM Conference of Microbial. Biodiversity*. August 5–8, Chicago, Illinois. P.42.

- Zarda B., Hahn D., Chatzinotas A., Schonhuber W., Neef A., Amann R.I., Zeyer J. 1997. Analysis of bacterial community structure in bulk soil by in situ hybridization // Arch. Microbiol. Vol.168. P.185–192.
- Zvyagintsev D.G. 1995. Microorganisms in Permafrost // Ecological Microbiology. Harwood Acad. Publ. GmbH. Part2. P.1–37.

## Проблема опустынивания и почвы

### *Проблема опустынивания*

Проблема опустынивания – одна из ключевых проблем окружающей среды в современном мире, поскольку поднимает вопросы утраты продуктивных земель – главного ресурса для производства продуктов питания. Это признано на глобальном уровне в форме Конвенции ООН по опустыниванию (полное название: Конвенция Организации Объединённых Наций по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьёзную засуху и/или опустынивание<sup>1</sup>). Практически все ведущие международные организации по развитию (Глобальный экологический фонд, Мировой Банк, ПРООН, ЮНЕП, ФАО, многие международные фонды) называют проблему опустынивания и деградации земель в числе своих приоритетов. Это и неудивительно. Ухудшение условий жизни более 1 миллиарда человек в более чем 100 странах мира связано с опустыниванием, из них более 250 миллионов непосредственно страдает от различных его проявлений. Всего в мире подвержено опустыниванию более 1 млрд. га земель практически на всех континентах. Прогнозы также неутешительны. По оценкам экспертов ООН, предполагается, что при сохранении современных темпов развития опустынивания, к середине века число людей, страдающих от опустынивания, может вырасти до 700 млн. человек, а площадь затронутых этим явлением земель – до 3, 2 млрд. га. Осознавая эту проблему, к настоящему времени 194 страны мира ратифицировали КБО, и предпринимают усилия по борьбе с этим явлением. Россия – не исключение. Россия присоединилась к КБО в 2003 году, но и до этого момента в нашей стране проводились исследования этого явления, его масштабов и степени проявления, разрабатывались региональные и субрегиональные программы действий. Не лишним также будет напомнить и о том, что в советский период СССР был одним из мировых центров по применению успешных мер по борьбе с опустыниванием, и именно отечественные ученые – почвоведы, географы, геоботаники (Ковда В.А., Розанов Б.Г., Нечаева Н.Т., Бабаев А.Г., и другие) занимали ведущие позиции в мире в области разработки теоретических основ профилактики и борьбы с опустыниванием.

В последнее время в России руководство страны стало уделять повышенное внимание проблеме опустынивания. Это выражается в следующих знаковых событиях, имеющих важное значение, в том числе и для развития научных исследований в области аридных экосистем и опустынивания:

---

<sup>1</sup> Ниже будем использовать сокращение КБО.

- по итогам заседания президиума Госсовета РФ от 27 мая 2010 г., посвященного реформированию системы государственного управления в сфере охраны окружающей среды, Президент РФ утвердил перечень поручений, включающий пункт «(м) разработать комплекс мер по борьбе с опустыниванием...»;
- 11 ноября 2010 г. Минприроды России проинформировало о разработке Комплекса мер по борьбе с опустыниванием, который включает два направления:

а) совершенствование нормативного правового регулирования и разработку научно-методического обеспечения; в том числе предполагается проведение интегрированной оценки и анализа состояния, оценки масштабов и прогнозов развития процессов опустынивания на территории Российской Федерации на современном этапе;

б) проведение практических мероприятий по борьбе с деградацией почв и опустыниванием на территории страны (гидротехнические, противозерозионные, агролесомелиоративные, фитомелиоративные мероприятия, мероприятия по предотвращению выбытия земель из сельскохозяйственного оборота и по восстановлению плодородия почв).

Тем самым, как нетрудно заметить из формулировки второго направления, содержание мер по выполнению поручения Президента существенно расширяется, и включает дополнительные действия, направленные также и на предотвращение и ликвидацию последствий деградации почв на всей территории России, что является крайне актуальной проблемой для страны в целом.

Кроме того, в Комплексе мер содержатся направления, предусматривающее выполнение международных обязательств России как Стороны КБО. Предусмотрена в том числе разработка Национальной программы по борьбе с опустыниванием и деградацией земель в Российской Федерации.

### ***Основные термины и методологические подходы к оценке места и роли почв в явлении опустынивания***

История термина «опустынивание» насчитывает более 60 лет. Наиболее активные дискуссии по вопросу его употребления пришли на два периода: (1) перед 1972-1977 годами, то есть перед Стокгольмской конференцией по человеку и окружающей среде 1972 года и Конференцией ООН по опустыниванию 1977 года, на которой исполнительный директор ЮНЕП М.Толба отмечал, что «опустынивание — неологизм, еще не появившийся в словарях, оно не имело и до сих пор не имеет определения, которое удовлетворяло бы всех»; (2) период перед 1992-94 годами, то есть перед исторической конференцией ООН по окружающей среде в Рио-де-Жанейро (1992 г.) и принятием КБО (1994 г.). Нам известно по меньшей мере несколько десятков определений опустынивания, отражающих многоаспектность этого явления. Такими

аспектами являются – подверженность опустыниванию всех компонентов ландшафтов – почв, растительности, водных ресурсов, рельефа; активизация процессов опустынивания в результате антропогенной деятельности; усиление аридности мезо- и микроклимата, частоты засух, и возрастание недоступности влаги растениям; снижение биологической продуктивности и ресурсного потенциала местностей, подверженных опустыниванию; расширение и интенсификация пустынных условий; разрастание пустошей, бедлендов; затрудненность или невозможность обратимых процессов, то есть процессов восстановления опустыненных земель; синергетический эффект деградации разных компонентов ландшафтов и появление (включение) цепных реакций деградации; серьезные экономические и социальные последствия опустынивания, включая санитарные и медицинские проблемы, нехватку продуктов питания; переселение людей, конфликты и войны.

Не вдаваясь в полемику вокруг «лучших» или «худших» определений опустынивания, отметим, что конец дискуссии фактически был положен в 1994 году, когда определение термина было включено в текст КБО, что сделало его обязательным к рассмотрению всеми странами-участницами при принятии решений по борьбе с опустыниванием, принимая во внимание широкий интегрированный подход КБО к комплексному характеру проблемы опустынивания в области окружающей среды, экономики, социологии, демографии, политики и др.

Статья 1 части 1 КБО «Употребление терминов» устанавливает, что

а) "*опустынивание*" означает деградацию земель в засушливых, полузасушливых и субгумидных районах в результате действия различных факторов, включая изменение климата и деятельность человека;

б) "*борьба с опустыниванием*" включает в себя деятельность, которая является частью комплексного развития земельных ресурсов в засушливых, полузасушливых и сухих субгумидных районах в интересах устойчивого развития и направлена на:

- предотвращение и/или сокращение масштабов деградации земель;
- восстановление частично деградировавших земель;
- восстановление пострадавших от опустынивания земель;

в) "*засуха*" означает естественное явление, возникающее, когда количество осадков значительно ниже нормальных зафиксированных уровней, что вызывает серьезное нарушение гидрологического баланса, неблагоприятно сказывающееся на продуктивности земельных ресурсов;

г) "*смягчение последствий засухи*" подразумевает деятельность, связанную с прогнозированием засухи и направленную на снижение уязвимости общества и природных систем перед лицом засухи, поскольку это входит в рамки процесса борьбы с опустыниванием;



д) "земля" означает земную биопродуктивную систему, включающую в себя почву, воду, растительность, прочую биомассу, а также экологические и гидрологические процессы, происходящие внутри системы;

е) "деградация земель" означает снижение или потерю биологической и экономической продуктивности и сложной структуры богарных пахотных земель, орошаемых пахотных земель или пастбищ, лесов и лесистых участков в засушливых, полузасушливых и сухих субгумидных районах в результате землепользования или действия одного или нескольких процессов, в том числе связанных с деятельностью человека и структурами расселения, таких, как: ветровая и/или водная эрозия почв; ухудшение физических, химических и биологических или экономических свойств почв; долгосрочная потеря естественного растительного покрова;

ж) "засушливые, полузасушливые и сухие субгумидные районы" - это районы, помимо полярных и субполярных, в которых отношение среднего ежегодного уровня осадков к потенциальной эвапотранспирации колеблется в диапазоне от 0,05 до 0,65;

з) "затрагиваемые районы" означают засушливые, полузасушливые и/или сухие субгумидные районы, затрагиваемые опустыниванием или находящиеся под угрозой опустынивания;

и) "затрагиваемые страны" подразумевают страны, в которых поверхность суши включает целиком или частично затрагиваемые районы.

Именно этот подход, впервые заявленный в обзоре Мирового Банка в 1988 году (World Bank, 1988), и рекомендованный в 1990 году на Высшем консультативном совещании по оценке опустынивания и Советом управляющих ЮНЕП для использования всем международным и национальным организациям (Status..., 1992), связанным с проблемами опустынивания, был нами использован при разработке методологических основ оценки места и роли почв в явлении опустынивания.

Центральным понятием в определении опустынивания, приведенном в КБО, является понятие "земля" (land) как изменяющийся (деградирующий) объект опустынивания. Введение именно этого понятия, имеющего четко очерченные пространственные и смысловые границы, позволяет реализовать содержащиеся в данном определении методологические принципы именно для целей картографической и экономической оценки опустынивания. В русскоязычной научной терминологии этому понятию в наибольшей степени соответствует *ландшафт*.

Помимо этого, мы вычленим из этого определения два методологических подхода, позволяющих глубже понять и раскрыть сущность явления опустынивания.

Первый подход, основанный на идеях Маббута (Mabbutt, 1989), Дрена (Dregne, 1987), и высказанных в сжатом виде в докладе Толба (Status..., 1992), состоит в разделении понятий *опустынивание* и *аридность*

(Куст, 1991, 1999). Аридность территорий или ее увеличивающаяся засушливость (аридизация) сами по себе не приводят к опустыниванию, равно как и разнообразные процессы (эрозия, засоление, снижение количества и разнообразия растительности и т.п.). Опустынивание наступает только тогда, когда те или иные разнообразные антропогенные воздействия, возбуждая или усиливая различные деградационные процессы, дают возможность существующей или усиливающейся засушливости макро-, мезо- и микроклимата (соответственно аридности и аридизации) активно и направленно воздействовать на почвы, грунтовые и поверхностные воды, рельеф, растительность.

В связи с этим аридность климата и/или его аридизация рассматриваются в качестве *факторов опустынивания* (рис.1). Разнообразные антропогенные воздействия рассматриваются в качестве *агентов опустынивания*, а в совокупности с инициируемыми ими *природными процессами*, ведущими к опустыниванию — в качестве *причин опустынивания*.

Все компоненты экосистем, изменяющиеся при опустынивании (почвы, грунтовые и поверхностные воды, рельеф, биота) выступают при этом в качестве *условий опустынивания*, являясь с одной стороны — *объектами опустынивания*, а с другой — *регуляторами воздействия* на экосистемы факторов и причин опустынивания (рис.1).

При опустынивании, как правило, участвуют компоненты шести основных блоков.

**Первый блок** - это *объекты опустынивания* — “земли”, включающие в себя почвы, водные ресурсы, рельеф и растительность. Каждый из этих объектов опустынивания обладает набором собственных свойств, функционирует по своим законам, что обуславливает разнообразие откликов “земель” на те или иные внешние воздействия.

Однако, это разнообразие откликов не является случайным. Изменение каждого из компонентов природных систем (или земель) под воздействием внешних факторов происходит по определенным правилам (законам), которые могут быть описаны через процессы, сопровождающие эти изменения. Поскольку эти процессы хорошо известны в отдельных науках, изучающих динамику, поведение и эволюцию (изменение) отдельных компонентов природных систем (почвоведение, геоботаника, геоморфология, климатология, гидрология и гидрогеология) и, как показывает опыт их изучения, имеют место не только в антропогенно нарушенных, но, прежде всего в природных системах, можно утверждать, что все *процессы опустынивания*, составляющие **второй блок** нашей схемы, носят природный характер. Иначе говоря, мы хотим такой постановкой вопроса показать, что процессы, происходящие в природных системах при опустынивании, — не есть что-то исключительное, принадлежащее только опустыниванию.

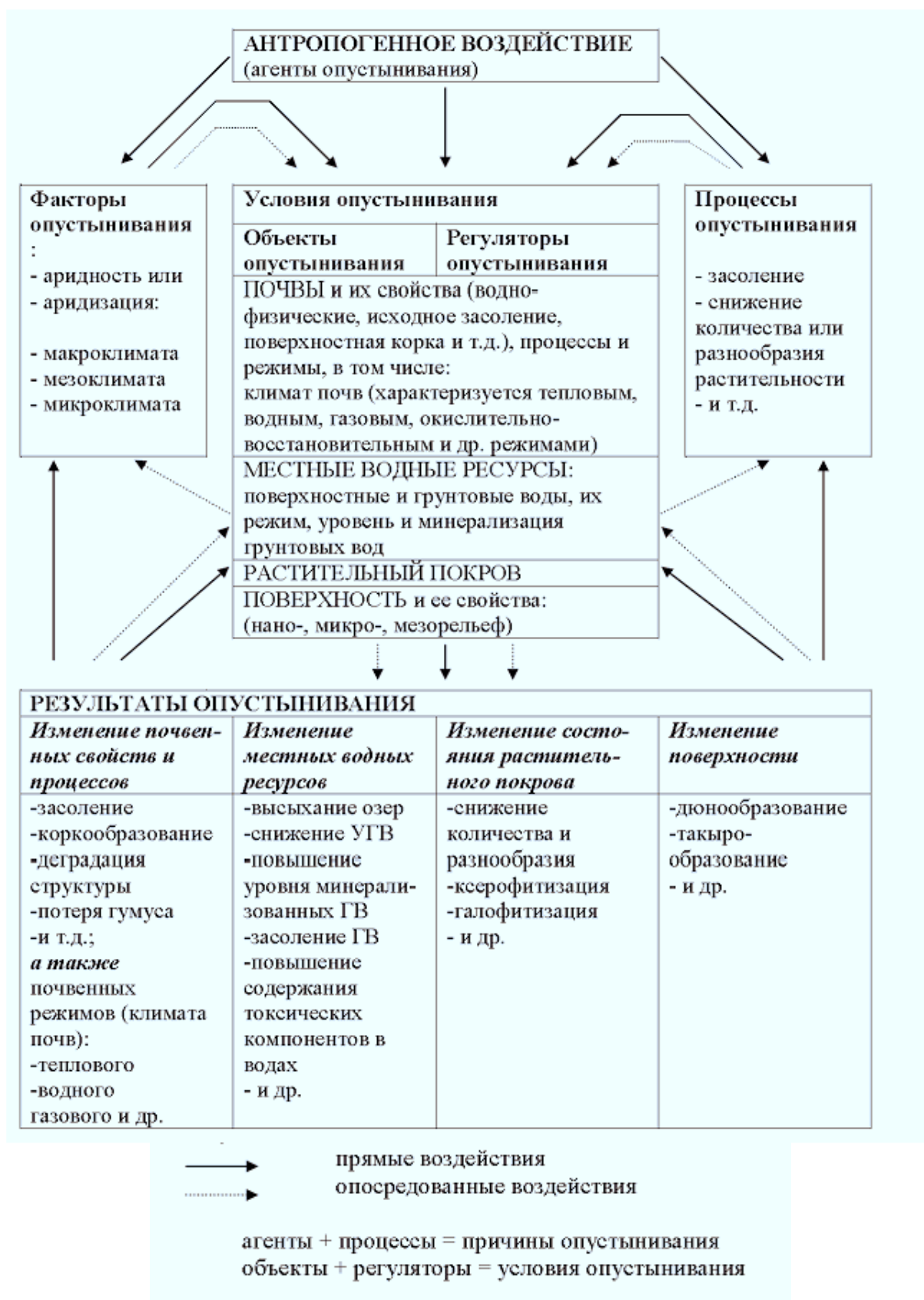


Рис. 1. Схема взаимодействия факторов, агентов, условий и результатов опустынивания

Аналогичные явления (засоление почв, снижение фиторазнообразия, понижение уровня грунтовых вод, потеря гумуса и т.д.) имеют место и в других условиях, не обязательно подверженных опустыниванию. Относить эти процессы к процессам опустынивания (более приемлемым, на наш взгляд, является термин “частные процессы опустынивания”) можно только с тех позиций, что явление опустынивания реализуется именно через эти процессы. Вне этого контекста их нельзя называть процессами опустынивания.

**Третий** необходимый **блок** этой схемы — **факторы опустынивания** — призван отразить тот факт, что вне аридных и засушливых условий опустынивание невозможно. Опустынивание может происходить только в тех природных зонах, которые расположены в аридных, субаридных и засушливых субгумидных условиях. Вместе с тем, мы считаем целесообразным для целей средне- и крупномасштабного картирования ввести в этот блок понятие об аридности и/или засушливости не только макро-, но и мезо- и микроклимата, чтобы иметь возможность отразить вероятность локального проявления опустынивания, связанного с местными особенностями.

Аридность или засушливость климата — не только необходимая предпосылка опустынивания. Собственно изменение климата (например периодические засухи) также может вызвать опустынивание. В связи с этим в третий блок включено понятие аридизации или увеличивающейся засушливости.

**Четвертый** крупный **блок** включает в себя **результаты опустынивания** как последствия направленного изменения объектов опустынивания под влиянием внешних воздействий.

Объекты опустынивания (первый блок) играют в явлении опустынивания не только пассивную роль. Так, например (если говорить о почвах), если на одних почвах какое-либо внешнее воздействие может приводить к сильному опустыниванию территории, то на других почвах оно же приведет к более слабому проявлению опустынивания или не приведет к таковому совсем. И наоборот, на одних и тех же почвах разные воздействия могут приводить к разным результатам, причем при комплексном влиянии может происходить усиление или ослабление воздействия в зависимости от сочетания воздействий.

То же касается и других объектов опустынивания, каждый из которых в силу своих особенностей (свойств и режимов) не только регулирует степень, скорость и глубину протекания процессов опустынивания, но и сам изменяет свои свойства и, следовательно, регуляторные функции в процессе опустынивания. В целях понимания этих особенностей механизма явления опустынивания на схеме выделен **пятый блок** - **регуляторы опустынивания**, включающий те же компоненты, что и первый блок.

Регуляторы и объекты опустынивания в совокупности образуют единый блок "**условия опустынивания**".

**Шестой блок - антропогенные агенты опустынивания**, включающие в себя самые разнообразные виды воздействий человека на природные системы аридных территорий, стоит несколько особняком. Это сделано для того, чтобы показать, что в отличие от условий, факторов, процессов и результатов опустынивания, тесно связанных между собой и представляющих в известной мере относительно замкнутую природную систему с набором прямых и опосредованных связей, антропогенные агенты могут оказывать прямое влияние на любой из блоков этой системы — на климат, ландшафты, процессы функционирования их компонентов, их регуляторные функции, и даже на результаты опустынивания. Такое расположение антропогенных агентов в схеме призвано отразить не только то, что вмешательство человека в природную систему на любом ее участке может нарушить ее естественное функционирование, но также и то, что только антропогенное вмешательство, приложенное в нужном месте и в нужное время, может затормозить и даже остановить опустынивание.

Антропогенные агенты и процессы опустынивания образуют в совокупности блок "**причины опустынивания**".

Существо второго методологического подхода, вытекающего из определения опустынивания, состоит в раздельном рассмотрении изменений состояния почвенного покрова, рельефа, растительного покрова и гидрологии территории, которые понимаются в качестве отдельных **составляющих** явление опустынивания.

Как видно из схемы, к числу **составляющих** явление опустынивания относятся **климатическая составляющая**, выступающая в качестве фактора опустынивания и результата опустынивания, а также **почвенная, геоморфологическая, биологическая и гидрологическая составляющие**, выступающие в роли условий и результата опустынивания.

Условное разделение явления опустынивания на эти составляющие имеет, на наш взгляд, ряд преимуществ. Во-первых, это позволяет глубже разобраться в причинах и результатах (следствиях) опустынивания, проследить протекающие при этом процессы, оценить устойчивость экосистем засушливых территорий к опустыниванию, а также дает возможность прогнозировать характер, степень и глубину протекания опустынивания. Так, например, изменение каждого компонента опустынивающихся ландшафтов (почвы, растительности и т.д.) может быть оценено через их специфические свойства-индикаторы. Это позволяет рассматривать опустынивание как комплексное сочетание относительно независимых направленных явлений (серий растительных смен, эволюционных рядов почв и т.п.) с разработкой для каждого из них диагностических показателей направления, степени, скорости и глубины изменений. Сравнение изменений почвенного покрова и почв как

относительно более стабильного компонента с соответствующими изменениями растительности как менее устойчивого компонента ландшафтов дает возможность устанавливать скорость и глубину опустынивания земель путем использования только актуальных признаков, не прибегая к мониторингу явления опустынивания в целом.

При рассмотрении составляющих явление опустынивания и оценке степени и скорости опустынивания удобно пользоваться понятиями, часто звучащими в научной литературе, но не получившими однозначного толкования: *опустынивание почв*, *опустынивание почвенного покрова*, *опустынивание растительности*, *опустынивание рельефа*. Нами был проанализирован ряд работ, где эти понятия упоминались. Итогом явилось определение опустынивания почв, по аналогии с которым нами предложены рабочие варианты определений опустынивания растительного покрова и рельефа.

На основании сказанного, и с учетом результатов оценки опустынивания, проведенных нами для разных регионов, нами было предложено следующее определение. **Опустынивание почв** - это сложный комплекс процессов, приводящих к формированию равновесных автоморфных почв в условиях аридного климата или к исчезновению почв как природных тел в результате абсолютного преобладания литогенеза над педогенезом.

По аналогии с этим определением, под **опустыниванием растительного покрова** понимается сложная совокупность серийных или трансформационных рядов растительных сообществ, приводящая к формированию равновесных климаксовых фитоценозов в автоморфных условиях аридного климата или к снижению продуктивности (и в конечном счете — исчезновению растительности) растительных сообществ в результате абиогенных экзогенных процессов.

Под **опустыниванием рельефа** понимается сложная совокупность экзогенных эволюционных геоморфологических процессов, приводящая к формированию равновесных форм рельефа в автоморфных условиях аридного климата или к появлению произвольных антропогенных форм рельефа в условиях техногенного воздействия<sup>2</sup>.

### ***Роль почв в явлении опустынивания***

Среди научных работ, связанных с местом и ролью почв в явлении опустынивания, можно выделить две большие группы. Первая из них может рассматриваться в связи с проблемой мониторинга и диагностики опустынивания почв и включает в основном оценку последствий опустынивания в почвах через отдельные почвенные признаки. Во второй же

---

<sup>2</sup> Мы приводим здесь определения опустынивания растительности и рельефа лишь в качестве рабочих вариантов, предлагая их для дальнейшей разработки специалистам соответствующих отраслей знания

группе работ, - значительно большей по объему исследований, хотя преимущественно и не связанных непосредственно с опустыниванием, - содержатся, тем не менее, сведения, позволяющие оценивать роль почв (их отдельных свойств и происходящих в них процессов) в характере, степени, глубине и скорости опустынивания территорий, в устойчивости территорий к опустыниванию, что, в конечном итоге, может быть использовано для установления причин опустынивания, прямо или косвенно зависящих от почв данной территории. Оба направления исследований тесно связаны и важны в равной степени, поскольку для определения действительных причин опустынивания важно установить взаимные связи между факторами, агентами, условиями и следствиями этого явления.

Рассмотрим оба направления по порядку.

### ***Мониторинг и диагностика опустынивания почв***

В этой части работы будем говорить именно об опустынивании почв, как явлении, связанном с изменением почвенных свойств и процессов при опустынивании территорий. Согласно схеме на рис. 1, это направление исследований («мониторинговое») охватывает диагностическое описание почв в пределах блоков «объект» и «результат опустынивания».

Научные исследования в этом направлении можно разбить на следующие основные группы.

(1) Первая из них включает наблюдения за изменениями в почвах как в одном из компонентов опустынивающихся экосистем, т. е. наблюдение опустынивания экосистем в целом. В этом плане накоплен достаточно обширный, хотя во многом противоречивый и не систематизированный материал. Для почв отдельных регионов мира, испытывающих воздействие опустынивания, исследовалось изменение водно-физических свойств, параметров засоления, показателей состояния органического вещества, катионообменной способности, содержания различных форм железа, рН и др. Для отдельных территорий с разной детальностью исследованы пути эволюции/изменения почв при аридизации и опустынивании и связанные с этим изменения структуры почвенного покрова. Необходимо отметить, что эта группа исследований не оперирует понятием «опустынивание почв» и позволяет лишь наметить основные подходы к разработке параметров мониторинга и диагностики опустынивания почв. При этих исследованиях в качестве критериев опустынивания территорий, как правило, в явном или неявном виде используется растительность.

(2) В отличие от предыдущей, вторая группа работ использует понятие «опустынивание почв» и связана с характеристикой опустынивания почв как относительно самостоятельного явления. При этом вырисовывается два подхода к определению этого понятия.

Первый подход — диагностический — основывается на констатации появления в почвах свойств (преимущественно морфологических), априо-

ри известных в качестве свойственных пустынным почвам исследуемых регионов (такырам, песчаным примитивным, серо-бурым, солончакам и др.) при условии их отсутствия или относительно слабой развитости в начале изменений. Аналогично, при выявлении процесса опустынивания почвенного покрова (ПП) указывается прежде всего на появление и преобладание в ПП почв, свойственных пустынным условиям почвообразования. Используется для выявления процесса опустынивания почв и ПП и обратное следствие: уменьшение в составе ПП почв, не свойственных пустынным территориям (различные гидроморфные и полугидроморфные почвы), а также исчезновение, консервация или уменьшение степени проявления в почвах признаков гидроморфизма. Кроме того, в качестве критериев для диагностики степени опустынивания почв используется в неявном виде степень приближенности почв к непочвенным образованиям, подразумевая при этом, что деградация почв при опустынивании предопределяется постепенным преобладанием литогенеза над педогенезом, приводя в конечном итоге к исчезновению почв как природных тел (например, в результате интенсивной эрозии, засоления и т. п.).

Второй подход к определению понятия «опустынивание почв» и, следовательно, к целенаправленной разработке параметров мониторинга и диагностики этого явления, - генетический - основан на положении о том, что водно-физические свойства почв играют ведущую роль в развитии процесса опустынивания территорий. В концентрированном виде этот подход выражен в работе Б. Г. Розанова и И.С.Зонна (1981), где говорится, что «степень аридизации почв можно количественно устанавливать в конкретных показателях водно-физических свойств и водного режима почв». Вместе с тем, до настоящего времени этот подход на практике почти не реализован, хотя существует большое количество публикаций, в которых показано направленное изменение при опустынивании различных водно-физических свойств почв.

Среди научных исследований «мониторингового» направления в изучении опустынивания почв особое место занимает немногочисленная, но весьма интересная группа работ, связанная с описанием процессов почвообразования при опустынивании. Эти процессы описываются в рамках обеих групп исследований «мониторингового» направления. Так, указывается на коркообразование, опесчанивание, карбонатизацию, внутрпочвенное соленакопление, загипсовывание, обесструктурирование, осолонцевание, снижение доли биологических процессов в почвообразовании и другие явления при опустынивании. Поскольку, с одной стороны, эти процессы связаны напрямую с явлением опустынивания или инициированы им, а с другой стороны, являются в большинстве случаев не только сугубо почвенными, но и общеландшафтными, то их мы рассматриваем в числе частных (или элементарных) процессов опустынивания, сниженных с «почвенной составляющей» этого явления. Изучение этих частных процессов



опустынивания с целью диагностики на разных этапах их протекания, очевидно, должно рассматриваться в числе задач по разработке параметров мониторинга опустынивания.

На наш взгляд, причиной, сдерживающей разработку диагностических критериев опустынивания почв, является чрезвычайное разнообразие агентов опустынивания (выделено до 45 причин опустынивания (Бабаев, 1978, Odingo, 1989)) и их сочетаний, действующих с разной интенсивностью на фоне изначально разнообразных почв. Результат действия одного или комплекса агентов опустынивания на те или иные почвы может сильно различаться. Эти же причины с особой остротой ставят вопрос о разработке рациональной систематики опустыненных и опустынивающихся почв, поскольку при появлении в почвах признаков, характерных для пустынных разностей, в них во многом сохраняются черты прошлых процессов и режимов почвообразования, что затрудняет определение их классификационной принадлежности, ставит в особое положение в связи с их сельскохозяйственным использованием, требующем нетривиальных методов освоения. При разработке принципов систематики и диагностики опустыненных и опустынивающихся почв следует учитывать, что если на одних почвах действие того или иного агента опустынивания может приводить к сильному опустыниванию территории, то на других почвах он же приводит к более слабому проявлению опустынивания или не приводит к таковому совсем. И наоборот, на одних и тех же почвах разные агенты могут приводить к разным результатам, причем при комплексном воздействии может происходить усиление или ослабление воздействия в зависимости от сочетания агентов. Иначе говоря, влияние факторов и агентов опустынивания на территории и ландшафты происходит в большинстве случаев не прямо, а косвенно, в зависимости от условий опустынивания. Почва же, как основной регулятор энерго- и массопереноса в аридных экосистемах (и одно из условий опустынивания), не только трансформирует прямые воздействия факторов и агентов опустынивания на экосистему, но и предопределяет изменение в процессе опустынивания условия опустынивания (не только почвенных), а в ряде случаев - и самих факторов опустынивания.

### ***Роль почв в регулировании опустынивания***

В отличие от рассмотренного выше «мониторингового» направления, исследования в области изучения регулирующей функции почв при опустынивании («регуляторное» направление) охватывают не только оценку почв в пределах блоков «условия» и «результат» опустынивания, но также всю систему взаимосвязей внутри этих блоков и между этими и остальными блоками, представленными в схеме на рис. 1.

При изучении роли почв в регулировании опустынивания следует исходить из того, что опустынивание охватывает экосистемы и почвы не

внезапно. Всегда есть какой-то риск, опасность опустынивания (Rozanov, 1990), определяемый в первую очередь общей засушливостью или аридностью макроклимата территории. А само опустынивание наступает с различной скоростью, проявляется с разной степенью и глубиной (Куст, 1999). Устойчивость экосистем к опустыниванию связана с комплексом исходных (или трансформирующихся в процессе воздействия факторов и агентов опустынивания) условий опустынивания. Скорость и степень воздействия опустынивания на экосистемы засушливых территорий определяется балансом существующих на данный момент опасности и устойчивости к опустыниванию. В общем виде можно констатировать, что, если суммарное воздействие рискообразующих факторов и агентов опустынивания превышает устойчивость, то наступает опустынивание, скорость и степень которого зависят от величины этого превышения. Сложность оценки баланса риска и устойчивости к опустыниванию определяется многими причинами.

Так, во-первых, риск опустынивания определяется не только засушливостью макроклимата территории, а сложным комплексом постоянно, периодически или спорадически действующих естественных и антропогенных факторов и агентов опустынивания, таких, как эрозия, засоление, разрушение почвенных горизонтов тяжелой техникой и перевыпасом и др. Во-вторых, помимо факторов и агентов собственно опустынивания, почвы и экосистемы постоянно испытывают на себе влияние иных факторов, преобразующих объекты воздействия в разных направлениях. В силу этого, в-третьих, почвы и экосистемы, испытывающие воздействие как риска опустынивания, так и собственно процесса опустынивания, практически никогда не находятся в состоянии равновесия, что определяет трудности в установлении нуля-момента опустынивания. По этой же причине опустынивание может быть вызвано одной причиной (или комплексом причин), а инициировано другими. В-четвертых, сами объекты опустынивания (почвы и экосистемы) состоят из разных компонентов и обладают комплексом разных свойств, каждое из которых по-своему реагирует на опустынивание. Поэтому стоит задача интегральной оценки опасности опустынивания для объектов разных уровней организации. В-пятых, для почв и экосистем практически не исследованной остается их способность к самоорганизации и самовосстановлению при внешних воздействиях. Эти вопросы изучены лишь в самых общих чертах или же по отношению к отдельным свойствам и простейшим компонентам. Тем не менее, процессы самоорганизации и самовосстановления являются одной из важнейших составляющих баланса риска и устойчивости. Особый интерес изучение этих процессов приобретает для агроэкосистем, в которых поддержание устойчивости или снижение риска опустынивания достигается искусственно, в противовес природным условиям и процессам. В-шестых, в науке в настоящее время отсутствует однозначное толкование собственно понятия «устойчивость» для почв

и экосистем, нет и теории устойчивости сложных биокосных систем. Вместе с тем, предпосылки к созданию такой теории существуют в почвоведении, экологии, ландшафтоведении, физической географии.

Таким образом, как следует из вышесказанного, роль почв в регулировании опустынивания сложна и многопланова, и сводится к нескольким основным моментам, в общем виде представленным в схеме на рис 2.

Почвы, выполняя общие функции регуляторов опустынивания, могут обеспечивать как абсолютную устойчивость экосистем к воздействию того или иного агента опустынивания (или их совокупности), регулируя саму возможность проявления на данной почве того или иного типа опустынивания (позиция 1-1), так и относительную устойчивость, снижая или усиливая риск проявления того или иного типа опустынивания, регулируя тем самым степень, скорость и глубину воздействия факторов и агентов на объекты опустынивания (позиция 1-2). При этом следует различать:

1) абсолютную устойчивость экосистем засушливых территорий по отношению к самой природе того или иного агента опустынивания вне зависимости от интенсивности его воздействия; например, такыры и такырные почвы аридных территорий по сравнению с окружающими их песчаными пустынными почвами в силу высокой плотности поверхностного горизонта обеспечивают абсолютную устойчивость сформированных на них экосистем к такому агенту опустынивания, как ветровая эрозия (позиция 1-1-1); 2) относительную устойчивость к интенсивности воздействия какого-либо агента опустынивания; например, если агент опустынивания - близкорасположенные грунтовые воды, то при одном и том же уровне грунтовых вод накопление токсических солей на поверхности будет происходить и почвах с высокой водоподъемной способностью даже в случае низкоминерализованных грунтовых вод и, наоборот, не будет происходить в почвах с низкой водоподъемной способностью даже в случае высокоминерализованных грунтовых вод (позиция 1-1-2).

Выполняя уникальную роль регулятора опустынивания, почва обеспечивает как прямое (позиция 2-1), так и опосредованное (позиция 2-2) регулирование воздействия факторов и агентов опустынивания на компоненты опустынивающихся экосистем.

Прямое регулирование обеспечивается по отношению к собственно почвенным свойствам, процессам, режимам, структуре ПП, т. е. позиция 2-1-1 соответствует оценке устойчивости почв к опустыниванию, связанной с регулированием характера, степени и скорости опустынивания почв. Опосредованно же регулируются характер, скорость и степень опустынивания экосистем в целом, поскольку все остальные основные компоненты опустынивающихся экосистем в подавляющем большинстве случаев взаимодействуют через почву (позиция 2-2-1). Почвы участвуют и в регулировании обратных воздействий измененных объектов опустынивания на исходные факторы, агенты и регуляторы опустынивания (позиция 2-2-2). В

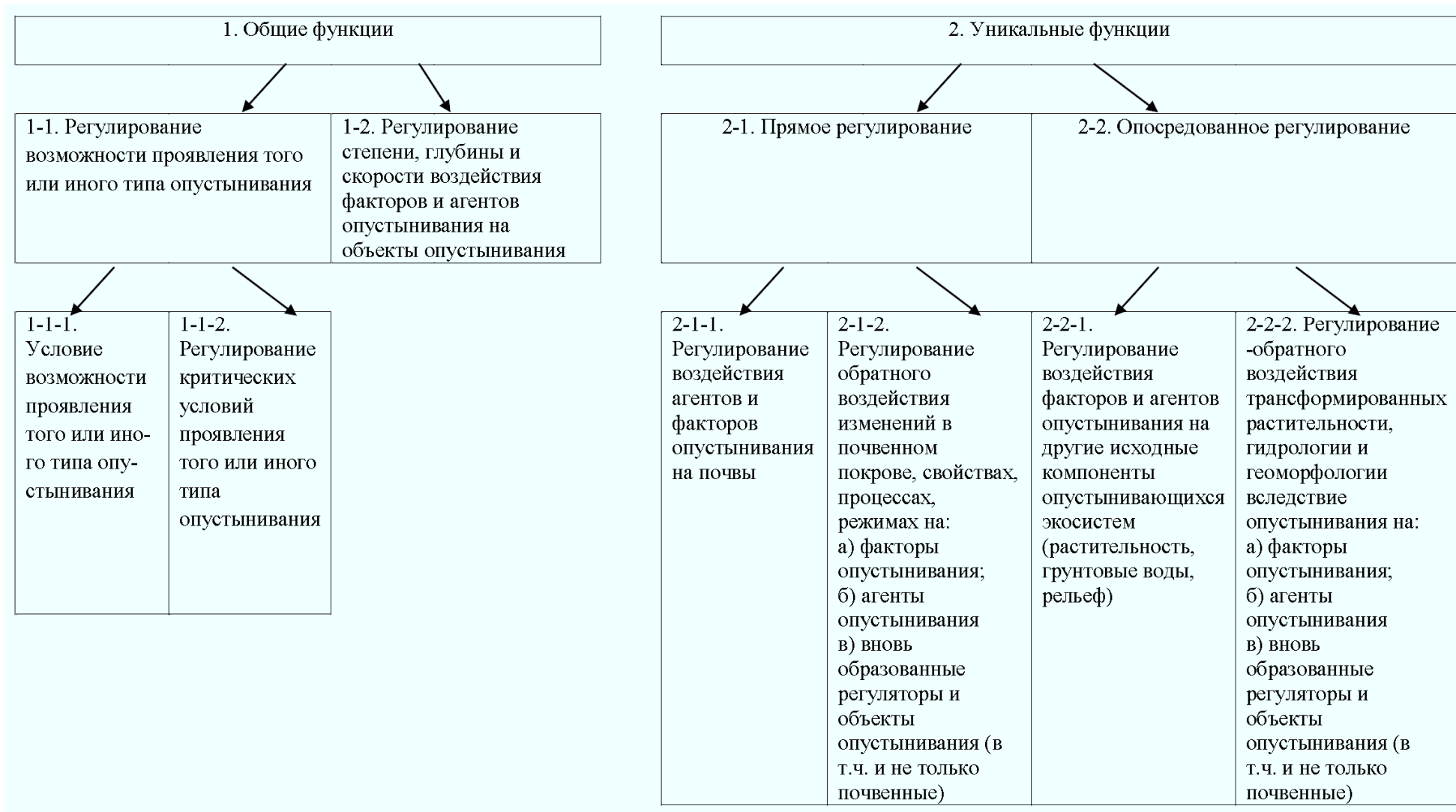


Рис.2. Роль почв в регулировании опустынивания (пояснения в тексте)

отличие от большинства позиций данной схемы, которые соответствуют оценке исходного баланса риска и устойчивости к опустыниванию, позиции 2-1-2 и 2-2-2 соответствуют оценке смещения этого баланса при опустынивании почв и экосистем.

Анализ литературы показывает, что к настоящему времени в почвоведении и смежных науках накоплен обширный материал, позволяющий в отдельных случаях оценить роль почв в регулировании воздействия тех или иных агентов опустынивания на экосистемы в целом и почвы, в частности. Так, наиболее исследована в настоящее время регулирующая роль почв в отношении комплексов явлений и процессов, вызванных воздействием таких агентов опустынивания как засоление и эрозия почв (особенно ветровая эрозия). Для этих агентов самым тщательным образом исследованы почвенные условия, регулирующие степень, скорость и глубину их проявления. Подробно разработаны, модели действия этих агентов. Исследуется взаимное влияние объектов, регуляторов, следствий опустынивания и этих агентов опустынивания. Разработаны и успешно применяются методы прогноза поведения почв и экосистем в условиях воздействия эрозии и засоления почв и территорий.

Б.Г.Розанов и И.С.Зонн (1981) указывали, что современные орошаемые угодья следует исключать из оценки процессов опустынивания: «На орошаемых землях нет опустынивания, но есть риск опустынивания, степень которого может быть количественно определена уровнем деградации почвенного покрова». В этом аспекте сотни научных публикаций в области мелиорации почв аридных и засушливых областей могут быть рассмотрены в контексте оценки и регулирования баланса риска и устойчивости почв и территории к опустыниванию. Человек, как показано в схеме на рис. 1, может на любом этапе вмешиваться в естественные взаимосвязи компонентов экосистем засушливых территорий и тем самым изменять баланс риска и устойчивости к опустыниванию в ту или иную сторону. Почвы, как отмечалось выше, являются одним из естественных регуляторов этого баланса. В этой связи эффективность любого способа мелиорации (очевидно, не только орошения) почв засушливых областей можно оценивать с позиции снижения риска проявления того или иного фактора или агента опустынивания (или их комплекса) на данных почвах и (или) с позиции повышения устойчивости почв и экосистем к воздействию опустынивания.

Как мы отмечали в более ранних работах (Куст, 1993, 1999), устойчивость почвенных объектов к опустыниванию проявляется в разных формах, которые могут быть описаны через эволюционные состояния почв и почвенного покрова. При этом для почвенного покрова на начальных этапах деградации (что важно для диагностики начала процесса) характерно такое состояние, когда почвы могут постоянно эволюционировать в том или ином направлении, а такие параметры почвенного покрова, как его

состав (разнообразие составляющих его почв) и соотношение площадей, занятых разными почвами, остаются постоянными. Структура почвенного покрова и конкретные почвенные индивидуумы при этом могут находиться в состоянии эволюции. Для характеристики такого состояния нами был предложен термин *гомеостаз почвенного покрова* в отличие от состояния *стабильности почвенного покрова*, при котором неизменной остается также и структура почвенного покрова. В таких системах (дельты крупных рек, крупные ирригационные системы) равновесие почвенного покрова является крайне неустойчивым и поддерживается не за счет сил и средств саморегуляции, а лишь за счет внешних дополнительных источников массы и энергии. Постоянство состава почвенного покрова и соотношения площадей слагающих его почв в такого рода динамически равновесных гомеостатических природных дельтовых экосистемах поддерживается в результате сбалансированного действия двух основных факторов: 1) аридного зонального макроклимата; 2) дополнительного количества воды извне, приносимого питающими дельту реками, выступающего как источник дополнительной массы и энергии для этих систем. Прекращение действия этих источников ведет к смещению баланса условий почвообразования в сторону преобладания действия фактора аридного макроклимата.

К большому сожалению, этими направлениями исследований к настоящему времени практически ограничивается возможность комплексной оценки регулирующей роли почв в явлении опустынивания. И, хотя в почвоведении и смежных науках накоплено много сведений, имеющих отношение к данной проблематике, они нуждаются в серьезной проработке, организации специальных комплексных дополнительных исследований. Пока же научные исследования в этом направлении дают возможность рассматривать лишь отдельные участки взаимосвязей факторов, агентов, условий (включая объекты и регуляторы) и следствий опустынивания, регулируемых почвенными условиями, причем исследования этих участков взаимосвязей проводились на разных объектах, с использованием разных методологических подходов, что существенным образом усложняет их систематизирование.

### ***Некоторые результаты оценки опустынивания***

Развитие эколого-генетической концепции опустынивания, основанной на изложенных методологических принципах, вытекающих из теоретической базы отечественного эволюционно-генетического почвоведения и биогеографии, проходило в последние 20 лет в рамках реализации нескольких крупных региональных проектов и научных тем. Среди них – оценка опустынивания и создание карты опустынивания Южного и Восточного Приаралья (1989-1994 гг.), Карта опустынивания России (1995-2002 гг.), Географическое районирование опустынивания в

Российской Федерации (2003-2005 гг.), Моделирование эволюции почвенного покрова Юга России в голоцене (2002-2006 гг.), Разработка дистанционных индикаторов опустынивания почв (2006-2011 гг.), и другие.

### Причины и тренды опустынивания и его распространение на территории Российской Федерации

Единственный опыт наиболее полного использования подходов КБО для оценки опустынивания в России на федеральном уровне, позволивший провести сравнение разных территорий России на базе единого методологического подхода, заключается в создании *Карты опустынивания Российской Федерации в масштабе 1:1,5 млн.* Эта многолетняя работа была завершена коллективом авторов под руководством Н.Ф.Глазовского и Г.С. Куста в начале 2000-х годов (Куст с соавт., 2002), и содержит анализ факторов, способствующих развитию процессов опустынивания, анализ причин опустынивания, разработку индикаторов опустынивания, оценку степени развития процессов опустынивания и анализ состояния территории Российской Федерации с точки зрения подверженности и проявления процессов опустынивания, картографическую оценку масштабов развития опустынивания. При поддержке МПР этим же коллективом были проведены работы по обновлению Карты с использованием космических снимков, и на ее основе разработаны принципы географического районирования опустынивания на федеральном уровне, выделены провинции и округа опустынивания по преобладающим проявлениям опустынивания в засушливых регионах России, подготовлена карта-схема районирования территории РФ по опустыниванию (Андреева, Куст, 2006). С тех пор аналогичных работ для России не проводилось, поэтому полученные в ходе этих исследований материалы следует считать единственными на сегодняшний день, несмотря на то, что ситуация постоянно меняется, и требует регулярного обновления.

В силу многообразия природных взаимосвязей в реальности одно и то же антропогенное воздействие комплексного характера может иметь следствиями различные проявления деградиационных процессов. Например, распашка сельскохозяйственных полей в одних случаях может иметь такие неблагоприятные последствия как эрозия или дефляция, а в других – усиливать степень осолонцевания поверхностных горизонтов почв за счет припахивания солонцового горизонта. И наоборот, одинаковые неблагоприятные процессы могут быть вызваны исходно разными антропогенными воздействиями. Например, осолонцевание может быть результатом как орошения минерализованными водами, так и иссушения поверхности почв в результате пастбищной дигрессии.

Анализ комплекса причинно-следственных связей, обуславливающих изменение природной обстановки на тестовых территориях, проведенный нами на основании литературных данных и результатов собствен-

ных рекогносцировочных наблюдений, позволил построить ряд схем основных изменений свойств почв и почвенного покрова при антропогенных воздействиях (пример для отгонного животноводства приведен на рис. 3, аналогичные схемы построены для ирригационных систем и сооружений, пахотного земледелия, техногенных воздействий).

Эти схемы были генерализованы и легли в основу перечня главных цепочек причинно-следственных связей – **причин опустынивания** для территории России в целом:

1. Изменения почвенных свойств при строительстве оросительных систем.
2. Изменения почвенных свойств при орошении.
3. Изменения почвенных свойств при богарном земледелии.
4. Изменения почвенных свойств при отгонном животноводстве.
5. Изменения почвенных свойств при техногенном воздействии.

Систематизация различных антропогенных воздействий, выводящих хрупкие природные комплексы аридных территорий из состояния равновесия, и их адаптация к требованиям картографического мониторинга опустынивания на федеральном уровне показала, что наиболее распространены на территории Российской Федерации являются следующие причины опустынивания:

- Подъем уровня грунтовых вод как результат строительства водохозяйственных сооружений (распространение воздействий, повышающих риск засоления и/или осолонцевания и подтопления)
- Подъем уровня грунтовых вод в результате длительного орошения или расширения орошаемых площадей (распространение воздействий, повышающих риск засоления и/или осолонцевания и подтопления)
- Подъем уровня грунтовых вод в результате естественных геологических и/или климатических процессов (распространение воздействий, вызывающих подтопление, изменение степени засоления и/или осолонцевания почв)
- Орошение минерализованными водами (распространение воздействий, повышающих риск засоления и/или осолонцевания)
- Геохимическая миграция солей к периферии орошаемых массивов (распространение воздействий повышающих риск засоления и/или осолонцевания почв)
- Снижение геохимической отточности территории в результате заиливания русел (распространение воздействий повышающих риск засоления и/или осолонцевания почв)
- Иссущение поверхности, вызванное опусканием уровня грунтовых вод в результате искусственного зарегулирования стока рек или строительства дренажных систем (распространение воздействий, повышающих риск засоления и/или осолонцевания почв, снижения продуктивности естественной растительности)



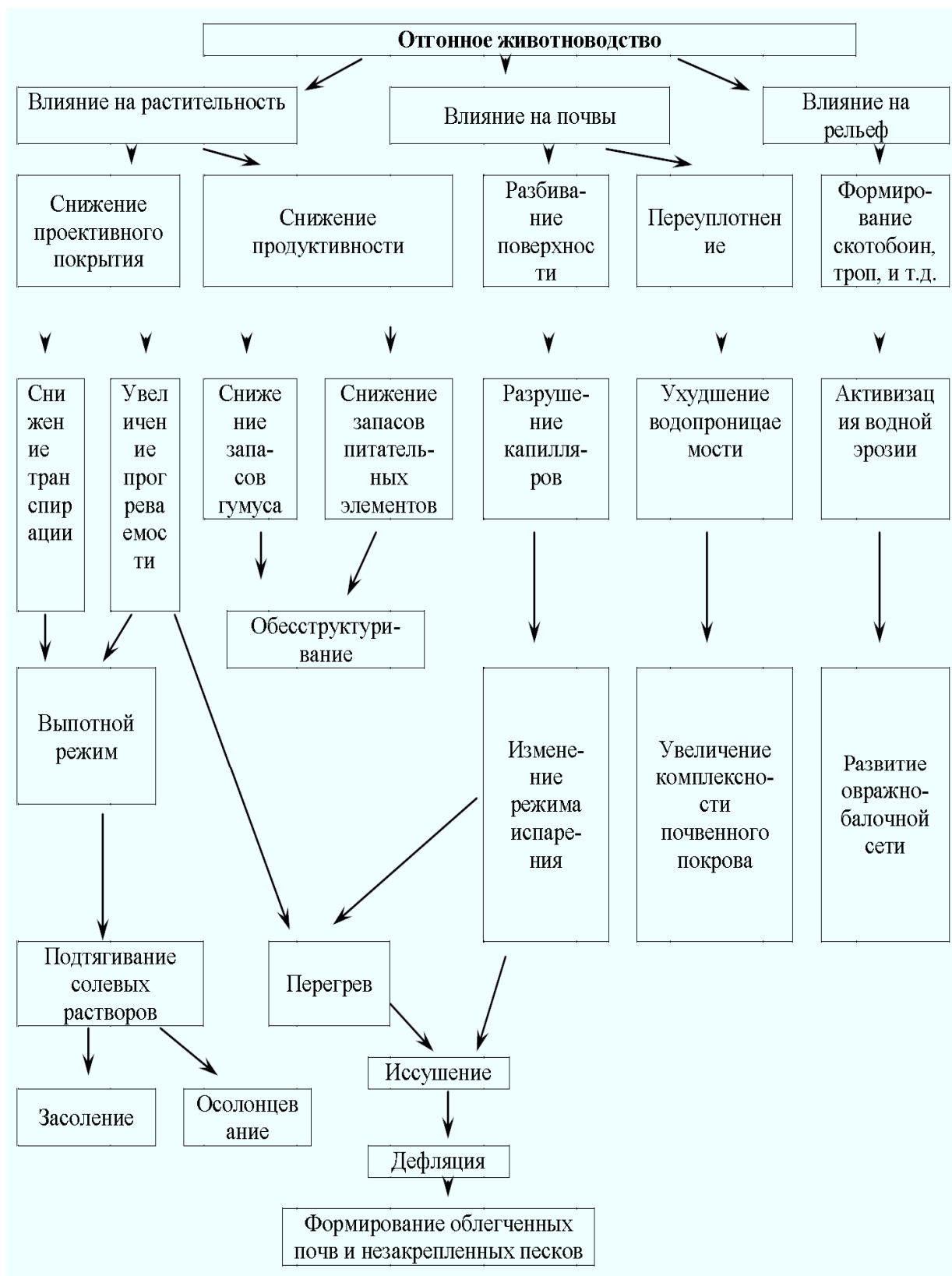


Рис. 3. Схема направлений изменения почвенных свойств при отгонном животноводстве

- Иссущение поверхности, вызванное опусканием уровня грунтовых вод в результате естественных геологических и/или климатических процессов (распространение воздействий, повышающих риск засоления и/или осолонцевания почв, снижения продуктивности естественной растительности))
- Иссущение поверхности при пастбищной дигрессии (распространение воздействий, повышающих риск засоления и/или осолонцевания почв)
- Пастбищная дигрессия на сухих почвах легкого гранулометрического состава (распространение воздействий, повышающих риск дефляции, формирования незакрепленных поверхностей)
- Перегрузка пастбищ на почвах тяжелого гранулометрического состава и/или на почвах, формирующихся в условиях повышенного гидроморфизма (распространение воздействий, повышающих риск водной эрозии почв)
- Распашка сухих почв легкого гранулометрического состава (распространение воздействий, повышающих риск дефляции, формирования незакрепленных поверхностей)
- Распашка почв тяжелого гранулометрического состава и/или почв, формирующихся в условиях повышенного гидроморфизма (распространение воздействий, повышающих риск водной эрозии почв)
- Распашка солонцов и засоленных почв с вовлечением нижних горизонтов в пахотный слой (распространение воздействий, повышающих риск осолонцевания и засоления почв)
- Применение тяжелой техники на пахотных землях (распространение воздействий, повышающих риск уплотнения почв на тяжелых и орошаемых почвах)
- Транспортные сбои в районах с густой сетью грунтовых дорог (распространение воздействий, повышающих риск дефляции, снижения продуктивности естественной растительности)
- Степные пожары (распространение воздействий, повышающих риск засоления и/или осолонцевания почв, снижения продуктивности естественной растительности)
- Сведение лесов (распространение воздействий, повышающих риск снижения продуктивности естественной растительности)
- Техно- и урбо- генные нарушения почвенного и растительного покрова

Вместе с тем, при картографировании опустынивания нельзя обойти вниманием и ряд **проградационных явлений**, связанных с современными процессами естественного и искусственного восстановления ранее нарушенных земель:

- Естественное восстановление растительного покрова на залежах и деградированных пастбищах

- Повышение продуктивности пастбищ при фитомелиоративных работах
- Восстановление лесной растительности на ранее обезлесенных территориях
- Рассоление и рассолонцевание почв в результате сельскохозяйственных мелиораций.

Основные направления (ведущие процессы) опустынивания, требующие контроля и оценки на федеральном уровне, представляют собой комплексные изменения природных комплексов, диагностируемые по индикаторам состояния рельефа, растительного и почвенного покрова. В других источниках они носят названия «типы», «формы», «виды» опустынивания, и др.

Среди них:

- водная эрозия (включая линейную и плоскостную формы),
- формирование незакрепленных и развеваемых поверхностей (проявляется в виде выдувания плодородного горизонта пахотных почв, пастбищной дигрессии, формирования развеваемых песков и т.п.),
- засоление (проявляется в виде формирования как голых солончаков, так и поверхностей с галофитным растительным покровом),
- осолонцевание почв (проявляется, как правило, в форме увеличения доли площадей, занятых солонцами и сильносолонцеватыми почвами),
- уплотнение почв (как правило, характерно для пахотных почв тяжелого гранулометрического состава, не подверженных другим направлениям деградации земель в наиболее гумидных областях рассматриваемой территории или при орошении),
- подтопление (проявляется, как правило, при поднятии уровня грунтовых вод по периферии естественных водоемов, крупных водохозяйственных сооружений, орошаемых массивов),
- снижение продуктивности естественной растительности (включает в основном лесные территории, подверженные вырубке или деградации в результате выпаса крупного рогатого скота, к этому же тренду отнесены активно эксплуатируемые пастбища, не подверженные дефляции).

Помимо трендов деградации, для мониторинга на федеральном уровне важное значение имеет отражение на карте и таких проградационных явлений как:

- восстановление степной растительности (характерно для зарастающих залежей и заброшенных пастбищ степной и сухостепной подзон)
- восстановление лесной и кустарниковой растительности (характерно для зарастающих полей и пастбищ лесостепной подзоны или для территорий, охваченных лесомелиоративными работами)

- рассоление и/или рассолонцевание (характерно для территорий, на которых проводились успешные сельскохозяйственные мелиорации солонцов и засоленных почв).

**Степень проявления** таких ведущих процессов деградации как водная эрозия, формирование незакрепленных и развеваемых поверхностей, засоление, осолонцевание почв, включая оценку **актуальных и потенциальных направлений опустынивания/деградации почвенного покрова** описывается в терминах «слабая», «умеренная», «сильная», «очень сильная», для чего были разработаны соответствующие индикаторы и диагностические шкалы (Куст, Глазовский, Андреева, 2002б).

Для целей картографического мониторинга опустынивания учитываются различные группы индикаторов, не только для прямой диагностики картографических параметров, но и (особенно в случае недостаточной исходной информации по некоторым контурам) для подтверждения установленных картографируемых параметров и для косвенной экспертной оценки.

Так, например, прямыми для установления опасности и актуальной деградации почв могут служить индикаторы преобладающих и сопутствующих почв в контуре, установленных по картам разных лет. Дополнительными в данном случае выступают такие индикаторы как: процентное содержание солонцов и засоленных почв, данные по содержанию гумуса, эродированность почвенного покрова, галохимические особенности почв. Для косвенной экспертной оценки существенную роль часто играют показатели состояния растительности, рельефа, гидрографической сети.

Для установления причин деградации прямым индикатором является тип хозяйственного использования территории, а при экспертной оценке привлекаются такие характеристики природно-территориальных комплексов как количество и качество дорог, наличие месторождений полезных ископаемых, площадь и категория с/х угодий и пашни, промышленность, типы, количество и возраст оросительных систем, площадь лесов и сенокосов, пастбищная нагрузка.

Для целей мониторинга и оценки опустынивания на федеральном уровне при недостаточной полноте данных удобным является использование **"логического ключа"** для определения причин и направлений опустынивания. Фрагменты разработанного нами ключа-определителя приведены ниже.

### **Раздел 1.**

1. Почвенный покров по данным сравнения карт разных лет не изменялся – 2.

0. Почвенный покров по данным сравнения карт разных лет изменился – см. Раздел 2.

2. В пределах контура в настоящее время не осуществляется хозяйственная деятельность – 3.

0. В пределах контура в настоящее время осуществляется хозяйственная деятельность – см. Подраздел 1.4.

3. В пределах контура не отмечается эффектов осуществлявшейся в прошлом хозяйственной деятельности – 4.

0. В пределах контура отмечаются эффекты осуществлявшейся в прошлом хозяйственной деятельности – см. Подраздел 1.3.

4. Если состояние растительного покрова, гидрохимических особенностей территории стабильно, то актуального опустынивания нет, но может существовать опасность опустынивания в слабой и умеренной степени - см. Подраздел 1.1.

0. Если состояние растительного покрова, гидрохимических особенностей территории не стабильно, то актуального опустынивания нет, но может существовать опасность опустынивания в сильной и очень сильной степени, связанной, вероятнее всего с климатическими изменениями - см. Подраздел 1.2

#### Подраздел 1.1.

А) Почвы, опасные в отношении дефляции.

Весь спектр почв песчаного и супесчаного (реже легкосуглинистого) гранулометрического состава, не испытывающих воздействие грунтовых вод в виде капиллярной каймы в пределах почвенного профиля:

- песчаные почвы, занимающие менее 50% территории, супесчаные, реже легкосуглинистые почвы – слабая опасность дефляции;
- песчаные почвы, занимающие более 50% территории – умеренная опасность дефляции.

Б) Почвы, опасные в отношении водной эрозии.

Весь спектр почв, формирующихся на склонах с уклоном поверхности более 5%:

- уклон поверхности от 5° до 10° - слабая опасность водной эрозии;
- уклон поверхности более 10° - умеренная опасность водной эрозии.

В) Земли, опасные в отношении засоления.

Все земли, в почвенном покрове которых встречаются солончаки и/или засоленные почвы, или отмечаются близкорасположенные минерализованные грунтовые воды в условиях бессточности или слабой отточности территории:

- солончаков и/или засоленных почв не обнаруживается или до 10% в почвенном покрове – слабая опасность засоления;
- доля солончаков и/или засоленных почв в почвенном покрове более 10% – умеренная опасность засоления.

Г) Почвы, опасные в отношении осолонцевания.

Все территории, в почвенном покрове которых встречаются солонцы и/или солонцеватые почвы или отмечаются близкорасположенные грунтовые воды содового засоления в условиях бессточности или слабой отточности территории:

- солонцов и/или солонцеватых почв не обнаруживается или до 10% в почвенном покрове – слабая опасность осолонцевания;
- доля солонцов и/или солонцеватых почв в почвенном покрове более 10% - умеренная опасность осолонцевания.

#### Подраздел 1.2.

А) Почвы, опасные в отношении дефляции.

Весь спектр почв песчаного и супесчаного (реже легкосуглинистого) гранулометрического состава, не испытывающих воздействие грунтовых вод в виде капиллярной каймы в пределах почвенного профиля:

- песчаные почвы, занимающие менее 50% территории, супесчаные, реже легкосуглинистые почвы – сильная опасность дефляции;
- песчаные почвы, занимающие более 50% территории – очень сильная опасность дефляции.

Б) Почвы, опасные в отношении водной эрозии.

*Весь спектр почв, формирующихся на склонах с уклоном поверхности более 5%:*

- *уклон поверхности от 5° до 10° - сильная опасность водной эрозии;*
- *уклон поверхности более 10° - очень сильная опасность водной эрозии.*

*В) Земли, опасные в отношении засоления.*

*Все земли, в почвенном покрове которых встречаются солончаки и/или засоленные почвы, или отмечаются близкорасположенные минерализованные грунтовые воды в условиях бессточности или слабой отточности территории:*

- *солончаков и/или засоленных почв не обнаруживается или до 10% в почвенном покрове – сильная опасность засоления;*
- *доля солончаков и/или засоленных почв в почвенном покрове более 10% – очень сильная опасность засоления.*

*Г) Почвы, опасные в отношении осолонцевания.*

*Все территории, в почвенном покрове которых встречаются солонцы и/или солонцеватые почвы или отмечаются близкорасположенные грунтовые воды содового засоления в условиях бессточности или слабой отточности территории:*

- *солонцов и/или солонцеватых почв не обнаруживается или до 10% в почвенном покрове – сильная опасность осолонцевания;*
- *доля солонцов и/или солонцеватых почв в почвенном покрове более 10% - очень сильная опасность осолонцевания.*

*Подраздел 1.3.*

*1. В оцениваемых контурах отмечается восстановление растительного покрова:*

- *лесной растительности - проградационный процесс восстановления лесов;*
- *степной растительности - проградационный процесс восстановления степей.*

*0. В оцениваемых контурах не отмечается восстановление растительного покрова:*

- *на территориях, опасных по критериям подразделов 1.1. и 1.2. в отношении дефляции и эрозии, степень опасности увеличивается на 1 градацию;*
- *на территориях, опасных по критериям подразделов 1.1. и 1.2. в отношении засоления и осолонцевания, степень опасности оценивается по тем же критериям.*

*Подраздел 1.4.*

*А) На территориях, описанных по критериям подразделов 1.1. и 1.2. в отношении дефляции и эрозии степень опасности увеличивается на 2 градации;*

*Б) На территориях, опасных по критериям подразделов 1.1. и 1.2. в отношении засоления и осолонцевания, степень опасности увеличивается на 1 градацию.*

*В) На территориях, не попадающих по критериям подразделов 1.1. и 1.2. в опасные в отношении дефляции, водной эрозии, засоления и осолонцевания, но используемых под пастбищное животноводство, отмечают опасность снижения продуктивности естественной растительности.*

***Раздел 2.***

*1. В пределах контура осуществляется в настоящее время (или в прошлом) хозяйственная деятельность – см. Подраздел 2.2.*

*0. В пределах контура не осуществляется (в т.ч. в прошлом) хозяйственная деятельность – изменения почвенного покрова и контуров без прямого антропогенного воздействия – см. Подраздел 2.1.*

*Подраздел 2.1.*

*А) Изменения, связанные с подъемом уровня грунтовых вод в результате естественных геологических и/или климатических процессов:*

- *засоление* *степень проявления актуальных трендов оценивается по соответствующим*
- *осолонцевание* *диагностическим шкалам (табл. 2, 3).*

- *подтопление* *степень проявления не оценивается.*
- Б) *Изменения, связанные с геохимической миграцией солей к периферии орошаемых массивов:*
  - *засоление* *степень проявления актуальных трендов оценивается по соответствующим*
  - *осолонцевание* *диагностическим шкалам (табл. 2, 3).*
- В) *Изменения, связанные со снижением геохимической отточности территории в результате заиливания русел:*
  - *засоление* *степень проявления актуальных трендов оценивается по соответствующим*
  - *осолонцевание* *диагностическим шкалам (табл. 2, 3).*
  - *подтопление* *степень проявления не оценивается.*
- Г) *Изменения, связанные с иссушением поверхности, вызванным опусканием УГВ в результате естественных геологических и/или климатических процессов:*
  - *засоление* *степень проявления актуальных трендов оценивается по соответствующим*
  - *осолонцевание* *диагностическим шкалам (табл. 2, 3).*
  - *подтопление* *степень проявления не оценивается.*
  - *снижение продуктивности* *степень проявления*
  - *естественной растительности* *не оценивается.*

#### Подраздел 2.2.

А) *По данным сравнения материалов разных лет в оцениваемом контуре отмечается увеличение доли дефлированных почв в результате одного или нескольких следующих видов хозяйственной деятельности:*

- ◆ *Иссушение поверхности, вызванное опусканием УГВ в результате искусственного зарегулирования стока рек или строительства дренажных систем;*
- ◆ *Иссушение поверхности при пастбищной дигрессии;*
- ◆ *Пастбищная дигрессия на сухих почвах легкого гранулометрического состава;*
- ◆ *Распашка сухих почв легкого гранулометрического состава;*
- ◆ *Транспортные сбои в районах с густой сетью грунтовых дорог;*
- ◆ *Степные пожары;*
- ◆ *Сведение лесов;*
- ◆ *Техно- и урбо- генные нарушения почвенного и растительного покрова.*

#### ***формирование незакрепленных и развеваемых поверхностей***

Б) *По данным сравнения материалов разных лет в оцениваемом контуре отмечается увеличение доли эродированных почв в результате одного или нескольких следующих видов хозяйственной деятельности:*

- ◆ *Перегрузка пастбищ на почвах тяжелого гранулометрического состава и/или на почвах, формирующихся в условиях повышенного гидроморфизма;*
- ◆ *Распашка почв тяжелого гранулометрического состава и/или почв, формирующихся в условиях повышенного гидроморфизма;*
- ◆ *Применение тяжелой техники на пахотных землях;*
- ◆ *Транспортные сбои в районах с густой сетью грунтовых дорог;*
- ◆ *Сведение лесов;*
- ◆ *Техно- и урбо- генные нарушения почвенного и растительного покрова.*

#### ***водная эрозия***

В) *По данным сравнения материалов разных лет в оцениваемом контуре отмечается увеличение доли засоленных почв и солончаков в результате одного или нескольких следующих видов хозяйственной деятельности:*

- ◆ Подъем уровня грунтовых вод как результат строительства водохозяйственных сооружений;
- ◆ Подъем уровня грунтовых вод в результате длительного орошения или расширения орошаемых площадей;
- ◆ Орошение минерализованными водами;
- ◆ Иссущение поверхности, вызванное опусканием УГВ в результате искусственного зарегулирования стока рек или строительства дренажных систем;
- ◆ Перегрузка пастбищ на почвах тяжелого гранулометрического состава и/или на почвах, формирующихся в условиях повышенного гидроморфизма;
- ◆ Распашка солонцов и засоленных почв с вовлечением нижних горизонтов в пахотный слой;
- ◆ Степные пожары;
- ◆ Техно- и урбо- генные нарушения почвенного и растительного покрова

#### **засоление**

*Г) По данным сравнения материалов разных лет в оцениваемом контуре отмечается увеличение доли солонцеватых почв и солонцов в результате одного или нескольких следующих видов хозяйственной деятельности:*

- ◆ Подъем уровня грунтовых вод как результат строительства водохозяйственных сооружений;
- ◆ Подъем уровня грунтовых вод в результате длительного орошения или расширения орошаемых площадей;
- ◆ Орошение минерализованными водами;
- ◆ Иссущение поверхности, вызванное опусканием УГВ в результате искусственного зарегулирования стока рек или строительства дренажных систем;
- ◆ Иссущение поверхности при пастбищной дигрессии;
- ◆ Перегрузка пастбищ на почвах тяжелого гранулометрического состава и/или на почвах, формирующихся в условиях повышенного гидроморфизма;
- ◆ Распашка солонцов и засоленных почв с вовлечением нижних горизонтов в пахотный слой;
- ◆ Степные пожары;
- ◆ Техно- и урбо- генные нарушения почвенного и растительного покрова.

#### **осолонцевание**

*Д) По данным сравнения материалов разных лет в оцениваемом контуре отмечается увеличение доли гидроморфных почв в результате одного или нескольких следующих видов хозяйственной деятельности:*

- ◆ Подъем уровня грунтовых вод как результат строительства водохозяйственных сооружений;
- ◆ Подъем уровня грунтовых вод в результате длительного орошения или расширения орошаемых площадей;
- ◆ Перегрузка пастбищ на почвах тяжелого гранулометрического состава и/или на почвах, формирующихся в условиях повышенного гидроморфизма;
- ◆ Распашка почв тяжелого гранулометрического состава и/или почв, формирующихся в условиях повышенного гидроморфизма;
- ◆ Сведение лесов.

#### **подтопление**

*Е) По данным сравнения материалов разных лет в оцениваемом контуре отмечается увеличение доли слитых и уплотненных почв в результате одного или нескольких следующих видов хозяйственной деятельности:*



- ◆ Распашка почв тяжелого гранулометрического состава и/или почв, формирующихся в условиях повышенного гидроморфизма;
- ◆ Применение тяжелой техники на пахотных землях.

**уплотнение**

*Ж) Если по данным сравнения материалов разных лет в оцениваемом контуре нет проявлений ни одного из описанных в пп. А-Е трендов деградации, то отмечается истощение почв и снижение биопродуктивности в результате одного или нескольких следующих видов хозяйственной деятельности:*

- ◆ Иссущение поверхности, вызванное опусканием УГВ в результате искусственного зарегулирования стока рек или строительства дренажных систем;
- ◆ Иссущение поверхности при пастбищной дигрессии;
- ◆ Транспортные сбои в районах с густой сетью грунтовых дорог;
- ◆ Степные пожары;
- ◆ Сведение лесов.

**снижение продуктивности естественной растительности**

*З) Контур покрывает крупные урбанизированные и промышленные центры (города, горнодобывающие предприятия, шахты и пр.):*

**техногенез**

*И) По данным сравнения материалов разных лет в оцениваемом контуре отмечается уменьшение доли засоленных и солонцеватых почв в результате сельскохозяйственных мелиораций:*

**рассоление и/или рассолонцевание**

Результаты картографического анализа распространения опустынивания на территории России неоднократно публиковались нами в последние 15 лет и докладывались на различных российских и международных совещаниях (1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2006, 2011). Основные результаты картографической оценки сводятся к следующим цифрам.

Площадь земель, подверженных опустыниванию, составила около 1 190 000 кв. км, что соответствует 75.5% рассматриваемой территории или около 7,5% территории Российской Федерации. Около 10% территории входят в так называемую область риска, где пока интенсивность антропогенных воздействий не превысила критический уровень устойчивости почв и ландшафтов.

При этом наиболее распространенным (около 38% территории) воздействием является распашка почв. Вторым по значимости воздействием является пастбищное животноводство (более 25%). Третьим – сведение лесов (9%). Вместе с тем, на территории около 80000 кв. км (или 6% от общей исследованной площади) отмечаются проградационные явления, связанные в основном с восстановлением естественной растительности.

Важно отметить, что из деградирующих земель большая часть представлена слабой и умеренной степенью деградации (более 50%), а очень сильной деградации подвержено менее 5%. Наиболее значимым направлением деградации является водная эрозия (более 33%), затем следует формирование незакрепленных поверхностей (в основном связанных с ветро-

вой эрозией) – более 18%, затем осолонцевание и засоление (около 9% и около 7% соответственно).

### ***Географическое районирование опустынивания на федеральном уровне***

Цель районирования процессов опустынивания – разделение территории юга России на регионы, сходные по проявлениям основных направлений опустынивания для прогноза состояния земель и почвенного покрова, выбора оптимальных методов организации использования земельных ресурсов. Районирование было проведено на основе сопоставления данных почвенно-географического, климатического, геоботанического, ландшафтного, природно-сельскохозяйственного районирования, агропочвенного и др., на картографической базе составленной нами Карты опустынивания РФ в масштабе 1:1,5 млн.

Районирование проводилось в пределах почвенно-экологического и ландшафтного зонирования. Согласно этому зонированию, в территорию нашего рассмотрения включаются полностью:

- ✓ *Полупустынная зона* бурых полупустынных и каштановых почв;
- ✓ *Сухостепная зона* каштановых и темно-каштановых почв;
- ✓ *Степная зона* черноземов южных и обыкновенных;

и частично (преимущественно в Восточной части страны) *лесостепная зона* черноземов типичных, выщелоченных и оподзоленных и серых лесных почв, а также горные среднетаежные провинции юга Восточной Сибири с палеокриогенными почвами с коэффициентом увлажнения менее 0,65 ( $KУ < 0,65$ ).

Анализ распространения в пределах этих зон преобладающих направлений и причин опустынивания, наряду с анализом особенностей почвенного покрова, сочетания климатических и других природных условий, особенностей хозяйственного использования земельного фонда, позволил выделить на изученной территории 15 географических провинций опустынивания.

*Провинции* являются основой географического районирования опустынивания. Они характеризуются преобладанием определенных трендов опустынивания в пределах генетически однородных (в ландшафтном отношении) и климатически сходных типов территорий, что в свою очередь определяет сходный характер землепользования,

Выделены следующие провинции:

I Южно-Русская степная. II Прикаспийская степная сухостепная. III Предкавказская степная. IV Большекавказская горно-степная. V Заволжская степная и сухостепная. VI Зауральская лесостепная. VII Зауральская степная и сухостепная. VIII Западно-Сибирская лесостепная. IX Барабинская лесостепная. X Кулундинская степная и сухостепная. XI Алтае-Салаирская провинция предгорий и межгорных котловин. XII Абакано-

Саянская провинция межгорных котловин. XIII Енисейская провинция предгорий и межгорных котловин. XIV Прибайкальская провинция предгорий и остепненных лугов. XV Забайкальская провинция межгорных котловин и горных степей. Полное описание провинций и округов дано нами ранее (Андреева, Куст, 2003, 2006).

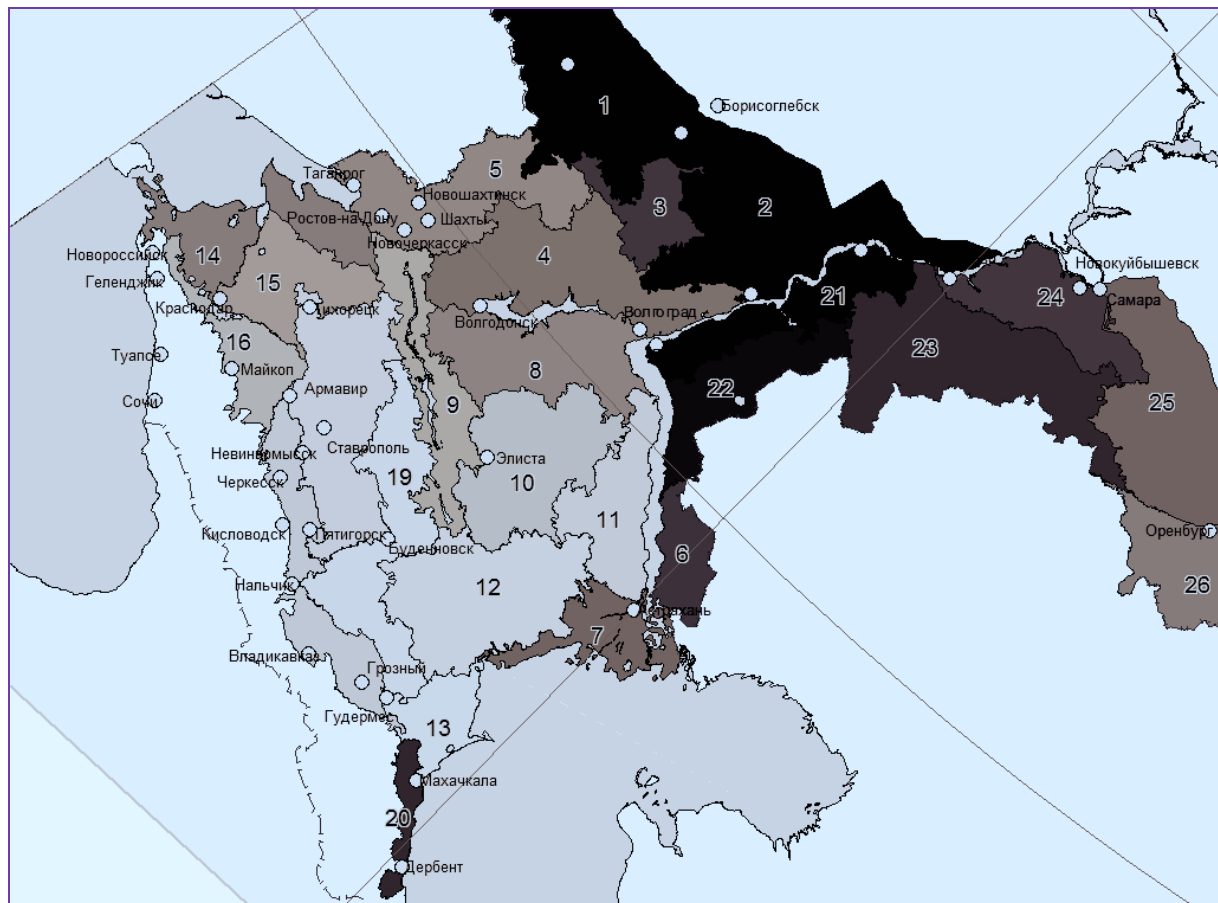


Рис. 4. Районирование опустынивания в РФ (европейская часть)

Выделение географических провинций по опустыниванию позволяет выявить региональную специфику землепользования и соответствующие ей процессы деградации или, наоборот, проградации земель, а также позволяет решать конкретные задачи мониторинга опустынивания почв и почвенного покрова на обширных территориях.

Выделенные провинции, в свою очередь, подразделяются на округа.

*Округ* – часть провинции, характеризующаяся сочетанием различных трендов опустынивания в разной степени их проявления, что связано с отличительными особенностями геоморфологии, литологии, почвенного и растительного покрова этого региона, отличительными региональными особенностями хозяйственного использования земель. Климатические различия на уровне округов имеют подчиненное значение. Округа при этом получают комплексные названия, отражающие особенности опустынивания на данной территории (например, отличия по степеням проявления того или иного направления).

Таблица 1. Фрагмент списка провинций и округов по опустыниванию

Провинция	Округ		
	№	Географическое название	Расширенное название
I Южно-Русская степная провинция	1	Хоперо-Медведицкий	с преобладанием процессов водной эрозии в умеренной и очень сильной степени
	2	Битюго-Донской	с преобладанием процессов водной эрозии в умеренной и сильной степени
	3	Арчедыно-Донской	с преобладанием опасности формирования незакрепленных и развееваемых поверхностей
	4	Цимлянский	с преобладанием процессов слабой водной эрозии и умеренного осолонцевания
	5	Нижне-Донской	с преобладанием процессов водной эрозии в умеренной и сильной степени, осложненный процессами осолонцевания в умеренной степени
II Прикаспий-ская степная и сухо- степная провинция	6	Харабалинский	с преобладанием процессов формирования незакрепленных и развееваемых поверхностей в умеренной степени
	7	Район Волжской дельты	с преобладанием процессов подтопления и засоления в сильной степени
	8	Ергенинский	с преобладанием процессов умеренной водной эрозии, а также процессов осолонцевания в умеренной и сильной степени
	9	Район долины Маныча	с преобладанием процессов осолонцевания в сильной и очень сильной степени и засоления в умеренной степени
	10	Сарпинский	с преобладанием процессов засоления в умеренной и сильной степени
	11	Волго-Сарпинский	с преобладанием процессов формирования незакрепленных и развееваемых поверхностей в умеренной степени и сильной степени, осложненный процессами сильного засоления
	12	Ногайско-Черноземельский	с преобладанием процессов формирования незакрепленных и развееваемых поверхностей от умеренной степени до очень сильной и развееваемых песков, осложненный процессами умеренного засоления и осолонцевания
13	Район дельты Терека	с преобладанием процессов засоления в сильной степени	
III Предкавказ-ская степная провинция	14	Приазовский	с преобладанием процессов слабого и умеренного засоления и проявлением опасности засоления в умеренной степени (местами до очень сильной)
	15	Азово-Кубанский	с преобладанием процессов слабой водной эрозии, осложненный процессами подтопления территории
	16	Майкопский	с преобладанием процессов умеренной и сильной водной эрозии.
	17	Район предгорий Северного Кавказа	с преобладанием процессов умеренной водной эрозии
	18	Район Ставропольской возвышенности	с преобладанием процессов умеренного осолонцевания и проявлением опасности развития водной эрозии в умеренной степени
	19	Предтеречно-Кумо-Манычский	с преобладанием процессов умеренного и сильного осолонцевания и умеренной водной эрозии

Фрагмент карты географического районирования территории Юга России по опустыниванию представлена на рисунке 4, а в таблице 1 приведен фрагмент перечня провинций и округов, описанных по основным параметрам и индикаторам опустынивания.

Как показывает анализ проведенного районирования, в целом для исследуемой территории отмечается достаточно устойчивая приуроченность причин и направлений опустынивания в разной степени их проявления к определенным провинциям и округам, различающимся по природным характеристикам (климатическая зональность, особенности геоморфологии и гидрологии, почвенного покрова, растительного покрова и др.), а также по характеру антропогенных воздействий (особенности хозяйственной деятельности, различные системы земледелия, плотность населения).

Так, например, распространение процессов водной эрозии закономерно возрастает от полупустынной к степной зоне, а доля процессов формирования незакрепленных и развееваемых поверхностей – уменьшается в обратном направлении.

С усилением засушливости климата возрастает доля процессов опустынивания, проявляющихся в сильной и очень сильной степенях. Примером может служить территория Республики Калмыкия, где распространены очаги развееваемых песков.

Процессы засоления приурочены, как правило, к территориям, испытывающим как природное (например, Прикаспийская низменность), так и вторичное засоление (например, периферии орошаемых массивов) и бессточным, депрессионным формам рельефа. Та же последовательность отмечается и для процессов осолонцевания.

Подтопление отмечается главным образом на побережье Каспийского моря, что связано с многолетними колебаниями уровня Каспия. Локально подтопление распространено в районах продолжительного орошения.

Снижение продуктивности лесной растительности происходит в пределах лесостепной зоны Западной Сибири и предгорных районах (Северный Кавказ, Урал, Алтай, Салаирский кряж).

Техно- и урбогенные нарушения почвенного покрова приурочены к крупным городским и промышленным центрам юга России.

В целом, для Европейской части юга Российской Федерации характерно преобладание процессов умеренной и сильной водной эрозии, умеренного осолонцевания и засоления, умеренного формирования незакрепленных и развееваемых поверхностей, тогда как на территории Западной Сибири преобладают процессы формирования незакрепленных и развееваемых поверхностей в сильной степени, снижения продуктивности естественной растительности и локально – процессы рассоления и рассолонцевания. В Забайкалье ведущую роль играют процессы формирования неза-

крепленных и развеваемых поверхностей в умеренной и сильной степени и водная эрозия.

***Эволюционно-генетическая модель опустынивания и аридизации как предпосылка современных деградационных процессов и опустынивания на Русской равнине<sup>5</sup>***

Другим важным направлением развития теоретических основ понимания роли почв в явлении опустынивания являются исследования в области теоретического и картографического моделирования эволюции почв засушливых областей как возможной предпосылки развития аридизации суши и современного опустынивания. Дело в том, что, как показали исследования процесса современного опустынивания, вызванного в основном антропогенными причинами, процессы, сопровождающие развитие этого явления, носят преимущественно природный характер, а антропогенное воздействие либо возбуждает эти процессы, либо меняет скорость и направление их протекания. В любом случае, опустынивание территории ведет к усилению ее аридизации, преимущественно за счет роста почвенной аридности, что в свою очередь, может рассматриваться (согласно концепции В.А.Ковды о гидроморфном происхождении почв великих равнин земного шара) как оно из проявлений основного тренда их развития. К числу таких равнин относится и Русская равнина, занимающая значительную часть Юга Европейской России

В настоящее время существующие концепции и теории развития почвенного покрова Юга Европейской части России в голоцене можно условно подразделить на три группы:

1. ***Концепции поступательного развития почв*** и формирования почвенного покрова степной, сухостепной и полупустынной зон в голоцене по мере обсыхания территории. На протяжении всей голоценовой истории рассматриваемого региона в соответствии с предлагаемыми трактовками эволюции почв (Ковда, 1946; Ковда, Самойлова, 1966), происходит усиление роли автоморфных ландшафтов, сокращение площадей, занятых гидроморфными и полугидроморфными почвами, с одновременным возрастанием степени расчлененности рельефа, эрозионной активности, повсеместным снижением базиса эрозии, врезанием русел рек и мелких, в том числе и временных, водотоков, развитием овражно-балочной сети. Все перечисленные явления происходят во многом за счет компенсационных постледниковых тектонических процессов, приводящих к направленным поднятиям и опусканиям, определяя общий вектор направленности почвообразования в сторону аридизации.

2. ***Концепции доминирующей роли литологического фактора*** в процессах эволюции (Динесман, 1977; Золотун, 1974; Маданов с соавт.,

---

<sup>5</sup> Эта часть главы подготовлена совместно с С.А. Аветяном

1967). В соответствии с этой точкой зрения эволюционные преобразования в почвенном покрове происходят с неравномерными скоростями. На этапе после выхода почв из субаквального состояния эти изменения существенны и затрагивают весь почвенный профиль, способствуя его ускоренной трансформации, обособлению генетических горизонтов и т.д. Затем скорость эволюционных преобразований резко падает.

В целом же значительных геохимических миграций в ландшафте в течение голоцена (за исключением, возможно, начального периода) не происходит, а перераспределение солей носит скорее характер флуктуаций.

Особенности почвенного покрова, специфика профилей почв, различия в морфологических признаках, физических свойствах, наличие или отсутствие солонцеватости, проявления различного рода солевых аккумуляций, по мнению авторов, являются, вероятнее всего, следствием исходных различий в уровнях и видах засоленности, присущих различным почвообразующим породам, мало изменяющимся с течением времени.

3. *Палеоклиматические концепции* (Александровский, 1983, 1984, 1995, 2002; Ахтырцев с соавт, 1986; Геннадиев с соавт, 1990, 1993; 1994; Демкин с соавт., 1985, 1995, 1997; Иванов с соавт., 1992, 1995, 1996; Куст, 1992, 1993, 1999; Таргульян, 1982; и другие) базируются на анализе палеоклимата, палеогеографических реконструкциях, согласно которым климатические изменения и флуктуации в голоцене обусловили длительную многоэтапную гетерохронную эволюцию почвенного покрова различных частей рассматриваемой территории. Согласно Н.А.Хотинскому (1978, 1986), в голоцене, как и в других межледниковьях, выделяются две климатические стадии – термоксеротическая и термогигротическая. Первая характеризуется суммарным трендом повышения температуры на планете в сочетании с уменьшением влажности. В голоцене эта стадия по времени совпала с предбореальным, бореальным и атлантическим периодами, за время которых, учитывая совпадение климатического остепнения, выразившегося в уменьшении количества осадков и общей обводненности, и снижения базиса эрозии за счет тектонических поднятий, проявившегося в увеличении дренированности Восточно-европейской равнины, обширные массивы почв полугидроморфных и гидроморфных ландшафтов трансформировались в автоморфные.

Вторая половина голоцена (от 4,5-5 тыс. лет назад до настоящего времени) отмечена резким похолоданием и сменой процессов аридизации климата на постепенную гумидизацию. Тем не менее, за счет тектонических поднятий и врезаний русел рек обсыхание и снижение УГВ фактически не прекращалось. Климатический тренд второй половины голоцена обеспечил увеличение количества атмосферных осадков и оказал рассоляющее воздействие на достаточно толщу почв и почвообразующих пород юга Восточно-Европейской равнины.

С учетом перечисленных точек зрения сложная гетерохронная эволюция почв и почвенного покрова Юга Европейской части РФ в голоцене была представлена нами в виде концептуальной теоретической модели развития почвообразования<sup>6</sup>. При этом сложность многоэтапного суммарного воздействия совокупности причин эволюции на многообразие комплекса процессов изменений свойств почв и трансформации почвенного покрова рассматривалась как результирующий эволюционный вектор трехмерной теоретической модели, для которой разнообразные условия и причины по имеющейся палеогеографической информации были ранжированы и объединены в три базовых блока:

**Первый – климатическая составляющая эволюционного вектора**, включающая в себя, в первую очередь, гидротермические изменения на протяжении голоцена, непосредственно влияет на развитие биологических процессов, накопление и трансформацию органического вещества, придает импульс, направленность, регулирует скорость и интенсивность почвообразовательных процессов.

**Второй - рельефообразующие факторы и условия**, связанные с неотектоникой плит, трансгрессиями и регрессиями крупных водоемов, врезанием русел рек, и определяющие общее повышение степени дренированности, разработанности речных долин, что в целом способствует повышению разнообразия почвенно-растительных комплексов, развитию оползневых процессов, просадочных явлений, дефляции и переотложению эолового материала, геохимическим миграциям и аккумуляциям легкорастворимых солей. Этот блок является определяющим для раздельного рассмотрения эволюции почв автономных, транзитных и подчиненных ландшафтов.

**Третий - почвообразующие и подстилающие породы**, имеющие специфические минералогические свойства, гранулометрический состав, разнообразные по характеру и степени засоления, содержанию гипса и карбонатов, различающиеся по возрасту, слоистости, водно-физическим свойствам, наличию и глубине залегания водоносных горизонтов.

Творческое развитие концепции В.С. Залетаева (1989) об аппликативной сущности ландшафтных преобразований в условиях динамичной, постоянно меняющейся природной среды<sup>7</sup>, с учетом представлений, развитых в работах А.Л. Александровского (1995), И.А. Соколова (1986), В.О. Таргульяна (1982), И.В. Иванова (1992), Е.М. Самойловой (1981, 1991),

---

<sup>6</sup> Подробное описание и обоснование подходов к теоретическому моделированию эволюции почвенного покрова Юга России в голоцене содержится в работе С.А.Аветяна, О.В.Андреевой, Г.С.Куста (2003)

<sup>7</sup> Выделяется три основные группы «аппликативных» процессов, среди которых отмечаются однонаправленные наложения (или изоаппликации), разнонаправленные или противонаправленные наложения (контр-аппликации) и периодические или смещающие наложения (парадокс-аппликации).



А.Н. Геннадиева (1990), Г.С. Куста (1999) и других о формах эволюции почв (наложенная, трансформирующая, стирающая и др.), а также о гетерохронности, вариотемпности и поликлимаксности голоценового почвообразования, позволило нам в целях картографического отражения эволюции почв представить все разнообразие эволюционных трендов в виде иерархизированной системы сопряженных почвенных процессов - активных, развивающихся и затухающих в разных сочетаниях в разные периоды голоцена.

Изложенные подходы нашли отражение в работе над составлением карт голоценовой эволюции почвенного покрова Юга России, которая проводилась в несколько этапов.

Обобщение и систематизация данных по естественной эволюции почв в форме эволюционно-генетических рядов показало, что в целом особенности эволюции почв можно описать через ряд таких элементарных почвенных процессов как: гумусонакопление–дегумификация; засоление–рассоление; осолонцевание – рассолонцевание; дефляция; эрозия; загипсовывание, выщелачивание и окарбоначивание; олуговение.

Исходя из этого списка основных процессов, для систематизации путей природной эволюции изученных территорий были выделены следующие основания:

*Главный эволюционный тренд*, предполагающий выявление основных направлений мыслимой эволюции в сторону достижения почвенным покровом равновесия с действующими факторами почвообразования. Среди этих трендов для исследуемой территории выделяются: *Остепнение*<sup>8</sup>; *Засоление*; *Осолонцевание*; *Олуговение*; *Формирование эродированных и дефлированных абиогенных поверхностей*.

Среди выделенных главных эволюционных трендов мы рассматриваем остепнение как ведущий тренд аутоэволюции почвенного покрова исследуемой территории в направлении достижения равновесия с факторами действующей среды. Однако, в случае, когда есть локальный или региональный фактор, действующий вопреки главному тренду аутоэволюции, предлагается говорить об *эволюционных состояниях*, анализ которых дает основания для установления различий хода эволюции почвенного покрова, интерпретируемых через термин "аллоэволюция". Анализ литературных материалов по теме нашего исследования показал, что можно для исследуемой территории различать на разных этапах следующие виды аллоэволюционных изменений: *гидрогенная аллоэволюция*; *галогенная*; *седиментогенная*; *литогенная*; *эоловая*.

Следующим важным основанием для определения эволюционных различий служит абсолютный и/или относительный *нуль-момент почвооб-*

---

<sup>8</sup> Остепнение и опустынивание в этом контексте рассматриваются как два гомологичных тренда, коррелирующих в основных своих проявлениях в разных природных зонах (Куст, 1993).

*разования.* Под абсолютным нуль-моментом почвообразования на исследуемой территории нами понимается начальная стадия почвообразования, обусловленная освобождением дневной поверхности почв из-под воздействия талых ледниковых вод. Дальнейшее развитие почвы протекает в постгидроморфном режиме. В некоторых случаях (не затронутых ледниковыми водами поверхностей) начальной стадией служат пра-почвы, сформировавшиеся в период стояния ледника. В этом случае следует говорить скорее о "климатогенном", чем о "постгидроморфном" характере последующих изменений.

Под относительным нуль-моментом почвообразования понимаются моменты изменения ведущих почвообразовательных процессов, в связи с чем происходит осложнение постгидроморфного тренда различными *стадиями*. Например, когда засоление приводит к развитию не только засоленных почв, но и собственно солончаков, осолонцевание - к развитию полнопрофильных солонцов и т.п. Мы предлагаем рассматривать такие случаи на уровне "стадий" в развитии почв, то есть, когда в процессе формирования современной полихроногенетичной почвы на протяжении голоцена происходили изменения на уровне типа. Полихроногенез в этом случае подразумевает такое развитие почв в голоцене, в течение которого происходят изменения на уровне не ниже типов почв. При рассмотрении путей эволюции почвенного покрова Юга Русской равнины и Предкавказья нами были выделены следующие стадии: *засоление; осолонцевание; рассоление; рассолонцевание; прерывисто-дефляционное развитие.*

Если же на протяжении голоцена выраженность вышеперечисленных процессов при формировании современных почв приводила к изменению на уровне рода или вида (реже подтипа), то мы предлагаем описывать такие особенности через выделение не стадий, а "*элементов*". Иначе говоря, стадии в ходе эволюционных различий выделяются в случае, если остепнение не является на каких-то этапах ведущим трендом, а элементы выделяются, если на фоне ведущего тренда остепнения отмечаются сопутствующие другие тренды (как то: засоление, осолонцевание и др.). Соответственно нами были рассмотрены следующие "элементы": *засоление; осолонцевание; рассоление; рассолонцевание; слитизация; олуговение.*

К "элементам" отнесены также и такие особенности эволюционных изменений, когда признаки течения сопутствующих процессов практически не меняются в ходе эволюции. В литературе описаны такие пути развития некоторых территорий, когда на протяжении всего голоцена, не смотря на общее остепнение, некоторые признаки (например, солонцеватость или галоморфизм) оставались без изменений. Соответственно выделены следующие дополнительные элементы: *галоморфизм; солонцеватость.*

Помимо того, что стадии и элементы могут наблюдаться в ходе всей голоценовой эволюции последовательно, они могут также иметь и регрес-

сивный характер. То есть в какой-то момент эволюция, протекающая в направлении основного тренда, в результате изменения климата или других факторов меняет направление основного тренда на обратное или иное за счет смены ведущего процесса почвообразования. В дальнейшем основной тренд развития может восстанавливаться.

Для того чтобы дать названия особенностям эволюционных изменений почвенного покрова для каждого из округов, выделенных на карте Почвенно-экологического районирования России (1997), определить основные и сопутствующие тренды эволюции, нами была разработана специальная матрица, в поле которой давались названия трендам эволюции по всем исследованным почвенным округам как для автономных, так и (в случае установления различий) подчиненных ландшафтов. Примеры таких названий приведены в таблице 2.

Таблица 2. Примеры названий основных направлений природной и антропогенной эволюции почвенного покрова Юга европейской части России.

Наименования почвенных зон, подзон, округов	Природные тренды		Антропогенные тренды	
	Автономные ландшафты	Подчиненные ландшафты	Автономные ландшафты	Подчиненные ландшафты
<b>З<sub>3</sub> Предкавказская провинция черноземов обыкновенных и южных</b>				
<b>IV Майкопский округ</b>	Климатогенное остепнение с элементами и стадиями полициклической слитизации	Климатогенное остепнение, осложненное элементами периодического олуговения, (а так же (?) рассоления и рассолонцевания).	Эрозия вследствие распашки и выпаса, осложненная локальным переуплотнением вследствие применения тяжелой сельскохозяйственной техники.	Усиление эрозии вследствие выпаса с локальным осолонцеванием вследствие орошения.
<b>З<sub>4</sub> Южно-Русская провинция черноземов обыкновенных и южных</b>				
<b>II Миллеровский округ</b>	Постгидроморфное остепнение с элементами засоления, рассоления – осолонцевания и рассолонцевания.	Постгидроморфное остепнение со стадиями засоления, рассоления - осолонцевания и рассолонцевания, а также элементами периодического регрессивного олуговения	Усиление эрозии и дегумификации в результате распашки, осложненное локальным переуплотнением в результате воздействия тяжелой сельскохозяйственной техники.	Осолонцевание в результате распашки, осложненное локальным осолонцеванием со стадиями засоления и рассоления и локальное усиление эрозии в результате выпаса.

На втором этапе работы – обобщение и систематизация данных по антропогенной эволюции почв – на основании описанного выше картографического исследования процессов опустынивания и влияния человека на почвенный покров Юга Европейской части России, были выделены четыре основных типа антропогенных воздействий: распашка, ирригация, отгонное животноводство, техногенные воздействия, оказывающие прямое и опосредованное влияние на эволюцию почв и почвенного покрова через ряд инициируемых ими элементарных почвенных процессов. некоторые из которых имеют противоположную направленность: эрозия; дефляция; засоление – рассоление; осолонцевание – рассолонцевание; дегумификация – гумусонакопление; олуговение (в максимальной степени проявления – заболачивание); деструктуризация (включая переуплотнение и слитизацию). Эти процессы рассматривались в качестве главных эволюционных трендов, направленных в сторону достижения почвенным покровом квазиравновесия с действующими природными и антропогенными факторами, и соответствующих антропогенной аллоэволюции

Часто в направлении достижения квазиравновесия с действующими природными и антропогенными факторами почвенный покров проходит через ряд *стадий*, которые определяют различия в ходе антропогенной эволюции. В некоторых случаях стадиями являются именно те изменения в почвенном покрове, которые планировалось достичь в результате тех или иных воздействий, но при нарушении технологии или недоучете природных факторов эволюция не останавливается на этом этапе, а продолжается в направлении основного тренда. При рассмотрении путей антропогенной эволюции выделяются стадии, набор которых соответствует аналогичным для природной эволюции.

Стадии, аналогично выделенным для природных трендов, выделяются в тех случаях, когда главный эволюционный тренд не является ведущим на каком либо этапе. Если же на фоне ведущего тренда отмечаются сопутствующие тренды, не меняющие его основного направления, то предлагается описывать их как *элементы*, среди которых выделены: *засоление; рассоление; осолонцевание; рассолонцевание; олуговение (заболачивание); эрозия; дефляция; переуплотнение; слитизация.*

Не всегда на протяжении всего периода антропогенного воздействия оно имело постоянный характер, в ряде случаев производились направленные или случайные изменения технологии ведения хозяйства, в результате чего стадии и элементы могли нести регрессивный характер с дальнейшим восстановлением основного тренда. Например, как это происходит в случае с забрасыванием вторично засоленных орошаемых массивов. При хорошем дренаже они постепенно рассоляются, и будучи вновь вовлечены в орошение, засоляются.

В связи с большим разнообразием использования земель в хозяйственных целях не все антропогенные воздействия имеют достаточно широ-

кое распространение в масштабе нашего исследования. Тем не менее, они инициируют ряд локальных трендов, однонаправленных или имеющих иное направление с главными трендами антропогенной аллоэволюции и осложняют ее в пространственном проявлении. К таким *локальным воздействиям* относятся: *обводнение; выпас; добыча полезных ископаемых; строительство водохранилищ; распашка.*

В результате этих воздействий локальный тренд формируется через ряд таких же процессов, что и главный эволюционный тренд, с разницей лишь в масштабах пространственного проявления.

Примеры названий для основных направлений природной и антропогенной эволюции, данные для каждого из округов почвенного покрова юга европейской части России, выделенных на карте Почвенно-экологического районирования России (1997) представлены в таблице 2.

На третьем этапе работы для уровня почвенных округов были составлены четыре картосхемы: естественной эволюции почвенного покрова автономных ландшафтов, естественной эволюции почвенного покрова подчиненных ландшафтов, антропогенной эволюции почвенного покрова автономных ландшафтов, антропогенной эволюции почвенного покрова подчиненных ландшафтов<sup>9</sup>.

Проведенный анализ показал, что при общем сходстве главных эволюционных трендов ход эволюции почвенного покрова автономных и подчиненных ландшафтов существенно отличен. В почвенном покрове транзитных и подчиненных позиций ландшафтов гораздо больше элементов промежуточных стадий остепнения, что позволяет говорить о замедленном характере остепнения почв этих позиций. Более того, для почв подчиненных ландшафтов гораздо чаще выделяются случаи эволюции с элементами регрессивных явлений, а также случаи с преобладанием на тех или иных этапах эволюции в почвенном покрове конечных членов рядов засоления и осолонцевания (солончаков и солонцов соответственно). Эволюция почвенного покрова автономных ландшафтов также во многих случаях характеризуется не до конца завершившимся и/или сильно замедлившимся на современном этапе процессом остепнения.

При сравнении естественной и антропогенной эволюции почвенного покрова юга Европейской части России были выделены три типа антропогенных трендов эволюции по их влиянию на направленность природной эволюции почвенного покрова исследуемой территории:

- прерывающий природную эволюцию почвенного покрова;
- возвращающий природную эволюцию почвенного покрова на более ранние этапы, характерные для естественной эволюции в направлении достижения равновесия с действующими факторами среды;

---

<sup>9</sup> Подробный картографический анализ составленных картосхем содержится в работе С.А.Аветяна, О.В.Андреевой, Г.С.Куста (2003)

- усиливающий природную эволюцию почвенного покрова в направлении достижения равновесия с действующими факторами среды.

Основные антропогенные тренды усиления эрозии и дегумификации, получившие наибольшее распространение для почв автономных позиций рельефа, идут вразрез с преобладающим природным трендом постгидроморфного и климатогенного остепнения. Антропогенное вмешательство приводит к возникновению экологически дестабилизированных систем, почвы приобретают новый, до конца не сформированный облик, неравномерный с природным. Естественный тренд, по сути, прерывается, возникает новый, связанный с антропогенными воздействиями. В случаях наиболее сильного проявления антропогенно инициированных процессов эрозии и дегумификации могут возникать необратимые изменения, связанные с потерей характерных для естественных почв облика и свойств.

Возникновение на картосхеме автономных ландшафтов антропогенной эволюции почвенного покрова в качестве основного или локального тренда осолонцевания и/или засоления позволяет говорить о том, что естественный тренд постгидроморфного остепнения, проявляющийся в рассолонцевании и/или рассолении в результате ирригации, уничтожения верхнего гумусового горизонта и вовлечения солонцеватого горизонта в пахотный слой, приостанавливается или возвращается назад. Это особенно актуально для территорий, где в ходе естественной эволюции были отмечены стадии и элементы засоления и осолонцевания, особенно, если в ходе естественной эволюции отмечались регрессивные тренды рассоления и рассолонцевания. (например Манычский, Баскунчакский, Миллеровский, Ногайский и др. округа). Для этих территорий вероятность современного антропогенного осолонцевания и/или засоления существенно выше, чем для тех, в которых такие стадии не проявлялись.

Современная антропогенная дефляция развивается, как правило, на почвах, сформированных на легких отложениях, там, где в голоцене существовал тренд прерывисто-дефляционного развития. К таким территориям относятся Черные Земли, Кизлярские пастбища, Рын-пески, песчаные массивы в районе Джаныбека, Арчедино-Донские пески. Тренд антропогенной дефляции направлен на возвращение сформировавшихся за период голоцена на таких отложениях почв к фазам формирования незакрепленных развеваемых песков.

В ряде случаев почвы, которые в голоцене формировались по прерывисто-дефляционному типу развития, в процессе антропогенного освоения целенаправленно закреплялись, и фазы дефляции на таких почвах при их рациональном использовании не повторяются. Однако, эти регионы следует рассматривать как территории с повышенной опасностью дефляции в случае нарушения почвенного покрова.

Таким образом, в истории развития почвенного покрова автономных позиций ландшафта оказывается как бы «записана» опасность проявления

современных деградационных явлений, которые связаны с антропогенными воздействиями.

В еще большей степени сказанное выше проявляется для почв подчиненных ландшафтов. В первую очередь это касается антропогенно инициированных процессов осолонцевания и засоления. Опасность «возвратного» тренда в этих случаях для почв подчиненных позиций ландшафта гораздо выше, чем для автономных. Это связано с тем, что степень эволюционного развития постгидроморфного тренда для почв подчиненных ландшафтов ниже, чем для почв автономных ландшафтов. Причем обращает на себя внимание то, что процессы осолонцевания и засоления проявляются, как правило, в тех округах, где природный тренд эволюции имеет аналогичные стадии. В некоторых случаях осолонцевание или засоление не проявляется в качестве основного тренда, как, например в Балашовском, Нижнемедведицком округах, но практически всегда присутствует либо локальный тренд, либо стадии и элементы этих процессов на фоне основного тренда.

Следует подчеркнуть, что в наименьшей степени подвержены современным «возвратным» трендам те округа, которые в голоцене развивались в направлении климатогенного остепнения – Майкопский, Ставропольский, Грозненский и ряд других. Это и понятно, ведь их эволюционное состояние более приближено к некоему равновесию с факторами окружающей среды. За период голоцена в их истории не отмечено каких-либо ведущих стадий, кроме основного тренда, на фоне которого иногда проявляются сопутствующие стадии.

Таким образом, учитывая приведенные выше примеры о «возвратности» и «прерываемости» природных трендов эволюции почвенного покрова исследуемой территории, а также значительном воздействии на эти явления современных антропогенных факторов, было выдвинуто предположение, которое мы условно называем «*гипотезой наследственности почвообразования*», заключающееся в том, что во многих случаях почвенный покров в целом и почвы в частности ведут себя в ходе эволюции аналогично живым организмам, определяя в ходе современного онтогенеза почв возможность повторения реакций и откликов, обусловленных филогенетическим развитием почвенного покрова. При этом в ходе эволюции почвы способны проявлять реакции и свойства, аналогичные свойствам и процессам наследуемости, репликации, изменчивости, регенерации и др. Гипотеза имеет большое практическое значение, позволяя теоретически обосновывать прогноз природной и антропогенной эволюции почв.

Так, например, оценивая результаты анализа собранного нами материала, можно говорить о том, что климатогенная составляющая остепнения находится со второй половины голоцена в затухающей стадии. По-видимому, в ближайшие 2-3 тыс. лет этот тренд вовсе прекратит свое существование, и нарастающая гумидизация климата в северном полушарии

будет способствовать активизации процессов олуговения, гидроморфизации почв и почвенного покрова, несмотря на возможные тектонические поднятия, врезание речных русел и т.д..

Что касается эволюционных трендов засоления и осолонцевания почв, то их развитие в голоцене сопровождалось чередованием периодов активизации и затухания, имело четко выраженную геоморфологическую локализацию и прямую связь со степенью и характером засоления почвообразующих пород, минерализацией грунтовых вод, литологическим составом, дренированностью территории, мезо- и микроклиматом. Современная результирующая тренда солевых миграций направлена в сторону рассоления, интенсивность которого различна, зависит от геоморфологических особенностей конкретного региона и района. Для засушливых территорий, подчиненных и транзитных ландшафтов рассоление в основном стабилизируется на стадии осолонцевания и формирования т.н. профиля рассоления в подпочвенных горизонтах. Завершающий период межледниковья, вероятно, будет характеризоваться прогрессирующим рассолением до уровней частичного или полного опреснения почв автономных ландшафтов, сопровождаемым постепенным рассолонцеванием и, в некоторых случаях, слитизацией, а также активизацией циклов засоления-рассоления почв в гидроморфных позициях рельефа со смещением баланса в сторону последнего в зависимости от бессточности той или иной территории. Нельзя, кроме того, исключить возможность «сползания» на юг и юго-восток границы распространения солонцов и солонцовых комплексов, формирование которых гипотетически связано с благоприятным для развития осолонцевания балансовым соотношением определенного уровня увлажненности и засоленности в ландшафте.

### *Заключение*

Роль почв в явлении опустынивания в основном проявляется в их уникальных индикаторных свойствах, позволяющих диагностировать не только разные стадии опустынивания, но и оценивать рискообразующие условия и опасность деградации земель. Кроме того, почвы играют роль регуляторов характера, степени, скорости и глубины проявления опустынивания, в значительной степени определяя инерционные и буферные свойства экосистем, подверженных опустыниванию или испытывающих риск воздействия неблагоприятных факторов и условий среды. Вместе с тем, роль почв не ограничивается только регуляторными функциями и индикаторными свойствами. В значительной степени подверженность территорий опустыниванию связана с «генетической памятью» или так называемыми «наследственными свойствами» почвенного покрова: почвы ведут себя в ходе эволюции аналогично живым организмам, определяя в ходе современного онтогенеза почв возможность повторения реакций и откликов, обусловленных филогенетическим развитием почвенного покрова,



то есть прошлые эпохи и периоды в истории развития почвенного покрова исследуемой территории предопределяют во многом современную опасность проявления деградиционных явлений, связанных с антропогенными воздействиями, что в наибольшей степени проявляется для почв подчиненных ландшафтов.

Сравнение путей естественной и антропогенной эволюции почвенного покрова Юга Русской равнины и Предкавказья позволило выделить три группы антропогенных трендов: прерывающий природную эволюцию почвенного покрова; возвращающий природную эволюцию почвенного покрова на более ранние этапы; усиливающий природную эволюцию почвенного покрова в направлении достижения равновесия с действующими факторами среды. Выявлено, что в большинстве случаев основные и сопутствующие тренды естественной эволюции почвенного покрова автономных и подчиненных ландшафтов имеют существенные отличия, заключающиеся: во времени, происшедшем с момента выхода почв из гидроморфной стадии; времени промежуточных стадий эволюции, характеризующихся ведущими почвообразовательными процессами и изменениями почв на уровне типа или группы типов; в наличии ярко выраженных этапов регрессивной эволюции.

Разработанные подходы в области оценки и картографирования опустынивания и роли почв в формировании этого явления могут уже сейчас быть рекомендованы для применения федеральными органами, отвечающими за контроль состояния земельных и почвенных ресурсов. Для проведения специального мониторинга опустынивания и засух необходимо получение регулярно обновляемых данных дистанционного зондирования Земли.

Вместе с тем, далеко не все задачи в области оценки и картографирования опустынивания представляются решенными до конца. Так, если "методически" задача картографирования опустынивания в общем виде решена, то полная реализация этих подходов при составлении более подробных карт, актуализированных по данным космической съемки и, по сути, являющихся стартовой основой мониторинга опустынивания и проведения его районирования на федеральном уровне, - пока не осуществлена из-за гораздо большего объема исходной информации, обработка которой требует более длительного времени и финансовых затрат.

Следующая задача, которая вытекает из результатов работы – автоматизация способов составления карт опустынивания для целей мониторинга. Определенные наработки в этом направлении созданы – это и логический ключ-определитель, и классификаторы основных индикаторов и параметров опустынивания, и показанная возможность использования автоматизированных программных комплексов для дешифрирования космических снимков. Однако здесь есть простор для дальнейшей работы – в первую очередь необходимо свести имеющиеся разработки в единую сис-

тему автоматизированного картографирования, разработать способы автоматизированной оценки динамики явления.

В этом отношении заслуживает особого внимания ранее не отмечавшаяся в исследованиях по опустыниванию тенденция развития проградационных явлений как результата естественных климатических и геологических процессов или результата продуманной мелиоративной деятельности человека. Выявление такого рода тенденций позволяет по-новому взглянуть на подходы к оценке опустынивания и деградации почв.

Большой интерес представляет также развитие исследований в направлении районирования опустынивания, и в первую очередь детализация до уровня районов и даже подрайонов, что позволит расширить представления об основных трендах, степенях, скоростях опустынивания, разработать районирование опустынивания для применения его в хозяйственных целях с рекомендациями в области борьбы с деградацией земель.

### *Литература*

- Аветян С.А., Андреева О.В., Куст Г.С. Обоснование подходов к концептуальному теоретическому и картографическому моделированию сопряженных почвенных процессов на территории юга Русской равнины в голоцене// Роль почв в биосфере: Тр. Ин-та почвоведения МГУ-РАН. Вып.2., Москва-Тула, 2003. С. 50-98.
- Александровский А.Л. Развитие почв Восточной Европы в голоцене. Автореф. докт. дисс. М., 2002. 48 с.
- Александровский А.Л. Эволюция почв Восточно-европейской равнины в голоцене. М., Наука, 1983. 150 с.
- Александровский А.Л. Эволюция почвенного покрова // Почвоведение, 1995, №3. С.291-296.
- Александровский А.Л. Эволюция черноземов в регионе среднего течения Дона в голоцене // Почвоведение, 1984, №11. С.5-13
- Андреева О.В., Куст Г.С. Географическое районирование опустынивания полузасушливой и засушливой зон России. Доклады по экологическому почвоведению, выпуск 2, № 2, 2006. С. 21-52.
- Ахтырцев Б.П. , Ахтырцев А.Б. Эволюция почв Средне-Русской лесостепи в голоцене// Эволюция и возраст почв СССР. Пущино, 1986. с. 163-173
- Геннадиев А.Н. и др. Естественная и антропогенная эволюция почвенного покрова Западного Прикаспия // Вестник Московского Университета. Сер. 5, география. 1993, №1. С. 98-105.
- Геннадиев А.Н. Почвы и время: модели развития. М.: МГУ, 1990. 232 с.
- Геннадиев А.Н., Пузанова Т.А. Эволюция почвенного покрова Западного Прикаспия в голоцене // Почвоведение, 1994, №2. С. 5-15.
- Демкин В.А. Иванов И.В. Развитие почв Прикаспийской низменности в голоцене. Пущино, 1985. 165с.
- Демкин В.А. Палеопочвоведение и археология. Пущино, 1997. 213с.

- Демкин В.А., Рысков Я.Г., Демкина Т.С. Погребенные почвы в песках степного Приуралья как индикаторы палеоэкологических условий в голоцене // Почвоведение, 1997, №11. С.1293-1305.
- Демкин В.А., Рысков Я.Г., Русанов А.М. Изменение почв и природной среды степного Предуралья во второй половине голоцена // Почвоведение, 1995, №12. С.1445-1452.
- Динесман Л.Г. Биогеоценозы степей в голоцене. М., Наука, 1977, 160 с.
- Залетаев В.С. Экологически дестабилизированная среда (экосистемы аридных зон в изменяющемся гидрологическом режиме). М.: Наука, 1989. 148 с.
- Золотун В.П. Развитие почв юга Украины за последние 45-50 веков. Автореф. Дисс. Докт. С-х наук. Киев, 1974. 74 с.
- Иванов И.В. Васильев И.Б. Человек, природа и почвы Рын-песков Волго-Уральского междуречья в голоцене. М.: Интеллект, 1995. 264 с.
- Иванов И.В. Демкин В.А. Проблемы генезиса и эволюции степных почв: история и современное состояние // Почвоведение. 1996 №3. С.324-334.
- Иванов И.В. Эволюция почв степной зоны в голоцене. М.: Наука, 1992.144с.
- Карта почвенно-экологического районирования Восточно-Европейской равнины (1: 2500 000). Под ред. Г.В. Добровольского, И.С. Урусевской. 1997.
- Ковда В.А. Происхождение и режим засоленных почв. Т1 М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1946. 253 с.
- Ковда В.А. Самойлова Е.М. О возможности нового понимания истории почв Русской равнины // Почвоведение, 1966, № 9. С. 1-12.
- Комплекс мер по борьбе с опустыниванием. 11 Ноября 2010. Пресс-служба Минприроды России. [http://www.mnr.gov.ru/news/detail.php?ID=126444&phrase\\_id=74819](http://www.mnr.gov.ru/news/detail.php?ID=126444&phrase_id=74819)
- Конвенция Организации Объединённых Наций по борьбе с опустыниванием в тех странах, которые испытывают серьёзную засуху и/или опустынивание. UN General Assembly. A/AC.241/27. 12 September 1994. RUSSIAN. Original: ENGLISH. <http://www.unccd.int/convention/text/pdf/conv-rus.pdf>. 66 с.
- Конкурсная документация участникам открытого конкурса на право заключения Государственного контракта на выполнение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ для государственных нужд в сфере деятельности Минприроды России за счет средств федерального бюджета по базовым проектам природоохранного направления. Минприроды Россиию 2011. [http://gumis.itenders.ru/tender\\_podrob\\_new.asp?KodTendera=3013160](http://gumis.itenders.ru/tender_podrob_new.asp?KodTendera=3013160). 73 с
- Куст Г.С. О постгидроморфной эволюции почвенного покрова водноаккумулятивных равнин засушливых территорий // Почвоведение, 1993, № 12.

- Куст Г.С. О роли почв в явлении опустынивания и путях ее изучения. // Проблемы освоения пустынь. 1991. № 5. С.3-12.
- Куст Г.С. О направлениях эволюции почвенного покрова при опустынивании. // Вестник МГУ. Сер. Почвоведение. № 2. 1992. С.15-19.
- Куст Г.С. О постгидроморфной эволюции почвенного покрова водноаккумулятивных равнин засушливых территорий // Почвоведение. 1993. № 12.
- Куст Г.С. Опустынивание: принципы эколого-генетической оценки и картографирования. М., 1999. 362 с.
- Куст Г.С., Аветян С.А., Андреева О.В. Роль эволюционных подходов В.А.Ковды в оценке особенностей генезиса почв засушливых территорий при опустынивании. Почвоведение, №12, 2004.
- Куст Г.С., Андреева О.В., Аветян С.А. К вопросу о картографическом моделировании эволюции почвенного покрова Русской равнины в голоцене // Вестник МГУ, СЕР. Почвоведение, № 4, 2004
- Куст Г.С., Глазовский Н.Ф., Андреева О.В., Шевченко Б.П., Добрынин Д.В. Основные результаты по оценке и картографированию опустынивания в Российской Федерации // Аридные экосистемы, Том 8, № 16, 2002а. С. 7-27.
- Куст Г.С., Глазовский Н.Ф., Андреева О.В., Шевченко Б.П., Добрынин Д.В.. Опустынивание, засухи и деградация почв // Деградация и охрана почв. Коллективная монография. Москва, 2002б. С. 551-600.
- Маданов П.В., Войкин Л.М. и др. Вопросы палеопочвоведения и эволюции почв Русской равнины в голоцене. Издательство Казанского университета, 1967. 124 с.
- Перечень поручений Президента РФ по итогам состоявшегося 27 мая заседания президиума Государственного совета, посвященного реформированию системы государственного управления в сфере охраны окружающей среды. Поручение № Пр-1640, п.1а от 7 июня 2010 года. <http://kremlin.ru/assignments/7980>
- Розанов Б.Г., Зонн И.С. План действий по борьбе с опустыниванием в СССР: оценка, мониторинг, предупреждение и борьба с ним // Проблемы освоения пустынь. 1981, N 6, с.22-31.
- Самойлова Е.М. Луговые почвы лесостепи. М.: МГУ, 1981. 284 с.
- Самойлова Е.М., Толчельников Ю.С. Эволюция почв. М.: МГУ, 1991. 90 с.
- Соколов И.А., Караваева Н.А., Александровский А.Л., Иванов И.В. Эволюция почв, понятия и термины, опыт разработки. // Эволюция и возраст почв СССР. Пушино, 1986. с 5-22.
- Таргульян В.О. Развитие почв во времени// Проблемы почвоведения. М., Наука, 1982. с. 108-113
- Хотинский Н.А. Взаимоотношение леса и степи по данным палеогеографии голоцена // Эволюция и возраст почв СССР. Пушино, 1986. С. 46-53.
- Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. М., Наука, 1978. 200 с.

- Dregne H.E. Reflections on the PACD // Desertification Control Bulletin. 1987. No 5. P. 8.
- Mabbutt J.A. A new global assessment of the status and trends of desertification // Environmental Conservation. 1989. V.11. P. 103.
- Odingo R.S. The management of environmental degradation, particularly drought and desertification aspects, in the implementation of the African priority programme for economic recovery (APPER). Report for Economic Commission for Africa. Addis-Ababa. Ethiopia. 1989. 128 p.
- Roazanov B.G. Global assessment of desertification: status and methodologies — Addendum // Desertification revisited. Proc. of an Ad-Hoc Consultative Meeting on the assessment of desertification. UNEP-DC/PAC. Nairobi. 1990. P. 95.
- Status of Desertification and Implementation of the UN Plan of Action to Combat Desertification. Report of the executive director. UNEP/GCSS. 111/3. October 1991. Nairobi. February 1992.
- UNCOD. Overview Document of UNCOD (A/CONF. 74/1/Rev.1). UN. New-York. 1978.
- World Bank. Dryland management: the desertification problem . By Ridley, Nelson. Working paper No 8. 1988.

## **Образование и поглощение парниковых газов в почвах**

### ***Введение***

Крупномасштабные глобальные изменения природной среды в настоящее время становятся все более очевидными. Они прослеживаются на различных уровнях во всех геосферах Земли (включая педосферу) и оказывают все возрастающее влияние на развитие человеческого общества. Причинами глобальных изменений являются как естественные колебания в развитии природных процессов под воздействием планетарной эволюции Земли, мощного воздействия гелиокосмических факторов, так и нарастающая активность человека.

Главным фактором глобальных изменений в XX столетии и в настоящее время является прогрессирующее потепление климата (IPCC, 2001), которое продолжается уже больше 100 лет (Современные глобальные изменения природной среды, 2006).

Одним из наиболее распространенных предположений о причине возникновения глобального потепления является накопление в атмосфере в результате техногенных выбросов различными отраслями промышленности таких газов, как диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), метан ( $\text{CH}_4$ ), закись азота ( $\text{N}_2\text{O}$ ) и другие, молекулы которых задерживают длинноволновую часть излучаемой земной поверхностью радиации и создают парниковый эффект, содействуя саморазогреву атмосферы.

В соответствии со сверхдолгосрочными климатическими прогнозами ведущих климатологов мира можно ожидать общее повышение средней глобальной температуры воздуха к концу текущего столетия более чем на  $4^\circ\text{C}$ . Такое мощное изменение климата Земли, если оно произойдет, будет впервые за последние 70 тыс. лет.

Поскольку масштабы потепления с каждым годом возрастают, существует определенная обеспокоенность мировой общественности возникновением негативных последствий развития этого процесса. Поэтому в 1992 г. подписана Рамочная Конвенция ООН по изменению климата, а в 1997 г. - Киотский протокол, как ее дополнение. Согласно ему, развитым странам следует сократить к 2008-2012 гг. свои совокупные выбросы парниковых газов, по меньшей мере, на 5%.

В то же время накапливающиеся научные исследования все больше убеждают многих ученых в том, что в настоящее время не существует достаточно убедительных доказательств определяющего воздействия промышленной деятельности человека на глобальное потепление климата. Об этом свидетельствует первая волна потепления 1930-1940-х годов, происходящая на сравнительно низком уровне парниковых газов в атмосфере, а

последующее похолодание 1950-1960-х годов не увязывается с постоянным нарастанием количества газовых выбросов в атмосфере.

По данным С.П. Горшкова (1998), стабилизация и снижение индустриальной эмиссии  $\text{CO}_2$  в период 1980-1987 гг. в результате изменения мирового потребления ископаемого топлива, производства цемента и некоторых других ограничений в промышленности по выделению парниковых газов никак не повлияло на процесс увеличения  $\text{CO}_2$  в атмосфере.

Этот вывод базируется на представлении о том, что основным источником парниковых газов являются процессы сжигания топлива. Такая постановка вопроса не учитывает воздействие человека на почвенный покров – а именно интенсификацию сельского хозяйства в этот период времени, значительный рост объемов применения минеральных удобрений во всем мире. Поэтому дальнейшее недопонимание экологической роли почвенного покрова планеты, пренебрежение вопросами сохранения и охраны почв, их роли в формировании современной атмосферы Земли и функции регуляции содержания парниковых газов в атмосфере может оказать негативное воздействие на стратегию поиска решений, направленных на снижение угрозы глобального потепления климата. Настоящая глава позволяет по-новому взглянуть на функцию педосферы в процессах образования и поглощения парниковых газов, роль почв в формировании современной атмосферы Земли.

### ***Парниковый эффект***

Важность атмосферных газов и примесей, с точки зрения климатообразования, определяется их оптической активностью, влияющей на формирование радиационно-теплового баланса системы Земля-атмосфера. Атмосферные компоненты способны поглощать, рассеивать и отражать обратно в космос приходящую коротковолновую солнечную радиацию, а также задерживать уходящее от земной поверхности тепловое длинноволновое излучение, создавая парниковый эффект.

Уходящая от поверхности и нижних слоев атмосферы длинноволновая радиация приходится на так называемое "окно прозрачности" Земли, находящееся в диапазоне длин волн 8-12 мкм. В этом "окне" практически отсутствуют полосы поглощения водяного пара. Здесь же, в соответствии с функцией Планка для излучения абсолютно черного тела, при типичных для атмосферы температурах максимальна интенсивность уходящего излучения (80%). Именно в этом диапазоне минимально его поглощение в атмосфере. Тем чувствительнее поток уходящего излучения к концентрации газов, поглощающих в этом "окне прозрачности" и, таким образом, уменьшающих выхолаживание нижней атмосферы и подстилающей поверхности. В этом диапазоне лежат полосы поглощения малых газовых составляющих, таких, как  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , а также фреонов.

Сравнительно небольшие изменения в концентрации этих газов могут значительно влиять на интенсивность потока уходящей длинноволновой радиации. Например, удвоение концентрации  $\text{CO}_2$  может привести к усилению парникового эффекта на 10-20% (IPCC, 2001).

Влияние состава атмосферного воздуха на экологическое состояние окружающей среды становится особенно заметным при резких изменениях концентраций отдельных компонентов. Резкое увеличение поступления в атмосферу примесей антропогенного происхождения произошло с развитием сельского хозяйства, промышленности, энергетики и транспорта. Наибольшую опасность с этой точки зрения представляют применение минеральных удобрений в сельском хозяйстве, животноводство, черная и цветная металлургия, тепловые электростанции, автомобильный транспорт, предприятия химической промышленности. Основными загрязнителями являются оксиды углерода, оксиды азота, метан, сернистые соединения, сажа, летучая зола, промышленная пыль. Многие выбрасываемые в атмосферу вещества не опасны сами по себе, но при взаимодействии с другими могут образовывать вредные для окружающей среды соединения.

Атмосферный углерод присутствует в составе различных органических и неорганических соединений. Из углеродных соединений в атмосфере наиболее распространен  $\text{CO}_2$ .

Диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ) с точки зрения химической активности довольно инертен, если не считать больших высот, где он может подвергаться фотодиссоциации. Его количество в атмосфере оставалось стабильным, по крайней мере, на протяжении 8 веков, но после 1850 г. возросло с 280 *ppm* до почти 360 *ppm*. Объемное содержание  $\text{CO}_2$  в воздухе в настоящее время составляет в среднем 0,034%, что соответствует примерно  $2,5 \cdot 10^{15}$  кг.

Антропогенные источники  $\text{CO}_2$  в атмосфере - сельское хозяйство, сжигание топлива, производство цемента. Природные источники углекислого газа в атмосфере — микробное разложение органического вещества в почвах и водных экосистемах, дыхание животных и корней растений, окисление углеводов, пожары, вулканы. Поступление  $\text{CO}_2$  в атмосферу с поверхности океана происходит в процессе деятельности океанической биоты. Наиболее интенсивен поток  $\text{CO}_2$  из океана в экваториальных и субтропических широтах, особенно в районах подъема глубинных вод (апвеллинга), обогащенных углекислым газом (Современные..., 2006).

Диоксид углерода является основным регулятором карбонатного равновесия в системе океан-атмосфера, от которого зависит pH океана, условия существования океанической биоты и режим гидрохимических процессов. Увеличение содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере приводит к падению pH морской воды. В течение последних 500 лет pH поверхностного слоя океанической воды постепенно понижается.



Регулярные наблюдения за концентрацией  $\text{CO}_2$  в атмосфере ведутся с 1957 г. Поглощение  $\text{CO}_2$  контролируется в процессе фотосинтеза (поглощение) и дыхания (выделения) в зависимости от возраста и состава растительности, типа почв и запасов микробной биомассы. Содержание  $\text{CO}_2$  меняется в течение суток. В приземных слоях атмосферы эти изменения зависят от режима дыхания и фотосинтеза. Например, над полем сахарной свеклы в течение дня с хорошей погодой минимальные концентрации  $\text{CO}_2$  наблюдаются перед закатом, самые высокие - перед восходом Солнца. Сезонный характер изменений  $\text{CO}_2$  наиболее ярко выражен в северном полушарии. Максимум содержания  $\text{CO}_2$  наблюдается весной, в период интенсивного роста растений, минимум - осенью, когда рост растений замедляется. Лучше выражен сезонный ход над лесами умеренных широт. Над тропическими лесами сезонные циклы практически отсутствуют.

Следующим, наиболее распространенным углеродсодержащим микрокомпонентом атмосферы является *метан* ( $\text{CH}_4$ ). Большая его часть имеет биологическое происхождение, поэтому метан имеет глобальное распространение. Другие органические вещества попадают в атмосферу от антропогенных источников (транспорт, промышленность), поэтому максимумы их концентраций приурочены к городам.

Глобальный поток метана в атмосферу оценивается в 410-660 Тг/год (IPCC, 2001). Поступление метана за счет природных источников - 160 Тг/год, где основной вклад вносит эмиссия из переувлажненных почв и территорий (болот, побережий озер, рек и океанов). Вклад антропогенных источников - 375 Тг/год. Из них 100 Тг/год выбрасывается в атмосферу при сжигании ископаемого топлива и промышленных процессов, сопутствующих его добыче. Важными источниками  $\text{CH}_4$  являются: ферментация в кишечниках рогатого скота и термитов (65-100 Тг/год), рисовые чеки (20-100 Тг/год), сжигание биомассы (20-80 Тг/год), мусорные свалки (20-70 Тг/год), отходы животноводства и птицеводства (20-30 Тг/год).

Выведение метана из атмосферы осуществляется за счет окисления его гидроксильным радикалом (360-530 Тг/год), перехода в стратосферу (32-48 Тг/год) и поглощения почвой (15-45 Тг/год). В целом метан химически довольно инертен, что определяет его длительное пребывание в атмосфере - около 10-12 лет.

За постиндустриальный период содержание метана в атмосфере выросло более чем в два раза. Это связывается прежде всего с развитием сельскохозяйственного производства (рост объемов производства риса, масштабов использования минеральных удобрений, интенсивное животноводство и др.), а также увеличением количества сжигаемого ископаемого топлива. Поскольку метан - важный парниковый газ, то с ростом его содержания связывают наблюдаемое повышение средней глобальной температуры воздуха за последние 100 лет.

$N_2O$  (монооксид азота I или закись азота) был открыт в составе атмосферного воздуха в 1938 году при изучении полос поглощения солнечного спектра. В течение последующих 30 лет  $N_2O$  не привлекал большого внимания, поскольку не являлся слишком активным с химической точки зрения, и не представлял опасности как загрязнитель атмосферы. До сих пор не выявлены газофазные реакции с  $N_2O$ , выводящие  $N_2O$  из атмосферы. В стратосфере  $N_2O$  подвергается фотолизу, а также взаимодействует с возбужденными атомами кислорода, образуя NO.

NO негативно влияет на содержание озона в стратосфере, способствуя развитию каталитических циклов разрушения озона азотными соединениями. Поэтому  $N_2O$  косвенно определяет изменения концентрации озона. Кроме того,  $N_2O$  является парниковым газом, и хотя его концентрации несравнимо меньше по сравнению с  $CO_2$ , но  $N_2O$  обладает очень длительным временем пребывания в атмосфере ( $150 \pm 50$  лет) и хорошо поглощает излучение с длинами волн 4-7 мкм. На единицу массы вещества глобальный парниковый потенциал  $N_2O$  в 300 раз больше, чем для  $CO_2$ .

Большая часть  $N_2O$  сосредоточена в тропосфере. Максимальные его концентрации наблюдаются в тропиках. Средние концентрации  $N_2O$  в тропосфере составляют около 300 *ppm*. Его формирование происходит в основном в почвах с участием денитрифицирующих и нитрифицирующих бактерий. Наиболее важными источниками  $N_2O$  в атмосфере являются сельскохозяйственные и тропические почвы. Поток  $N_2O$  из почв зависит от температуры поверхностного слоя и имеет суточные и сезонные колебания. Максимум потока из почвы приходится на полуденные часы и летний сезон, в особенности, когда верхний слой почвы увлажнен. Внесение азотных удобрений в почву увеличивает последующий поток  $N_2O$  в атмосферу.

Океаническая биота также является важным источником атмосферного  $N_2O$ . Измерения показывают, что поверхностные воды океана обогащены  $N_2O$  по сравнению с ожидаемыми значениями для равновесного распределения его содержания между водой и атмосферой. Очень насыщены  $N_2O$  холодные воды, которые выделяют закись азота (как и  $CO_2$ ) при подъеме глубинных океанических вод на поверхность.

Выведение  $N_2O$  из атмосферы осуществляется главным образом за счет фотохимической диссоциации в стратосфере (~90%), в реакциях с возбужденными атомами кислорода, а также в реакциях биологического поглощения, например, денитрифицирующими бактериями (восстанавливается до  $N_2$  ферментом  $N_2O$  - редуктазой).

Антропогенные источники  $N_2O$  - сельское хозяйство, животноводство, промышленное сжигание биомассы. В течение постиндустриального периода содержание  $N_2O$  в атмосфере увеличилось приблизительно на 15%, достигнув 311 *ppb*.

### ***Образование и поглощение парниковых газов в почвах***

Газовый состав почвенного воздуха в основном определяется деятельностью микроорганизмов. В почве формируется множество микростран с различным составом газов, в которых развитие микроорганизмов идет в совершенно разных условиях.

Внутри почвенных агрегатов содержится заземленный воздух, который с большим трудом подвергается обменным процессам. Это дает возможность для развития в близком соседстве аэробных и анаэробных микроорганизмов, например, метанобразующих и метанооксилирующих бактерий (Wagner et al., 1999). Наличие анаэробных зон внутри почвенных агрегатов объясняет возможность протекания анаэробных процессов даже в аэрируемых почвах (Wang et al, 1995, 1999).

Изучение газообмена в микространах неоднократно осуществлялось в модельных экспериментах; однако, эти результаты нельзя переносить на всю почву в целом. Микробное население агрегатов можно рассматривать как составляющее комплекса почвенных микроорганизмов, функционирующего как единое целое (Звягинцев, 1987).

Хорошо известно, что почвенный воздух содержит больше углекислого газа и меньше кислорода, чем атмосферный. Кроме того, почвенный воздух всегда содержит некоторое количество парообразной воды, которая имеет большое значение в перераспределении воды по отдельным микространам и выравнивании потенциала влаги во всей почвенной массе. Согласно имеющимся данным, большую часть времени почвенный воздух в ряде зон близок к насыщению водяными парами. В составе почвенного воздуха присутствуют и многие другие газы - метан, этан и прочие углеводороды, азот и его окислы, сероводород и прочие, большинство из которых продуцируются микроорганизмами (Звягинцев, 1987).

Благодаря соседству и многократному чередованию аэробных и анаэробных микростран, а также сложной системе пор, по которым движутся газы, почва представляет собой совершенную ловушку для газообразных продуктов. Поверхность пор, капилляров и агрегатов заселена микроорганизмами, которые имеют возможность быстро перехватывать диффундирующие газы. Поэтому считается, что только небольшой части микрогазов и летучих органических веществ удается вырваться наружу в атмосферу.

Постоянному присутствию газов в почве во многом способствует характерный для мира микробов принцип дублирования функций (Звягинцев и др., 2005): любой существенный физиолого-биохимический процесс в почве может осуществляться микроорганизмами разных видов. Например, многие микроорганизмы выделяют и используют метан, угарный газ, этилен и т.д. В случае, если создаются условия, неблагоприятные для жизнедеятельности одного вида микроорганизма, начинают проявлять активность какие-либо другие микробы, в результате чего этот фактор находится под микробным контролем.

Некоторые газы могут использоваться только в аэробных условиях. Например, окисление метана, этилена и окиси углерода идет преимущественно в аэробных условиях (Заварзин, 2003). Вследствие обмена газами между другими компонентами биогеоценоза оценка продукции микрогазов в почвах представляет сложную задачу.

Антропогенное воздействие, связанное с промышленным выделением газов, может ощутимо влиять на газовое равновесие в биосфере, причем микроорганизмы не всегда могут "справиться" с возросшей газовой нагрузкой (Умаров, 1998). Наиболее характерно это для серы и ее окислов, содержание которых в почве и атмосфере неуклонно возрастает (эффект "кислотных дождей"). С другой стороны, буферная емкость (резерв) почвенных микроорганизмов в отношении разнообразных окислов азота оказывается очень большой. При возникновении избытка азотных соединений в почве микробы проводят процессы денитрификации и нитрификации, и выбрасывают их в виде молекулярного азота в атмосферу (Звягинцев, 1987).

Считается, что анаэробные условия формируются внутри почвенных агрегатов за счет активного поглощения кислорода на их поверхности в результате окисления органического вещества. Для проверки этого предположения определяли скорость эмиссии  $\text{CO}_2$  из агрегатов разного диаметра после обогащения почвы глюкозой. Как следует из полученных нами данных, динамика накопления  $\text{CO}_2$  в газовой фазе носила экспоненциальный характер. Причем с ростом удельной поверхности агрегатов (т.е. уменьшением их диаметра) наблюдалось возрастание концентрации  $\text{CO}_2$  в газовой фазе. Так, накопление диоксида углерода для агрегатов диаметром 2 мм составило 17,7 мг/г почвы, для агрегатов размером 6 мм и 10 мм - 14,72 и 9,8 мг/г почвы, соответственно. Доверительные интервалы, рассчитанные по критерию Стьюдента для каждого значения концентрации газа, позволяют утверждать, что эти различия были достоверны для всех сроков наблюдений. Следовательно, можно заключить, что окисление органического вещества в почвах наиболее интенсивно протекает на поверхности почвенных агрегатов. Результатом этого процесса может быть формирование анаэробных зон внутри агрегатов, вследствие поглощения кислорода в их периферической части.

Образование и эмиссия метана. Одновременно с выделением закиси азота наблюдалась эмиссия метана из почвенных агрегатов всех исследуемых размеров (включая агрегаты наименьшего диаметра - 2 мм) в присутствии атмосферного кислорода во внешней среде. Для этого содержание кислорода во флаконах в течение всего эксперимента поддерживалось на уровне 20-17% путем регулярного введения во флаконы атмосферного воздуха. Количество метана, выделившегося из почвенных агрегатов за время эксперимента, было пропорционально их диаметру и составило 3,14; 3,37 и 3,7 нг  $\text{C-CH}_4/\text{г}$ . Полученные результаты указывают на возможность

функционирования внутри почвенных агрегатов от 2 до 10 мм в диаметре строго анаэробных бактерий, таких как метаногены, даже в присутствии кислорода в окружающем агрегаты пространстве.

Таким образом, результаты исследований показывают, что из агрегатов диаметром 2-3 мм выделяются продукты анаэробного микробного метаболизма, такие как закись азота и метан. Эта закономерность хорошо подтверждается и данными о быстром падении окислительно-восстановительного потенциала и созданием анаэробных условий в агрегатах диаметром менее 10 мм (Степанов с соавт., 1997).

Выделение  $N_2O$  из агрегатов разного диаметра. Изучение эмиссии  $N_2O$  также показало, что существует пропорциональная зависимость между потоком закиси азота и размерами почвенных агрегатов. Результаты эксперимента свидетельствуют о том, что внутри агрегатов складываются анаэробные зоны, где активно протекает процесс денитрификации. Для агрегатов 4; 8 и 10 мм в диаметре концентрация  $N_2O$  достигала 0,72; 6,7 и 7,2 мкг/г, соответственно. Выделение  $N_2O$  из самых маленьких агрегатов (размером 2 мм) в первый период после начала измерений было на пределе чувствительности катарометра, использованного для определения закиси азота. Поэтому образование  $N_2O$  в этом варианте опыта удалось зафиксировать только на пятые сутки после начала эксперимента – 0,026 мкг/г за сутки.

Как известно, почвенные агрегаты различаются на водопрочные и неводопрочные, то есть те, которые могут менять свою структуру в зависимости от влажности, например при переувлажнении. При этом агрегаты большего диаметра складываются из водопрочных агрегатов меньшего размера, которые в течение длительного времени сохраняют свою форму и являются одним из диагностических признаков почв. Весьма вероятно, что именно водопрочные агрегаты являются основными центрами в почве, где осуществляется процесс денитрификации. С целью выяснения их роли в образовании и потреблении  $N_2O$  в почвах нами были выделены водопрочные агрегаты из почв разных типов.

Исследование образования конечных продуктов денитрификации в водопрочных агрегатах почв разных типов показало, что сразу после внесения глюкозы основным продуктом денитрификации является закись азота ( $N_2O$ ). Лишь через 3-6 суток, в зависимости от типа почвы, концентрация ее начинала снижаться, и соответственно, возрастала доля молекулярного азота. Так, концентрация  $N_2O$  снижалась до минимального уровня в черноземе и серой лесной почве к 3-5 суткам, а в дерново-подзолистой почве - лишь к 23 суткам. В буроземе закись азота оставалась доминирующим продуктом денитрификации на протяжении всего эксперимента, где на ее долю приходилось не менее 40% от общей суммы газообразных потерь азота в процессе денитрификации, даже к 25 суткам опыта.

Динамика выделения молекулярного азота из агрегатов почв разных типов носила иной характер; так, выделение  $N_2$  в течение первых 2-3 суток не наблюдалось ни в одном варианте опыта. Затем, по мере восстановления закиси азота денитрифицирующими микроорганизмами внутри почвенных агрегатов, происходило накопление молекулярного азота в газовой фазе над образцами. При этом в черноземе, серой лесной и дерново-подзолистой почвах наибольшее значение концентрации  $N_2$  приходилось на 3, 5 и 25 сутки, соответственно. В агрегатах почв этих типов к этому времени закись азота полностью переходила в  $N_2$ . Исключением являлись образцы бурозема, где восстанавливалась примерно половина  $N_2O$ .

С целью выявления зависимости образования конечных продуктов денитрификации от размера водопрочных агрегатов была проведена математическая обработка результатов путем численного интегрирования по времени. Изучение соотношения конечных продуктов денитрификации - закиси азота и молекулярного азота, выделяющихся в первый период после поступления органического вещества и увлажнения из водопрочных агрегатов почв различных типов показало, что прослеживается четкая зависимость между диаметром агрегатов и составом продуктов денитрификации. Общим свойством всех почв было то, что с увеличением размера агрегата возрастает доля молекулярного азота и сокращается доля закиси азота. Так, для чернозема обыкновенного в агрегатах диаметром от 0,2 до 2 мм основным продуктом денитрификации в этот период была закись азота, в то время как в агрегатах диаметром 2-5 мм картина менялась, и начинал доминировать молекулярный азот. Пограничный диаметр почвенных агрегатов, в которых образовавшаяся  $N_2O$  полностью восстанавливается до  $N_2$ , для почв разных типов варьирует от 1,0 до 5,0 мм. Исключением является бурозем, где даже в агрегатах большего диаметра доля закиси азота в газообразных продуктах денитрификации не опускалась ниже 40%.

Подчеркнем в этой связи, что агрегаты диаметром 2-3 мм, являясь агрономически наиболее ценными, представляют интерес и с экологической точки зрения. Эти агрегаты, преобладая в хорошо оструктуренных почвах, обеспечивают преобладание молекулярного азота в конечных продуктах денитрификации.

Изучение соотношения закиси азота и молекулярного азота в конечных продуктах денитрификации в зависимости от размера агрегатов показало, что для чернозема и серой лесной почвы в агрегатах 0,25-3 мм доминирующим продуктом денитрификации является закись азота, в то время как в агрегатах большего диаметра (3-5 мм) - преимущественно молекулярный азот. Для дерново-подзолистой почвы и бурозема закись азота являлась основным продуктом денитрификации в агрегатах 0,25-2 мм, а в агрегатах большего диаметра при доминировании эмиссии  $N_2$ , доля закиси азота составляла не ниже 20% (для бурозема - 40%).

Таким образом, изучение образования и поглощения окислов азота денитрифицирующими микроорганизмами в водопрочных агрегатах почв разных типов показало, что с увеличением размера агрегатов возрастает доля молекулярного азота и сокращается доля закиси азота в конечных продуктах денитрификации. Эта закономерность прослеживалась во всех изученных почвах (черноземе, серой лесной, дерново-подзолистой) за исключением бурозема, где  $N_2O$  даже в агрегатах большего размера доминировал в газовой фазе. В целом, для водопрочных агрегатов диаметром 0,25-3 мм доминирующим продуктом денитрификации являлась закись азота, в то время как для агрегатов 3-5 мм в диаметре - молекулярный азот.

Исключение составил бурозем, в котором молекулярный азот не являлся единственным продуктом денитрификации для агрегатов даже наибольшего из исследуемых диаметров (5мм). Вероятно, это обусловлено низким значением pH (3,5-4), при котором происходит ингибирование редуктазы закиси азота, осуществляющей в клетках бактерий восстановление  $N_2O$  до молекулярного азота (Манучарова с соавт., 2001).

Характерно, что кислая реакция этих почв, по всей видимости, обусловила и особый характер выделения окиси азота (NO). Как отмечалось, в силу своей высокой активности окись азота является соединением, регулирующим многие жизненно важные процессы метаболизма микроорганизмов, растений и животных (Ogden, Moor, 1995). Считается, что в почве она быстро перехватывается микробным сообществом почв и поэтому никогда не выделяется в атмосферу (Kester, 1997). Как показали результаты наших исследований, выделение NO наблюдалось только из кислых почв - бурозема и серой лесной, причем с увеличением размера агрегатов доля окиси азота сокращалась. В то же время в почвах других типов эмиссию окиси азота нам обнаружить не удалось, даже с помощью высокочувствительного хемилюминесцентного детектора.

Таким образом, можно заключить, что разрушение почвенной структуры или распыление почв будет сопровождаться возрастанием доли закиси азота, а в некоторых случаях и окиси азота в газообразных продуктах денитрификации.

Объяснение этому явлению состоит в следующем: в тонкодисперсных агрегатах размер анаэробной зоны настолько мал, что, проходя через нее, закись азота не успевает восстановиться в молекулярную форму и выделяется в атмосферу.

Этот вывод, основанный на данных лабораторных экспериментов, был подтвержден затем в лизиметрическом опыте ВНИПТИХИМ. Исследуемая дерново-подзолистая почва лизиметров, засеянная кукурузой, на 66% состояла из агрегатов диаметром менее 0,25 мм, в то время как агрономически ценной структурой являются агрегаты диаметром 1-3 мм (Шеин, 2005). Наши исследования показали, что процесс денитрификации в этой почве проходил преимущественно до закиси азота, причем внесение

азотных удобрений приводило лишь к возрастанию общей активности денитрификации, в то время как соотношение газообразных продуктов этого процесса оставалось постоянным.

Значимым источником парниковых газов на территории России являются торфяные и болотные почвы, подвергавшиеся процессу осушения и сельскохозяйственного освоения. Так, в осушенных торфяных почвах длительного сельскохозяйственного использования до 92% потерь углерода осуществляется в виде углекислого газа. В неосушенных торфяниках от 45 до 80% углерода теряется в виде метана.

В почвах длительного сельскохозяйственного использования при понижении уровня грунтовых вод наблюдается максимум активности дыхания и возрастает эмиссия закиси азота. Большую часть вегетационного периода доминирует процесс поглощения метана, эмиссия метана значительно возрастает лишь при существенном повышении уровня грунтовых вод в осенний период.

С увеличением сроков использования торфяных почв уменьшается интенсивность образования парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ). Торфяные почвы после 90 лет использования выделяют в 2 раза меньше парниковых газов по сравнению с торфяными почвами 60 лет использования, и в 5-6 раз меньше по сравнению с торфяными почвами после 30 лет использования.

Внесение аммонийных и нитратных соединений азота в почвы приводит к возрастанию эмиссии метана. В исследованных торфяных почвах внесение хлорида аммония вызывало снижение интенсивности поглощения метана в результате конкурентного ингибирования процесса окисления метана (Новиков, Степанов, 1999)

В целях снижения эмиссии парниковых газов на мелиорируемых низинных торфяниках не рекомендуется ежегодное выращивание пропашных культур, которое приводит к образованию плужной подошвы – месту формирования анаэробных зон – источников метана и закиси азота. Напротив, залужение многолетними травами формирует более благоприятное и равномерное соотношение твердой фазы, воды и воздуха и приводит к снижению эмиссии этих газов из почв в атмосферу.

Отличительной особенностью высокогорных почв является аккумуляция большого количества углерода и азота в составе относительно слабогумифицированного органического вещества. Основная причина, определяющая эту особенность горно-луговых почв, заключается в том, что активность микробных процессов в экстремальных условиях высокогорий невысока - резкие колебания температуры, короткий вегетационный период и высокая кислотность почвы определяют медленную минерализацию органических соединений и, как следствие, дефицит важнейших биофильных элементов, определяющих продуктивность альпийских фитоценозов. Считается, что в силу этих обстоятельств активность азотфиксации в вы-



сокогорных почвах не может быть высокой, поэтому возникает вопрос о том, за счет чего обеспечивается высокое разнообразие и продуктивность альпийских растительных сообществ, каков механизм, покрывающий дефицит азота в альпийских почвах. Особый интерес представляют исследования эталонных горно-луговых почв Тебердинского государственного заповедника. Следует отметить, что последнее исследование микробной трансформации азота и углерода в альпийских почвах хребта Малая Хатипара проводилось в 1988 г. (Степанов, Онопченко, 1989), что дает дополнительную возможность проследить за динамикой развития микробных сообществ в горно-луговых альпийских сообществах за длительный период.

Обнаружена повышенная активность фиксации молекулярного азота из атмосферы в альпийских лишайниковых пустошах, расположенных в верхней части склона хребта Малая Хатипара, за счет азотфиксирующего симбионта лишайников и высокого уровня симбиотической азотфиксации, благодаря развитию на этой территории особого вида клевера (*Trifolium polyphyllum*), встречающегося исключительно в альпийских сообществах. Впервые показано, что альпийские лишайниковые пустоши играют определяющую роль в обеспечении азотом остальных альпийских сообществ, расположенных ниже по катене. В альпийских коврах, аккумулирующих влагу и минеральный азот, была отмечена наибольшая активность денитрификации и метанообразования. Сделан вывод о том, что наиболее важным фактором, определяющим процессы микробной трансформации азота и углерода в горно-луговых почвах является тип растительного сообщества и его положение в катене.

Таким образом, альпийские растительные сообщества, сосредоточенные на малой территории, существенно различаются по уровню образования и поглощения парниковых газов. В частности, интенсивность выделения  $\text{CO}_2$  оказалась максимальной под гераниево-копеечниковыми лугами, что коррелирует с содержанием органического вещества и общей численностью микроорганизмов. Метан наиболее активно выделялся из почв под альпийскими коврами, отличающимися относительно высоким содержанием органического вещества и повышенной влажностью. Высокая эмиссия закиси азота наблюдалась также в почве под альпийскими коврами, что определяется наибольшим содержанием минерального азота среди изученных экосистем вследствие их положения в нижней части склона (Кизилова с соавт., 2005).

Исследование процессов образования и поглощения парниковых газов городскими территориями показало, что обычно городские почвы характеризуются невысоким уровнем эмиссии парниковых газов. Большой потенциал эмиссии  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  обнаружен только в местах избыточного увлажнения (на дне оврагов), где наблюдается аккумуляция органического вещества и минеральных соединений азота – факторов, обеспечивающих

высокую активность почвенных микроорганизмов (грибов, актиномицетов), денитрифицирующих и метаногенных бактерий (Экологические функции..., 2004).

Наблюдаются частые случаи низкой биологической активности почв и грунтов придорожных и придомовых территорий (газонов). Приблизительно 40 % участков имели низкую активность почвенного дыхания ( $\text{CO}_2$ ) при увеличении интенсивности эмиссии  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$ . Это объясняется ростом содержания тяжелых металлов в почвах, ингибирующих активность ферментов метанмонооксигеназы у метанотрофных бактерий и редуктазы закиси азота у денитрификаторов, что сопровождается ростом относительной эмиссии метана и доли  $\text{N}_2\text{O}$  в газообразных продуктах денитрифицирующих бактерий. В рекреационных зонах - показатель в норме (86 % измерений), если не считать тропинойной сети, где происходит резкое снижение биологической активности (низкое дыхание в 100 % измерений). На фоне рекреационных зон дыхание в городских почвах в 1,5-2 раза ниже, несмотря на использование органогенных материалов (торфосмесей).

Выявленная в целом низкая биологическая активность городских почв и грунтов при нормальном солевом состоянии и физико-химических свойствах указывает на вероятное загрязнение почв тяжелыми металлами, что приводит к снижению функции городских почв в отношении поглощения парниковых газов ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ) и потенциально опасных для здоровья человека окиси углерода, окиси азота, утрате способности почв и газонов к самоочищению и самовосстановлению (Смагин, 2005; Степанов, 2011)

### ***Выводы***

Проведенные исследования свидетельствуют о важной роли почвенного покрова в формировании современного состава атмосферы, процессах эмиссии и поглощения парниковых газов в разных экосистемах. Наиболее активно газообмен между почвой и атмосферой протекает в почвах с высоким содержанием гумуса, что определяется большим микробным разнообразием и высокой активностью процессов микробной трансформации  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$  в почвах соответствующими физиологическими группами микроорганизмов.

Данные об интенсивности образования и поглощения диоксида углерода, метана и закиси азота в почвах основных биоклиматических зон европейской части России свидетельствуют о том, что микробный потенциал поглощения парниковых газов в зональных типах почв, как правило, превышает масштабы их образования.

Возрастающий поток парниковых газов из почв является следствием нарушения динамического равновесия между процессами их образования и поглощения под влиянием факторов внешней среды и антропогенных воздействий на почву - применения минеральных и органических удобрений.

ний; искусственном орошении и часто связанными с этим разрушением почвенных агрегатов и засолением почв; при использовании средств защиты растений (гербицидов) вследствие аккумуляции в почвах тяжелых металлов и радионуклидов; выпадении кислотных осадков и других факторов.

Особый характер протекания денитрификации обнаружен в сульфатно-хлоридных солончаках, где выявлено преимущественное образование закиси азота в результате снижения активности редуктазы закиси азота. Учитывая тенденцию аридизации суши, роста площадей, подверженных засолению, можно полагать, что эти процессы, помимо уже известных негативных экологических последствий, будут способствовать повышенной эмиссии  $N_2O$  из почв в атмосферу.

Среди факторов среды, влияющих на образование и поглощение парниковых газов в почвах, определяющее значение имеют влажность и содержание органического вещества. Максимум эмиссии  $CO_2$  и  $N_2O$  наблюдается при влажности, близкой к полевой влагоемкости (-0,1 атм), а не при затоплении почвы, как считалось ранее. Таким образом, интенсивное выделение парниковых газов происходит при меняющемся водном режиме почв (иссушении - увлажнении).

Микробная трансформация (восстановление или окисление) парниковых газов в почвах ограничивается низкой температурой (до  $+4^{\circ}C$ ) и кислой реакцией среды ( $pH \leq 4,0$ ).

В агроценозах эмиссия парниковых газов увеличивается пропорционально дозе вносимого азота, достигая наибольшей величины при использовании минеральных азотных удобрений в аммонийной и амидной формах. Использование медленнодействующих азотных удобрений не позволяет снизить газообразные потери азота за счет денитрификации по сравнению с применением их водорастворимых форм в тех же дозах (Умаров с соавт., 2007)

Существенное влияние на процесс образования и поглощения парниковых газов оказывает агрегатный состав почв - с увеличением размера агрегатов возрастает доля молекулярного азота и сокращается доля промежуточных продуктов денитрификации (закиси азота и окиси азота). Разрушение почвенной структуры и распыление почв способствует формированию окислительных условий, возрастанию эмиссии  $CO_2$  и доли  $N_2O$  в суммарном потоке газообразных соединений азота в атмосферу.

### ***Заключение***

Последствия глобального изменения климата все чаще проявляются в различных уголках земного шара. Не случайно они вызывают столь пристальное внимание ученых и общественности. Вряд ли найдется человек, равнодушный к происходящему. Существует немало точек зрения, объясняющих этот феномен. Наиболее распространенная из них – теория само-

разогрева атмосферы, связанного с аккумуляцией так называемых парниковых газов, и прежде всего  $\text{CO}_2$ . К настоящему времени эта позиция подвергается активной критике в научной литературе и средствах массовой информации, основанной прежде всего на отсутствии прямой корреляции между накоплением  $\text{CO}_2$  и ростом среднегодовой температуры. Такая позиция понятна, так как никакая теория не в состоянии учесть все многообразие, сложность и взаимосвязь геологических, биологических и космических процессов, оказывающих комплексное воздействие на земную биосферу.

Высказывается предположение, что потепление климата связано с усилением в последнее время активности солнца. Но ведь Земля - не единственная планета Солнечной системы. Почему же потепление не проявляется столь отчетливо на других небесных телах, например Марсе? Вулканическая активность, колебания поглощения диоксида углерода мировым океаном также не дают однозначного объяснения глобальным биосферным изменениям.

Как следует из настоящей главы, отсутствие прямой корреляции между скоростью накопления  $\text{CO}_2$  в атмосфере и ростом среднегодовой температуры определяется значимой ролью других парниковых газов – например, метана и окислов азота. Чередование фаз потепления и оледенения в геологической истории Земли свидетельствует о независимости динамики этих процессов от объема сжигаемого топлива и уровня промышленного развития общества. С другой стороны, становится очевидным, что главным источником и стоком парниковых газов являются процессы микробной трансформации органического вещества в почвах, а почвенный покров планеты (педосфера) – определяющим состав современной атмосферы. Глубокие преобразования почвенного покрова в результате хозяйственной деятельности человека за последние 100 лет оказали существенное влияние на биогеохимические циклы углерода и азота в почвах, нарушив их естественное протекание, сбалансированное в ходе длительной эволюции. Возрастающий поток парниковых газов в атмосферу является следствием нарушения процессов образования и поглощения парниковых газов в почвах в результате использования минеральных удобрений, средств защиты растений (гербицидов); искусственного орошения и нередко связанного с ним разрушения почвенных агрегатов и засолением почв; следствием аккумуляции в почвах тяжелых металлов и радионуклидов; выпадением кислотных осадков; процессов водной, ветровой эрозии и других факторов. Не случайно (по данным «Global change» (2009)), среди проблем, угрожающих развитию человечества в самом ближайшем будущем, парниковый эффект стоит только на 3-м месте, на 2-м – сокращение биоразнообразия, а на 1-м – нарушение протекания биологических циклов биофильных элементов, прежде всего азота и углерода, в наземных экосистемах (почвах) и Мировом океане. Тому же способствует необдуманное осушение

торфяных почв, их использование под посевы пропашных культур, связанное с интенсивной распашкой и применением удобрений; понижение уровня грунтовых вод с целью освоения территорий сопровождается усилением скорости минерализации органического вещества почв, ростом потока парниковых газов из почв в атмосферу. Следствием такого отношения к почвенному покрову становятся лесные и торфяные пожары, захлестнувшие Центральную Россию летом 2010 года, смог, удушье, боль утраты жилья и близких людей.

Правительства многих стран мира, и Российской Федерации в том числе, взяли на себя обязательства по выполнению Киотского протокола, направленные на сокращение и компенсацию промышленной эмиссии парниковых газов. Однако, принимая во внимание естественные (биологические) пути образования и поглощения парниковых газов микробными сообществами почвенного покрова, рассмотренные в настоящей главе, представляется целесообразным сосредоточить усилия прежде всего на защите и охране почв, поддержании баланса углерода в почвах, его консервации в форме гумуса (Пулы и потоки..., 2007). В противном случае осушение торфяных почв, нерациональное сельскохозяйственное использование земель и другие факторы антропогенного воздействия на почвы, о которых упомянуто выше, приведут к изменениям в процессах микробной трансформации парниковых газов в почвах, снижению потенциала их естественного поглощения, росту скорости микробного разложения органического вещества почв до  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$ , представляющих опасность для дальнейшего развития общества с позиции региональных климатических изменений.

### *Литература*

- Горшков С.П. Концептуальные основы геоэкологии. - Смоленск: СГУ, 1998. - 448 с.
- Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии. - М.: Наука, 2003. - 348 с.
- Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во МГУ, 1987. - 255с.
- Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. - 445 с.
- Кизилова А.К., Степанов А.Л., Макаров М.И. Микробная трансформация азота и углерода в горно-луговой альпийской почве хребта Малая Хатипара // Вестник Моск. ун-та, сер. 17, 2005. - № 1. - с.40-43.
- Манучарова Н.А., Степанов А.Л., Умаров М.М. Особенности микробной трансформации азота в водопрочных агрегатах почв разных типов // Почвоведение. - 2001. - № 10. - с.1261-1267.
- Новиков В.В, Степанов А.С. Влияние минерального азота на процессы микробной трансформации метана в почвах // Почвоведение.- 1999.- №10. С.1255-1258.

- Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А. и др. М.:Наука, 2007, 315 с.
- Смагин А.В. Газовая фаза почв. М.: Изд-во МГУ, 2005, 301 с.
- Современные глобальные изменения природной среды. Отв. ред. Н.С.Касимов и Р.К.Клиге. Т.1., М.: Научный мир, 2006, 695 с.
- Степанов А.Л., Онипченко В.Г. Биологическая активность почв хребта Малая Хатипара // Вестник Моск.ун-та.- сер. Почвоведение.-1989.- № 3.- С.39-45.
- Степанов А.Л., Манучарова Н.А., Полянская Л.М. Продуцирование закиси азота бактериями в почвенных агрегатах // Почвоведение.-1997.- № 8.- С.973-976.
- Степанов А.Л. Микробная трансформация парниковых газов в почвах. М.:Геос, 2011, 192 с.
- Судницын И.И. Движение почвенной влаги и водопотребление растений. М. Изд-во МГУ. 1979. 252 с.
- Умаров М.М. Роль микроорганизмов в устойчивости почв. Экология и почвы. Избранные лекции I-VII школ (1991-1997 гг.). Т.1. Пущино. 1998. С. 15-21.
- Умаров М.М., Кураков А.В., Степанов А.Л. Микробиологическая трансформация азота в почвах. М.:Геос, 2007, 138 с.
- Шейн Е.В. Курс физики почв. Издательство Московского Университета. 2005. 430 с.
- Экологические функции городских почв. Отв. ред. А.С.Курбатова и В.Н.Башкин. М.-Смоленск: Маджента, 2004, 232 с.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Eds. J.T. Houghton et al. Cambridge University Press. Cambridge: 2001. 881 p.
- Global Change.- 2009.- Issue 74.- [www.igbp.net](http://www.igbp.net)
- Kester R.A. Production of nitric oxide and nitrous oxide by nitrifiers and denitrifiers. Ph.D.Thesis. Centrum voor Terrestrische Decologie Nederlands Instituut voor Oecologisch Onderzoek. 1997. 113p.
- Ogden J.E. and Moor P.K. Inhibition of nitric oxide synthase-potential for a novel class of therapeutic agent. TIBTECH. 1995. Vol. 13. P. 70-78.
- Wang B., Neue H.U., Samonte H.P. Factors controlling diel patterns of methane emission pattern via rice plants // Nutr. Cycling in Agroecosyst. 1999. V. 53. P. 229-235.
- Wang F.L., Bettany J.R. Methane emission from a usually well-drained prairie soil after snowmelt and precipitation // Can. J. Soil Sci. 1995. V. 75. P. 239-241.
- Wagner D.M., Pfeiffer E., Mand E., Bockb E. Methane production in aerated marshland and model soils: effects of microflora and soil texture // Soil Biol. and Biochem. 1999. V. 31. P. 999-1006.

## **Горные почвы как архив палеоэкологической информации**

### ***Введение***

Горные регионы занимают около четверти поверхности Земли и около пятой части суши. Они служат домом одной десятой части населения планеты и обеспечивают необходимыми ресурсами половину человечества. Многие страны, и особенно страны с невысоким уровнем жизни, такие как Непал, Киргизия, Грузия, Таджикистан, Афганистан, Монголия и т.д. практически полностью приурочены к горным территориям. В России 43 субъекта федерации из 89 имеют статус горных территорий.

Новые вызовы и экологические угрозы человеку и биосфере, появившиеся в XXI веке и обусловленные глобальными изменениями климата и расширением масштабов стихийных бедствий, дефицитом пресной воды, источником которой во многих регионах мира являются горные ледники, повышением уровня океана и изменениями в геополитике сделали горы объектом пристального внимания и потребовали от науки прогнозных экологических моделей развития биосферы. Подтверждение этому - Международная программа МАБ-6 ЮНЕСКО «Горные экосистемы» и деятельность Международной Ассоциации академии наук СНГ «Горная геоэкология и устойчивое развитие». А в резолюции ООН «Повестка дня на XXI век» имеется раздел «Горная глава» под № 13 (Рио-де-Жанейро, 1992), подчеркивающая общепланетарную важность и уникальность горных ландшафтов. 2002 год поэтому был объявлен Генеральной Ассамблеей ООН Международным годом гор.

Вся совокупность научных знаний о горных регионах даже выделилась в отдельную область знания – монтологию (от англ. mountain) или геомонтологию (Селиверстов, 2002), призванную оценить функции горных ландшафтов в биосфере сегодня и в прошлом, чтобы прогнозировать их изменения в будущем. Однако, до сих пор ни в глобальном общепланетарном, ни в комплексном общероссийском контексте этот вопрос практически не изучался. Прогнозное моделирование, в свою очередь, возможно лишь при наличии достоверной информации о прошлом и настоящем биосферы и цивилизации. Так возник вопрос о необходимости ретроспективного взгляда на эволюцию планеты и человека в целом и горных ландшафтов в том числе, и, соответственно, интерес к изучению природных архивов палеоэкологической информации в горах.

## ***Особенности горных ландшафтов как природных архивов информации***

Понимание закономерностей эволюции биосферы планеты, от которых напрямую зависит жизнеспособность человечества, осложняется тем, что космические, климатические или иные воздействия на биосферу, как правило, инерционны, а потому трудно предсказуемы на основе прямых измерений. Но любой сценарий воздействия, даже кратковременный, прежде всего, проявляется, регистрируется и обладает наименьшей инерционностью в «краевых частях» биосферы, к которым и относятся горные ландшафты, у которых мощность тропосферы, значительно меньше, чем у равнинных или надокеанических пространств. Именно в горах экстремально выражены все космогеофизические явления (причины природно-климатических и генетических переломов), такие как интенсивность солнечной радиации и атмосферное давление, пространственно-временная градиентность параметров природной среды и сгущение природных зон, магнитные и физические аномалии, контрастность экологических переходов. Поэтому горы являются уникальным «экспериментальным» природным полигоном, порождающим постоянные изменения в результате внезапных геотектонических, климатических и биологических событий (Голубчиков, 1999).

Горы распространены везде над земной поверхностью – от экватора до полюсов и до сегодняшнего дня являются центрами современных оледенений, а значит, служат уникальным хранилищем континентальных архивов палеоэкологической информации, считываемой из ледниковых кернов. Между тем, самые значимые палеоклиматические реконструкции до сегодняшнего дня выполнялись по ледниковым кернам Антарктиды и Гренландии (Гибсон, Аггарвал, 2001; Jouzel et. al, 1987), не позволяющим оценить региональные внутриконтинентальные тренды. Более того, ледниковые ландшафты горных долин, представленные моренами различных стадий ледниковых осцилляций, хранят память о циклах потеплений-похолоданий.

С точки зрения биоразнообразия, каждый горный массив похож на остров, так как виды животных и растений в нем изолированы от обитателей сопредельных пространств. Поэтому горные регионы до сегодняшнего дня выступают рефугиумами редких видов флоры и фауны и даже этносов.

С другой стороны, в пределах одного горного массива может существовать большее разнообразие жизни, чем на равнине, где экологические условия более однородны в пределах обширных пространств. Известно (Владыченский, 1998), что «поле жизни» Земли должно быть расширено за счет горных территорий, так как по величинам гидротермических характеристик горные ландшафты часто выходят «за рамки» равнинных.

Контрастные экологические ниши в горах складываются на теневых и солнечных склонах, на открытых пространствах и в пещерах, на породах



разного минералогического состава (известняках, гранитах, гнейсах, базальтах и т.д.), в условиях разной солнечной инсоляции, влажности, температур, ветровой активности и фенот, в различных условиях дренирования.

Отличительной особенностью горных ландшафтов является их вертикальная зональность, когда природные зоны сменяют друг друга от подножия к вершине вслед за увеличением количества осадков и интенсивности солнечной радиации и уменьшением температур. Известно, что на каждые 100 м подъема температура понижается в среднем на 0,5 °С, а количество осадков возрастает на 50 мм. Более того, нередко зимой бывает так, что вопреки всем законам вертикальной зональности в долине трещит мороз, а ближе к вершине склонов воздух прогревается до 0 °С и выше, разница температур при этом достигает 20 °С из-за плотной облачности, которая не пускает солнечные лучи в долину (Горы, 2009). Именно поэтому в горах спектр экосистем в целом, и горных почв, в частности, настолько разнообразен, что многие из них не имеют аналогов на равнине (высокогорно-луговые, криоаридные и т.д.), а некоторые остаются неизученными до сих пор.

Из-за трудной доступности ресурсами гор, в том числе и почвенными, до сих пор пренебрегали, поэтому они и сохранились в течение продолжительного времени нетронутыми или слабо используемыми. В результате, горные регионы имеют низкую плотность населения и мало подвержены антропогенным нагрузкам. Здесь преобладают природонеразрушающие виды землепользования, традиции и культуры, корнями уходящие в тысячелетия, а ландшафты богаты хорошо сохранившимися археологическими находками.

Таким образом, природные архивы палеоэкологической информации, приуроченные к разноуровневым геобиосистемам горных стран, являются более многообразными по сравнению с равнинными, так как на небольших пространствах сосредотачивают все известные (и неизвестные) типы климатов, природных зон и типов поясности, замкнутые горные долины служат рефугиумами исчезнувших с лица Земли видов и экосистем, и в конечном итоге, компоненты горных экосистем оказываются более сенсорными к любым воздействиям по сравнению с равнинными аналогами.

### ***Информационная функция горных почв в биосфере***

Известно (Добровольский, Макеев, 2009), что одним из бесчисленных временных срезов, отражающих эволюцию природной среды на протяжении истории развития Земли, является современная педосфера планеты, которая во все геологические периоды выступала преимущественной средой обитания разнообразных форм жизни, продуктом жизнедеятельности живого вещества и его взаимодействия с горной породой. Поэтому все

большой интерес у почвоведов, археологов, историков, антропологов, климатологов, палеоантологов стали вызывать информационные функции почв в биосфере. Тем более, что последние представлены не только гидро-термическим и биохимическим регуляторным воздействием на ритм жизни растений и почвенной биоты, но и особой способностью почв «записывать и запоминать» в своем составе и свойствах историю изменений природных и антропогенных условий почвообразования и развития человеческой цивилизации (Добровольский, 2009). Информационная емкость почв, по расчетам Козловского и Горячкина (Память почв, 2008) – около  $10^{20}$  бит, а способность почвы хранить информацию об условиях своего формирования и развития принято называть памятью почв (Соколов, Таргульян, 1976). Почвы меняются в пространстве и времени вместе с условиями среды и отражают эти изменения в комплексе своих признаков. Таким образом, в почве находит отражение пространственно-временная структура ландшафта (Александровский, Александровская, 2005). А сами почвы являются важнейшим палеоэкологическим архивом планеты, так как обладают способностью запоминать изменения параметров окружающей среды и сохранять их в памяти в виде устойчивых во времени признаков, и благодаря высокому пространственному разрешению записи почвы способны фиксировать географическую неравномерность распределения природных или антропогенных событий и явлений.

В то же время невысокое, по мнению многих исследователей (Память почв, 2008), временное разрешение почвенных архивов сказывается положительно на качестве расшифрованной информации, так как почва записывает основные долгопериодные тренды, отбрасывая случайные и краткосрочные. Возможный механизм такой избирательности, по нашему мнению – в буферности и, тем самым, стабильности биологического круговорота элементов. Ранее (Евдокимова, Ковалева, 1999) нами было показано, например, что антропогенное влияние на почвы и ландшафты горных долин Северного Тянь-Шаня не изменило характер биологического круговорота элементов с большим удельным весом кальция при явном изменении состава травостоев.

Значительный информационный ресурсный потенциал горных почв также может быть использован в целях палеоэкологических реконструкций, восстановления ландшафтных обстановок геологического прошлого нашей планеты, изучения условий эволюции первобытного человека, расшифровки археологических находок и установления причин динамики этносов в различные исторические эпохи. Несмотря на то, что палеопочвенные исследования в горах очень скудны, а во многих горных системах они не проводились вовсе, блестящее использование информационной функции горных почв продемонстрировано при изучении эволюции биосферы. Начиная с Прасолова, некоторые исследователи отмечали реликтовые признаки в горных почвах – темноцветность почв еловых лесов Тянь-Шаня

(Прасолов, 1901, 1926; Глазовская, 1953; Зонн, 1962) и Алтая (Ковалев, Хмелев, 1968), черноземовидность горно-луговых и горнолуговостепных почв (Богословский, 1897; Соколов, 1946), третичные виды почвенных животных в черно-коричневых почвах орехово-плодовых лесов Тянь-Шаня (Гиляров, 1985). Герасимов и Ливеровский (1947) определили черно-бурые почвы ореховых лесов как своеобразный древний почвенный тип. О возможных сдвигах высотных поясов горных стран во времени упоминают Зонн (1962), Кожеков (1963), Александровский, Александровская (2005), Ломов (1984), Ковалева, Евдокимова (1995), Ромашкевич (1996) и другие. Системный подход к исследованию разновозрастных горных почв содержится в работах Геннадиева (1990) об интенсивности почвообразовательных процессов в пространственно-временных рядах почв (дневных хронорядах), Степанова, Абдуназарова (1977), Алифанова, Гугалинской (1999) о педолитоциклитах лессово-почвенных серий, Ромашкевич (1996) о погребавшей роли денудационных процессов.

Именно погребенные почвы стали главными реперами при стратиграфии лессовых отложений предгорий и среднегорий Таджикистана (Степанов, Абдуназаров, 1977); реконструкции природной среды разных горных регионов (Александровский, Александровская, 2005; Алифанов, Гугалинская, 1999; Дергачева и др., 2006; Ковалева, 2009; Yan et.al, 1999; Yafeng et.al, 1993 и др.); диагностике стадий ледниковых осцилляций в горах (Savoscul, 1997; Серебрянный и др., 1989; Baumler, Zech, 1991; Heuberger et. al, 1998; Narama, 2002; Grosswald et.al, 1994 и др.); интерпретации археологических находок в горных странах (Arzhantseva et.al., 1999; Седов и др., 2011; Рысков, Демкин, 1997 и др.).

При этом механизм формирования информационных функций почв кроется, по-видимому, в волнообразном характере почвенных процессов и инерционности почвенных свойств. Инерционность почв – это их свойство постепенно изменяться от одного равновесного состояния к другому при скачкообразном изменении условий почвообразования. По мнению Остроумова (1989), именно инерционность почв препятствует их изменению в циклах с короткими периодами. Запаздывание наступления экстремумов – важное проявление инерционности в циклах развития природных объектов. Например, современные продукционные процессы в рассматриваемых биогеоценозах Северного Тянь-Шаня, как следует из рис. 1, синхронны во всех вертикальных растительных зонах. И при общей корреляции продуктивности растительных сообществ с величиной глубины гумификации наблюдается отчетливый фазовый сдвиг между точками их экстремумов на «одну растительную зону» в сторону черноземовидных луговостепных почв. Данный факт хорошо согласуется с представлениями об инерционности свойств гумуса в частности, и свойств почв в целом. «Оптимальные» свойства почвы, унаследованные от черноземной стадии почвообразования в сочетании с повышенной современной увлажненностью обеспечивают

максимальные в рассматриваемом ряду почв величины продуктивности почв и растений. Время релаксации, необходимое для совмещения точек экстремумов обсуждаемых кривых, равно продолжительности стадии эволюции погребенного чернозема к новому равновесному состоянию горно-луговой субальпийской почвы, которое может и не быть достигнуто в условиях короткопериодных флуктуаций климата.

Как показали Арманд и Таргульян (1974), характерные времена отдельных почвенных свойств, процессов и режимов имеют разный порядок значений: наиболее устойчивы в диагенезе минералогия и валовый химический состав почв, морфология профилей ( $10^4 - 10^7$  лет), наименее инерционны параметры температурного и гидрологического режимов, профиль растворенных веществ, состав и уровень грунтовых вод ( $10^0 - 10^{-1}$ ). Однако, Самойлова и Толчельников (1991) полагают, что характерные времена одного и того же признака или процесса в разной биоклиматической обстановке существенно различаются друг от друга. Так, если для превращения биотита в глинистые минералы в условиях холодного гумидного климата тундры требуется несколько тысяч лет, то в условиях влажных тропиков – несколько сотен лет.

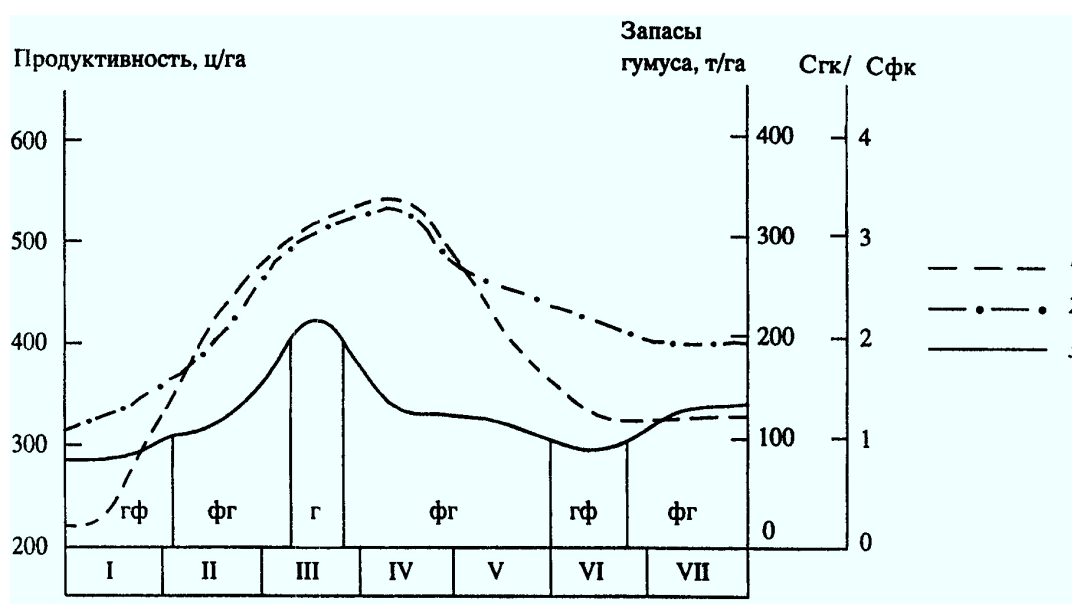


Рис. 1. Динамика общей продуктивности (1), запасов (2) и типов (3) гумуса в вертикально-зональном ряду почв Северного Тянь-Шаня. Почвы: I, II – светло- и темнокаштановые, III – горный чернозем, IV – луговостепная черноземовидная, V, VI – горно-луговые черноземовидные, VII – горно-луговая альпийская

Одним словом, количественные характеристики инерционности почв, а именно такие понятия как характерные времена, амплитуды колебаний, величины фазовых сдвигов для разных почвенных типов и условий палеосреды, требуют дальнейшей разработки. Сказанное особенно акту-

ально при палеоклиматических или палеоландшафтных реконструкциях событий, требующих точного датирования.

### «Носители» почвенной памяти и палеоиндикаторы

В современном почвоведении (Добровольский, Макеев, 2009; Память почв, 2008; Демкин, Гугалинская и др., 2007; Добровольский, Урусевская, 2004; Самойлова, Толчельников, 1991 и т.д.) хорошо обоснована возможность считывания информации с различных носителей почвенной памяти: карбонатных новообразований (Хохлова, 2000), кутан иллювиирования (Бронникова и др., 2005), биолитов (Гольева, 2008), молекул гуминовых кислот, жирных кислот, лигниновых фенолов (Ковалева, 2009 и т.д.), валовых химических элементов почв, группового состава соединений железа (Zech, Baumler, 2000) (рис. 2), песчаных компонентов (Величко, 2005; Sgibhev, 1999), магнитных минералов (Бабанин и др., 1995; Степанов, Абдуназаров, 1977), частиц крупной фракции (Владыченский, Ковалева, Косарева, 2006) и т.д.

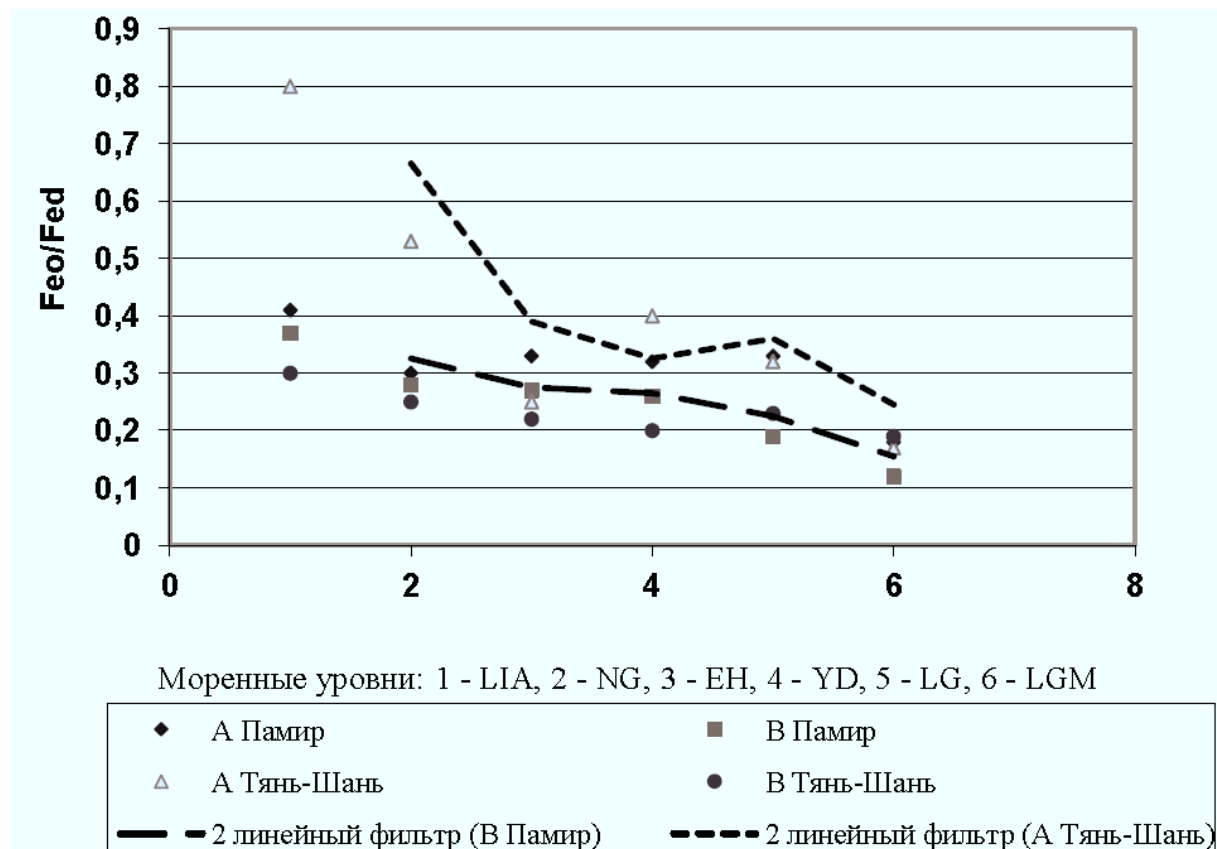


Рис. 2. Диагностика почв разных моренных стадий по отношению Feo/Fed (А, В – индексы горизонтов почвенного профиля)

Многочисленными исследованиями продемонстрирована и возможность использования в палеоэкологических работах сведений, сохраняющихся реликтовыми признаками на различных уровнях структурной организации почвенной массы, по Воронину (1979). Речь идет как о почвенном

покрове в целом (Ковда, Самойлова, 1966; Добровольский, Урусевская, 2004 и т.д.), так и об отдельных почвенных профилях (Александровский, Александровская, 2005 и т.д.). Ярчайшим примером проявления инерционности почвенных свойств являются вторые гумусовые горизонты, обнаруженные в разное время почти во всех типах существующих почв (Самойлова, Толчельников, 1991) не только равнинных, но и горных территорий. Однако, решающим и окончательным аргументом в пользу их реликтового происхождения, например, в дерново-подзолистых почвах, стало определение радиоуглеродного возраста гумуса (Добровольский и др., 1969), к которому по сей день прибегает большинство исследователей во всем мире (Чичагова, Черкинский, 1985).

Методы познания нано- и микроструктур почв, используемые для изучения эволюции почв со второй половины XX в. и представленные не только анализом радиоактивных изотопов, но и микроморфологическими исследованиями (Добровольский и др., 1974; Герасимова, Губин, Шоба, 1992), работами по растровой электронной микроскопии почв (Добровольский, Шоба, 1978), тонкой биохимии почв (Ковалева, Ковалев, 2009) и др. являются уникальной методологической базой для расшифровки почвенных архивов информации. Интересно заметить, что современная палеонтология идею поиска биомаркеров - молекулярных следов жизни на планете считает самой перспективной в текущем столетии (Розанов А.Ю., [http://wsyachina.narod.ru/earth\\_sciences/modern\\_palaeontology.html](http://wsyachina.narod.ru/earth_sciences/modern_palaeontology.html)). И, как показано в наших предыдущих работах (Добровольский, Федотов, 2009; Ковалева, 2009), репрезентативность информации на нано- и микроуровне записи (коллоидная составляющая почв; оптические плотности гуминовых кислот, содержание и фракционный состав лигниновых фенолов, изотопные отношения углерода и азота гумуса и карбонатов и т.д.) оказалась значительно выше и полнее, чем на более крупных иерархических рангах организации почвенной системы. Из рис. 3, на котором представлены  $^{13}\text{C}$  - ЯМР спектры гуминовых кислот разного возраста, хорошо видно, что галло ароматической части молекулы – наибольшее у среднеголоценовой погребенной почвы, и наименьшее – у почвы плейстоценового возраста.

Перечисленные показатели, список которых можно улучшать и дорабатывать, обладают различной сохранностью информации во времени. Неодинакова и чувствительность различных почвенных свойств к гидротермическим условиям палеосреды. Так, комплекс свойств почвенного органического вещества (отношение  $\text{C}_{\text{гк}}/\text{C}_{\text{фк}}$ , оптическая плотность гуминовых кислот, коэффициент цветности, пропорции жирных кислот, содержание липидов, хлорофилла и грибных меланинов, особенности молекулярного строения гуминовых кислот (рис. 3, 4) и т.д.) лучше отражает особенности климата периодов потепления. В свою очередь, характеристики минеральной части твердой фазы почв (минералогический и валовый химический состав (рис. 5, 6), степень отсортированности песчаных компонент,

групповой состав соединений железа и т.д.) хранят память о неблагоприятных для жизни эпохах похолодания и прерывания педогенеза. Более того, наши исследования тефрово-почвенных серий на Лорийском плато Малого Кавказа (Армения) обнаружили, что максимумы магнитной восприимчивости приходятся не на почвенные горизонты, как в лессово-почвенных сериях равнин, а на осадочные слои, обогащенные свежими вулканогенными магнитными минералами.

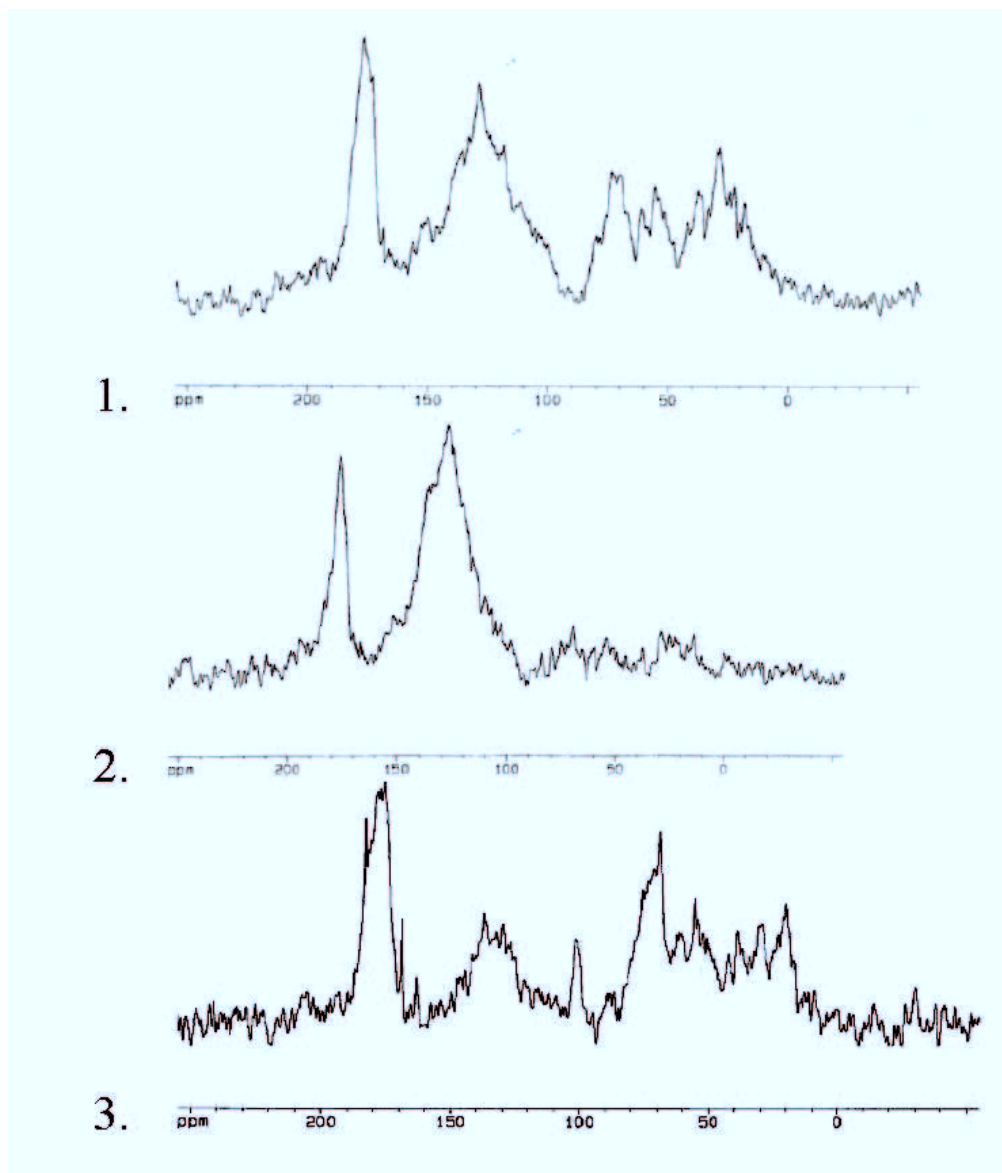


Рис. 3.  $^{13}\text{C}$ -ЯМР спектры гуминовых кислот: 1 -  $3500 \pm 60$  лет, 2 –  $5560 \pm 120$  лет, 3 -  $14030 \pm 80$  лет

Состав соединений органического фосфора и морфология профилей – самые информативные свидетели пребывания человека, композиционные отношения лигниновых фенолов – точные молекулярные следы палеорастительности, а изотопные отношения углерода и азота – состава древней атмосферы.

Решение проблемы внутризонального полиморфизма почв при палеоэкологических реконструкциях и учета диагенетических преобразований – в контроле полученных результатов данными разных методов и сведениями, записанными на разных слоях почвенной памяти – как внутренних, так и внешних, или в комплексном подходе к интерпретации результатов (рис. 7, 8).

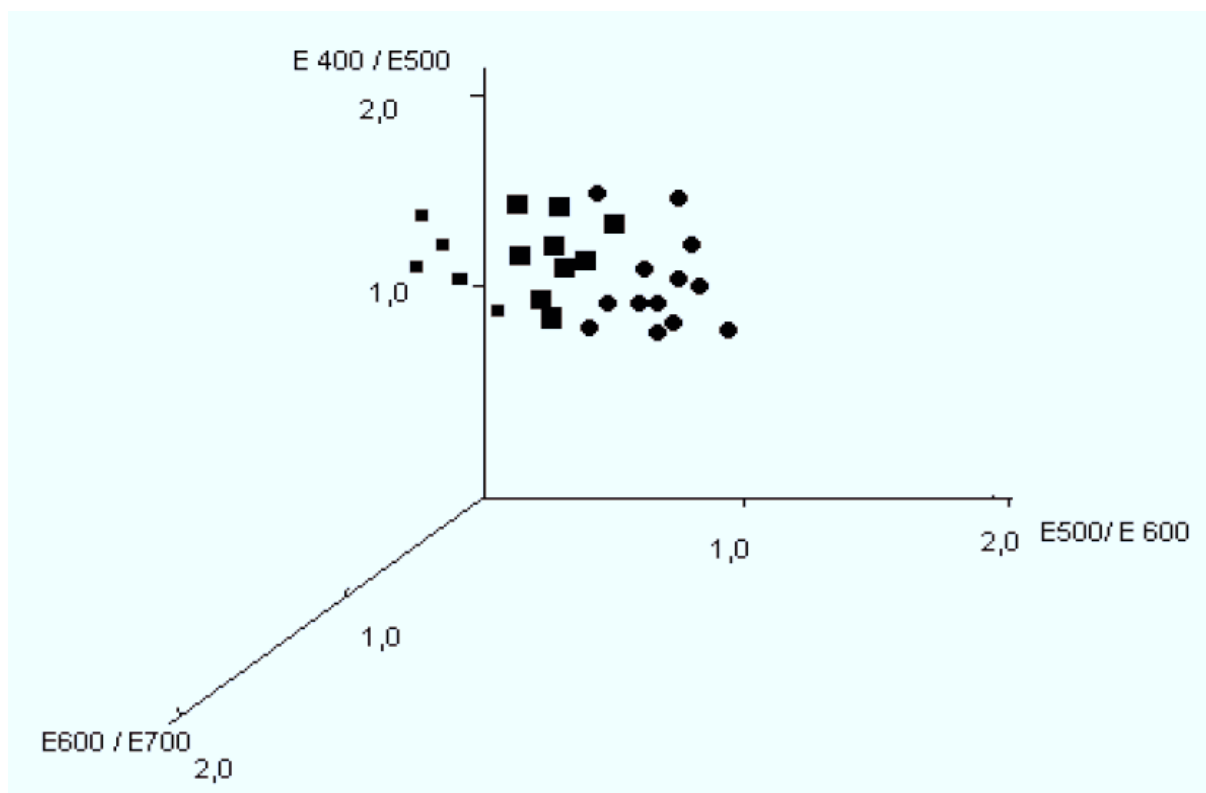


Рис. 4. Оценка крутизны спектральных кривых гуминовых кислот горных почв Северо-Западного Кавказа методом Салфелда

- - область дневных гумусово-аккумулятивных горизонтов горно-луговых субальпийских почв
- - область дневных гумусово-аккумулятивных горизонтов горных черноземовидных почв
- - область погребенных гумусово-аккумулятивных горизонтов горных черноземовидных почв

### ***Свойства и типы почвенных архивов палеоэкологической информации в горах***

Дневные и погребенные почвы в горах являются настоящим архивом информации о палеоклиматах и палеоландшафтах, так как: 1) так же как и равнинные, обладают способностью отражать, кодировать, запоминать изменения окружающей среды и сохранять их в памяти в виде устойчивых во времени признаков, а их почвенные свойства инерционны; 2) на небольших пространствах сконцентрировано большинство известных почвенных



типов, 3) в разных частях одной горной системы можно наблюдать разные спектры вертикальных природных зон; 4) почвенный покров в горах полихронен; 5) информацией насыщены не только дневные, погребенные и ископаемые почвы, но и многочисленные продукты их переотложения и разрушения, так как сохранность информации в почвах нарастает от макро- к нано-уровню их организации; 6) в горных почвах представлены все известные типы записи информации, по Таргульяну (2008) – стирающая, иконоподобная (наложенная), книгоподобная (слоистая); 7) разрешающая способность почвенной записи в горах выше по сравнению с записью в других видах природных объектов (породах, рельефе, растениях и т.д.).

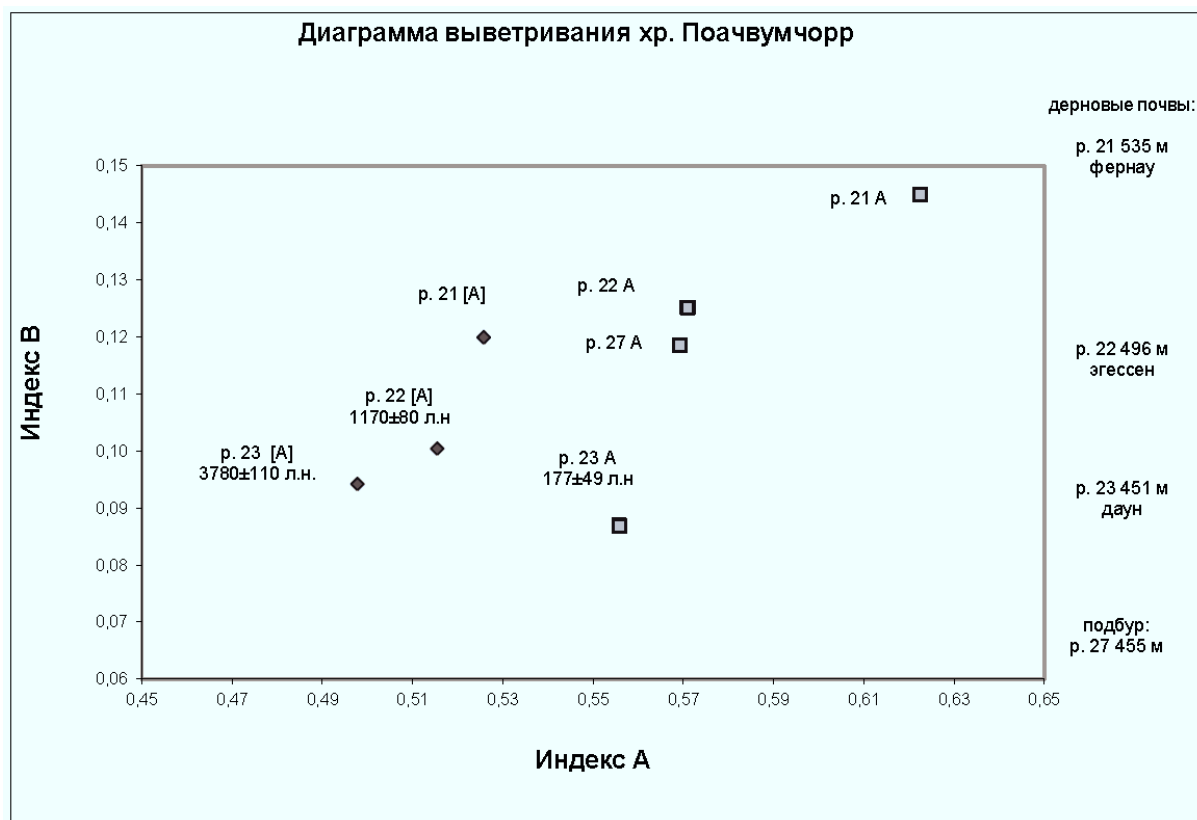


Рис. 5. Оценка интенсивности выветривания (по Kronberg, Nesbitt, 1981), где индекс  $A = (CaO + Na_2O + K_2O) / (Fe_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)$ ; индекс  $B = (SiO_2 + CaO + Na_2O + K_2O) / (Al_2O_3 + SiO_2 + CaO + Na_2O + K_2O)$

Кроме того, почвы отвечают главным требованиям, предъявляемым к современным природным архивам: они могут быть датированы по радиоуглероду и для них легко получить изотопные кривые. Изотопная летопись датированных почв в настоящее время является непревзойденной по информативности частью природных архивов, так как позволяет реконструировать палеофлору (изотопы углерода), палеофауну (изотопы серы, азота), состав прошлых атмосфер (изотопы кислорода и углерода). И только почва, в отличие от осадочных пород, хранит сведения о биоте прошлых биосфер. К настоящему времени составлены изотопные кривые для

многих регионов мира, но, в основном, это надокеанические и изредка континентальные пространства. Комплект региональных изотопных кривых, в который будут включены и все горные регионы мира, позволит с достаточной степенью достоверности судить о палеорастительности и палеоклиматах прошлого нашей планеты (рис. 8).

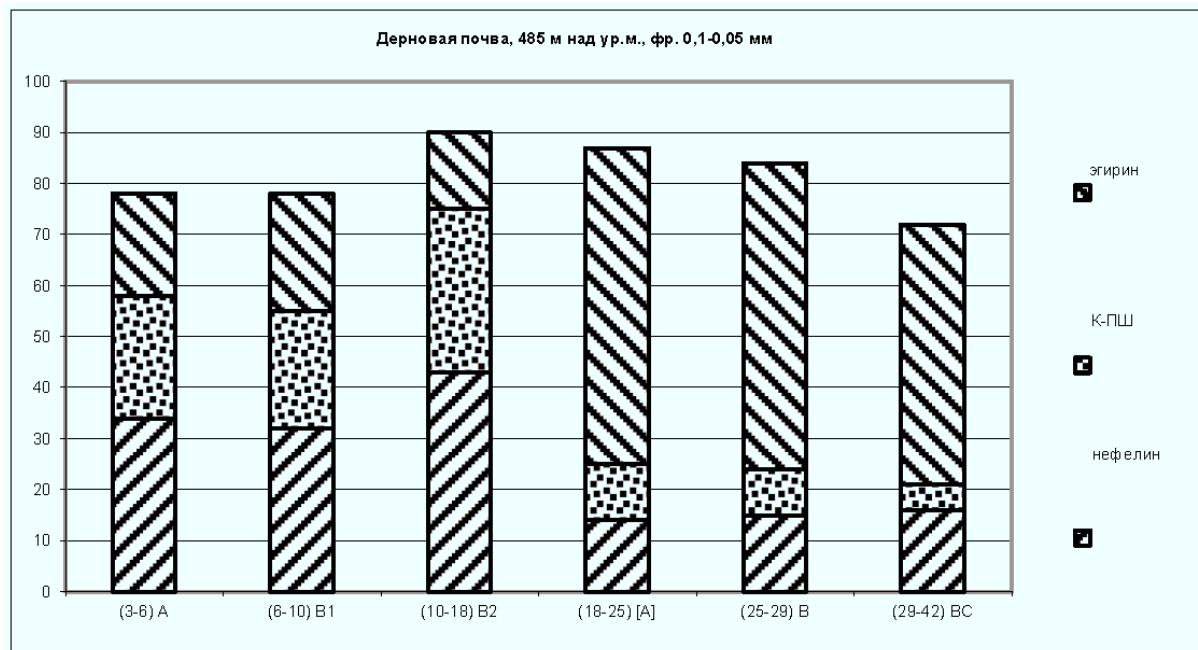


Рис. 6. Содержание основных породообразующих минералов в дерновых почвах (во фр. 0,1-0,05 мм, % от числа зерен)

Почвенный архив палеоэкологической информации в горах потенциально превосходит многие более известные и широко используемые природные архивы, а иногда является единственно доступным для наблюдений. Действительно, инструментальные метеорологические наблюдения, например, непригодны для долгосрочного моделирования климата, так как охватывают только сотни лет и не дают ответа на вопрос о причинах современных климатических трендов. Количество метеорологических станций в горах явно уступает существующим там типам климата и количеству природных зон. Гляциологический архив ледовых кернов Антарктиды и Гренландии нераспространен на заселенные человеком континентальные регионы, также как весьма репрезентативные архивы серий озерных и морских осадков. Палинологические спектры в горах практически неприменимы из-за узости растительных зон, плохой сохранности пыльцы травянистых растений, и, как правило, они регистрируют только периоды потепления. Фаунистические комплексы слабо обеспечены абсолютными датировками и в горных регионах, где животные перемещаются по тропам, обладают плохой пространственной репрезентативностью. Дендрохронологические шкалы, в целом, перекрывают лишь исторический период, а в горах, так же как и лихенометрические данные, слишком зависят от суточной и сезонной контрастности температурных условий (суточный перепад

температур в высокогорье Памира, например, может достигать 100°C (Голубчиков, 1999)). Датировок ледниковых отложений в труднодоступных горных долинах крайне мало, в горном Дагестане, например, их нет совсем; биостратиграфия моренных отложений не разработана.

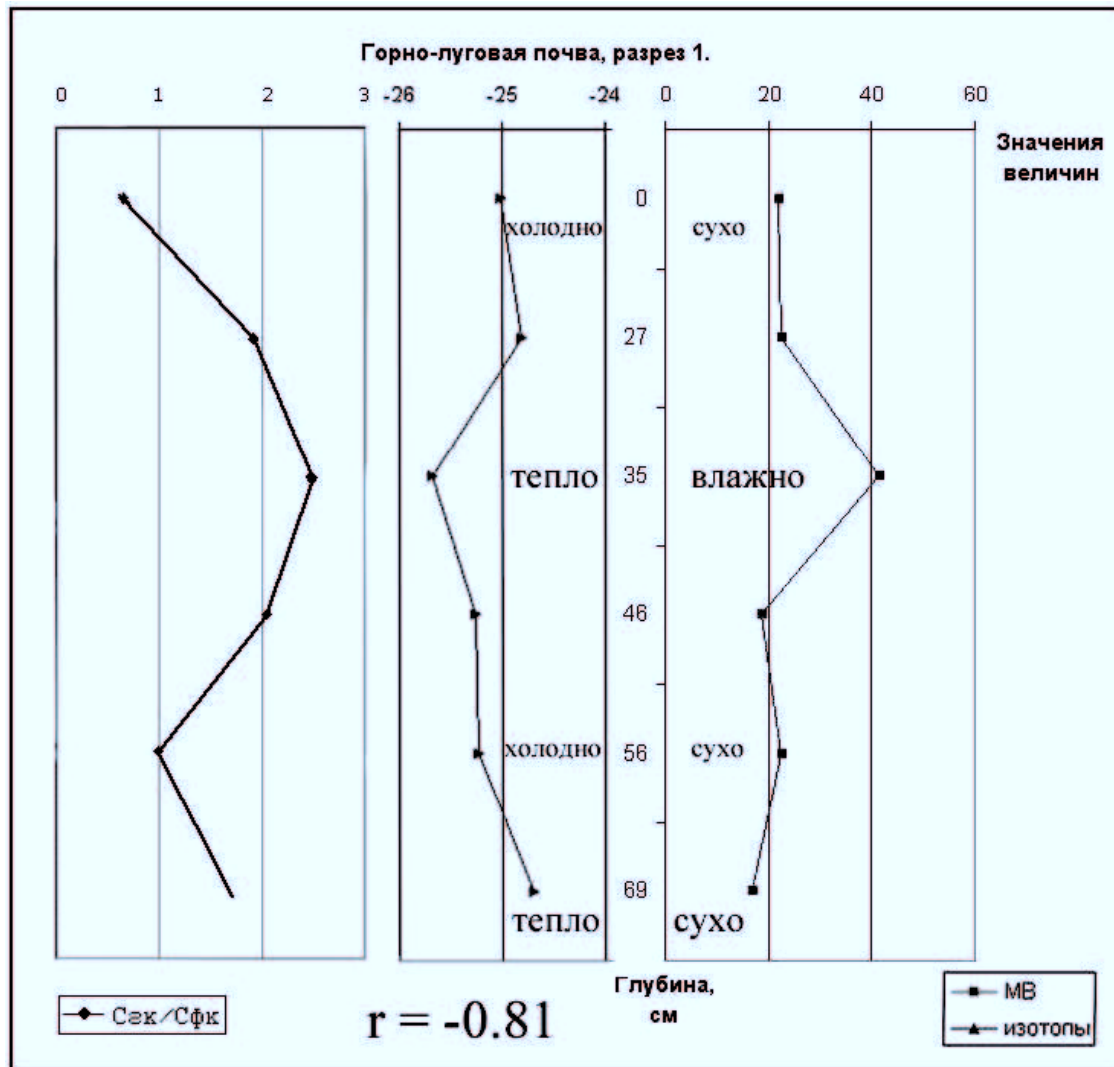


Рис. 7. Палеоэкологическая реконструкция климатической обстановки по величинам магнитной восприимчивости - МВ ( $\chi$ , СГСМ), отношению Сгк/Сфк и изотопного состава ( $\text{‰}$ ) углерода  $\delta^{13}\text{C}$  гумуса почв Восточного Кавказа

В зависимости от геоморфологического положения почв можно говорить о различных типах почвенных архивов, по-разному сохраняющих и записывающих информацию. Например, ритмично-слоистые лессово-почвенные толщи с книгоподобной, по Таргульяну (Память почв, 2008), почвенной записью. Временное разрешение этих архивов наибольшее, а их абсолютный возраст часто выходит за рамки возможностей радиоуглеродного датирования. Лессовые толщи предгорий и риднегорий Китая и Средней Азии позволяют выполнять палеогеографические реконструкции на протяжении последних 2,4 млн. лет. Во всех случаях палеопочвы серий

представляют эпизоды стабилизации поверхности и перерывов в осадко-накоплении, а разделяющие их слои характеризуют этапы экзогенеза. Этот тип архива может быть использован для реконструкции долгопериодных климатических процессов, точно регистрируя периодичность и степень похолодания и потепления климата в циклах оледенения-межледниковья.

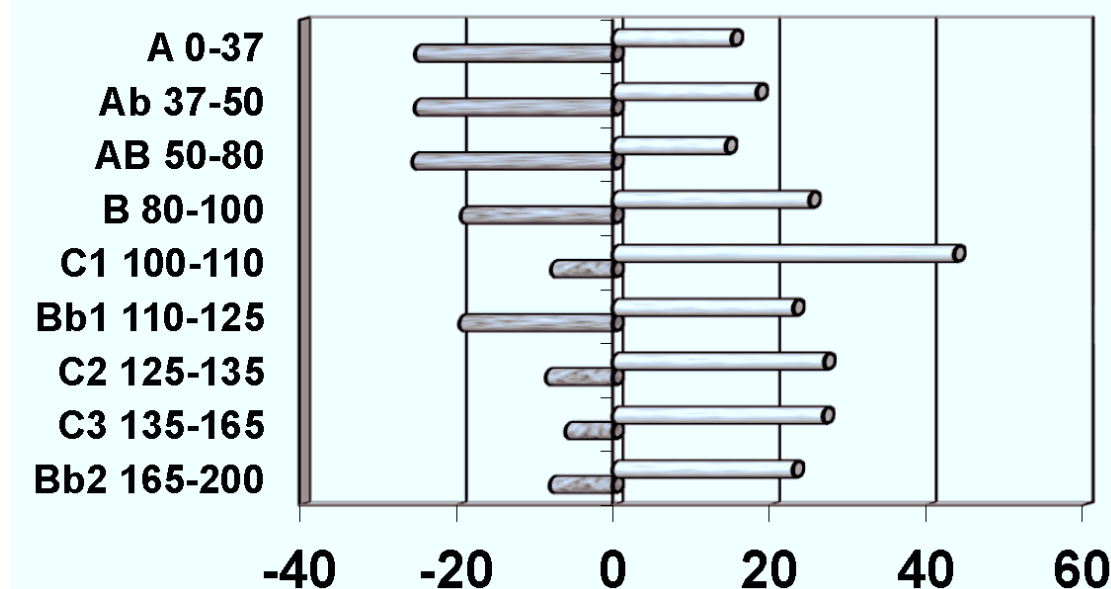


Рис. 8. Профильное распределение величин  $\delta^{13}\text{C}$  (серый цвет) и среднего диаметра песчаных компонент (белый цвет) в лессово-почвенных сериях низкогорий Тянь-Шаня

Во-вторых, аллювиальные палеопочвы речных долин, обладающие книгоподобной записью, часто сочетающейся со стирающей. Так как ежегодная мощность отложений в речных поймах горных рек мала из-за высокой скорости потока, архив целесообразно использовать при восстановлении краткосрочных (голоценовых) событий в циклах потепления-похолодания, причем, чем ближе к современности, тем выше разрешающая способность записи.

Схожим типом записи и хранения информации обладают тифрохронологические серии, записывая в большей степени историю вулканической деятельности, во многом определяющую климатическую систему планеты. Их ценность заключается также и в том, что вулканы сосредоточены в горных цепях по периферии материков – там, где лессовые покровы отсутствуют.

Нетронутые дневные палеопочвы (вплоть до третичного возраста) в рефугиумах реликтовой флоры и фауны в горах сохранились на высоких сыртах и водораздельных гребнях, не подвергавшихся оледенению. Это еще один тип почвенных архивов, отражающий историю наиболее древних на планете ландшафтов. Способность почв на фандах к записи и сохранению информации осложняется процессами наложения современных признаков на прежде сформированные более древние, тип записи информации

– иконоподобная по Таргульяну (Память почв, 2008). Однако, в глубоких слоях почвенных профилей разрешающая способность архива довольно высока.

В-пятых, в верхних частях склонов высоких террас на дневную поверхность экспонируются эродированные варианты палеопочв со стирающим или наложенным типом записи и сохранения информации, степень нарушения которых отражает активность экзогенеза, сопровождающего обычно периоды похолодания климата.

В зонах бифуркации, по Трифионовой (1999), формируются самые молодые почвенные образования, как правило, на выходах древних пород. Переотложенные экзогенными процессами палеопочвы или части почвенных профилей и отдельных горизонтов погребены слоями аллювия в речных долинах или озерных чашах, эоловыми наносами в аккумулятивных позициях нижних частей склонов и замкнутых котловин. И первые, и последние являются свидетелями интенсивности геоморфологических процессов, приуроченных к эпохам усиления увлажненности климата и похолодания.

Интересны и почвы, формирующиеся на разновозрастных фронтальных моренах, которые без труда регистрируются в горных ландшафтах, но особенно почвы, развитые на различных латеральных уровнях троговых долин в горах. В последнем случае, как правило, сохранность информации возрастает с увеличением высоты, а значит, возраста почвенных профилей, преобладающий тип записи информации – иконоподобная, а ее главное значение – регистрация ледниковых осцилляций.

Еще одним типом почвенных архивов можно считать педолитокомплексы конусов выноса, регистрирующие циклы нарастания или уменьшения снежности, то есть увлажненности при умеренном похолодании и ксеротермических перерывов.

В отдельный тип почвенных архивов в горах выделяются озерные отложения, где возраст озер колеблется от нескольких часов до нескольких тысячелетий, и где, прежде всего, сохраняется информация о циклах усиления-уменьшения увлажненности климата, а также и о периодах потепления-похолодания, записанных книгоподобно в почвенно-лимнологических сериях.

Близкий по смыслу к предыдущему тип архива – это береговые педолитокомплексы, находящиеся в зоне морских или озерных трансгрессий и регрессий, отражающие долгопериодные эпохи усиления увлажненности или аридизации климата.

Отдельным материальным архивом информации об истории становления человеческой цивилизации в ноосфере являются антропогенно преобразованные почвы, содержащие культурные слои, - антропоземы или антропосоли. Длительность сохранности информации о поселениях в них - до  $10^2$ -  $10^3$ , об агрогенном использовании –  $10^1$ -  $10^2$  лет, а о выпасе и вы-

рубке –  $10^0$ -  $10^1$  лет (Память почв, 2008). При этом почва насыщена и вещественными остатками поселений в виде предметов и объектов, и консервирует следы жизнедеятельности человеческого общества, и выступает заполнителем пустот в археологических объектах.

### *Горные почвы как источник информации о развитии цивилизации*

Палеопочвенные архивы предоставляют уникальную информацию для реконструкции палеоэкологической обстановки миграции первобытного человека или поиска природных причин миграции этносов, изучения роли изменений климата как причины исторических событий и т.п., которая чрезвычайно интересует археологов, историков, антропологов. И с этой точки зрения функции горных ландшафтов и горных почв в развитии человечества оказываются весьма значимыми. Ведь известно, что заселение евразийского континента первобытным человеком происходило через горные территории альпийского орогенного пояса. Следы древнейших человеческих общин обнаружены почти во всех горных областях: из 13 основных находок архантропов 10 относятся к горам и ближним предгорьям. Мезолитические и неолитические следы человека на Восточном Памире обнаружены на высотах, недостижимых для современного человека без специальной тренировки – 4000-5000 м над уровнем моря. Исследованные нами плейстоценовые палеопочвы Лорийского плато Армении стратифицированы археологическими находками раннего палеолита и несут информацию о путях миграции древнего человека. Сложные вертикали рельефа предоставляли человеку больше надежных убежищ и хранилищ огня (скальные навесы, гроты, пещеры). Чистая ледниковая вода, сохранявшая упругость мышц крутизна склонов, защита от хищников и неприятелей в горных долинах, меньшее количество кровососущих насекомых, мягкий климат и большое климатическое разнообразие быстродостижимых территорий способствовали зарождению цивилизаций в горах Средиземноморья, Передней Азии, Тибета, Индокитая, Мексики, Перу, Абиссинии, Персии и Мидии, Урарту в Армении, бактрийской культуры в предгорьях Гиндукуша и т.д. Таким образом, динамичная среда вертикального мира, по мнению Голубчикова (1999), была мощнейшим катализатором биохимических процессов в организмах, мутагенеза и, в конечном итоге, эволюции человека.

Не с заболоченными равнинами великих рек, заселение и освоение которых стало возможным лишь при сравнительно высоком уровне гидротехники и социальной организации, а с разливами горных ручьев, по мнению последнего автора, следует связывать возникновение навыков земледелия и искусственного обводнения. В дальнейшем именно пойменное земледелие гор, где в диком состоянии росли злаковые и плодовые культу-

ры, трансформировалось в более рациональные формы орошаемого земледелия Нила, Двуречья, Инда.

Выдающийся ботаник и генетик Н.И.Вавилов выделил семь основных центров происхождения культурной флоры и фауны, и все они тяготеют к горным регионам тропиков и субтропиков (Вавилов, 1939). Весьма селекционно-перспективными для развития земледелия в северных странах считал Н.И.Вавилов высокогорные виды, адаптированные к зимним заморозкам и суровому климату.

Повышенная контрастность и разнообразие горных ландшафтов обеспечивают высокую биопродуктивность (Евдокимова, Ковалева, 1999) и создают комфортные условия при любых сюрпризах погоды: в период затяжных дождей и снеготаяния можно подыскать сухие участки, в засуху – спуститься во влажные долины. В горах ограничены перемещения животных и облегчена охота на них. Ежегодная регулярность миграции млекопитающих по определенным перевалам и тропам предопределила появление стоянок древнего человека, как позже пересечение торговых путей создавало стимул для возникновения городов (Голубчиков, 1999).

С другой стороны, «плотинный эффект» горных хребтов на пути вынужденных странствий племен и этносов привел к скоплению в пределах одной горной страны разнонаправленных потоков культур и рас. Таким «вулканом народов», например, стал Кавказ, на котором проживает более 50 национальностей. Необычайно пестр этнический состав таких горных стран как Афганистан, Иран, Непал. При этом в историческое время этносы, как правило, утверждались в горных долинах, не благодаря победам и завоеваниям, спасаясь от преследования, как нам удалось это проследить на примере изучения палеоэкологического архива горных почв Карачаево-Черкесии (Быковская, Ковалева, 2010).

Северокавказский регион встретил в начале нашей эры гонимых гуннами алан сухой в предгорьях и луговой степью в горах с плодородными пригодными для земледелия и отгонного пастбищного скотоводства горными черноземами и горно-луговыми черноземовидными почвами на выположенных участках горных долин, обилием строительного камня (известняка), близким и доступным лесом на склонах хребтов, организованными в скальном грунте и горном рельефе естественными оборонительными позициями. Эпоха стабильного почвообразования, по нашим данным (Ковалева, 2009) на занятых аланами лавинных конусах и отсутствия значительных ледниковых подвижек продолжалась вплоть до XIII века. За этот период поселения алан успели сформировать на нетронутых человеком поверхностях культурные слои городищ и селищ, террасированный агропейзаж. На настоящий момент известно более десятка городов-крепостей, хорошо приспособленных к особенностям горного ландшафта, окруженных переходящей в утесы каменной стеной, снабженных большим количеством многокамерных каменных построек, раннехристианскими

храмами и развитой системой фортификации – укрепленными цитаделями. Например, исследованное нами городище Кяфар расположено на узком лесистом хребте Мыщешта – на водоразделе рек Кяфар и Кривая на высоте 1100-1300 м и состоит из Верхнего и Нижнего городищ, расположенных анфиладой вдоль одной оси по ступенчато понижающемуся склону. Длина с севера на юг – 2 км, ширина – 10-200 м. Общая численность населения – 740-1780 человек. Площадь - 40 га (Аржанцева, 2001).

Уровень воды в горных реках был значительно ниже сегодняшнего, поэтому у городища Кяфар существовала разрушенная сегодня береговая часть, а наличие оросительных каналов выше зоны современного земледелия подтверждают выдвинутые гипотезы о более засушливом климате среднегорий. Эволюция и география аланского этноса на Северном Кавказе, по-видимому, зависела от динамики и амплитуды изменения природных условий, прежде всего, степени увлажнения климата и интенсивности экзогенных процессов. Расцвет аланских городских поселений совпадает по времени с сухим и теплым «архызским перерывом» в оледенении горных вершин Кавказа в 7-11 вв. и продвижением черноземов по горным долинам вверх. А распад аланской культуры в горах – с усиливающейся гумидностью климата, наступанием леса на степь, нарастанием лавинной активности и активизацией склоновых процессов перед началом Малого Ледникового периода, датированного по палеопочвенным данным концом 15 - началом 18 вв.

Таким образом, горные ландшафты – это постоянный источник природных и антропогенных катаклизмов, информация о которых записана на разных уровнях почвенного архива.

### ***Особенности интерпретации данных палеоэкологического почвенного архива в горах: проблемы и решения***

Возможность использования горных почв в качестве архива палеоэкологической информации осложняются тем, что в совокупности с труднодоступностью горных территорий, минорные взгляды на горные почвы часто во многом и определяют последующие поспешные выводы о всеобщей молодости горного почвообразования. Действительно, представления большинства почвоведов о горных почвах часто повторяют первые впечатления Докучаева от посещения Кавказа: «Здесь все так перепутано, перевернуто, перемешано, смыто или намыто, что не может быть и речи о нормальных почвах, почвах, лежащих *in situ* своего образования». Тем более, что сам почвенный покров гор, по мнению Ромашкевич (1996), величина постоянно меняющаяся. В результате, почвенный покров горных территорий до настоящего времени остается крайне малоизученным. Работы, посвященные детальной характеристике почв горных систем, единичны (Мамытов, 1963; Молчанов, 1990; Геннадиев, 1990; Красильников, 2008 и пр.). На почвенных картах континентов в области горных стран преобла-



дают весьма схематичные контуры вертикальных зон, для некоторых труднодоступных регионов просто выделены области «горной зональности», радиоуглеродные датировки почв некоторых горных регионов, даже таких доступных, как Внутренний Дагестан, отсутствуют.

Как следствие, использование архива горных почв осложняется еще и тем, что в применении к разным объектам, особенно в разных горных системах, смысл многих терминов, обозначающих типы горных почв, существенно меняется. Это касается не только понятия «горные черноземовидные почвы» или «черно-коричневые почвы», но и таких устоявшихся, казалось бы, в почвоведении явлений как «горные каштановые почвы», «горный чернозем», «горные лугово-степные почвы», «горно-тундровые почвы» и т.д. «В результате классификация почв Средней Азии, заслуживающая имени почвенной спекуляции, одним именем охватила почвы, обладающие различной растительностью и разными производительными способностями. Достаточно указать на пояс каштановых почв или горные черноземы. Получается, таким образом, почвенная драма» (Коровин, 1934). Некоторые типы почв, исходя из их первоначальных описаний, закрепились за определенными горными системами, хотя обнаруживаются в горах почти повсюду. Например, горно-лесные черноземовидные почвы на почвенных картах фиксируются только в Алтае и Саянах, где они были описаны Ковалевым и Хмелевым (Ковалев, Хмелев, 1968), хотя распространены и давно изучены и в Тянь-Шане, и в Крыму, и на Кавказе, и в Карпатах (Евдокимова, Ковалева, 1995).

Нет единства мнений и в отношении почв и структур почвенного покрова высокогорий (3000-6000 м), формирующиеся в условиях, не имеющие аналогов на равнине. Так Глазовская (2005) предлагает почвы перигляциальной зоны засушливых высокогорий именовать высокогорными пустынными, а не арктическими. Мамытов (1963) в альпийской зоне высокогорий описывает каштановидные почвы.

До сих пор остаются неопределенными объем и границы таких понятий, как «горные почвы», «горная зональность», продолжается дискуссия о специфичности горного почвообразования. В науке сформировались две противоречащих друг другу концепции о полной идентичности почвенной горизонтальной и вертикальной поясности и о специфичности горного почвообразования. «Каждой горизонтальной зоне соответствует своя вертикальная почвенная зона», - пишет Захаров в учебнике «Курс почвоведения» (1931). И именно эта парадигма на долгие годы затормозила развитие горного почвоведения и стала причиной многолетней дискуссии о его специфичности.

Между тем, Докучаевым еще в 1891 г. (Докучаев, 1949) был гениально предсказан закон вертикальной зональности, то есть закономерной смены одних почвенных зон другими с высотой местности. Ознакомившись с природой Закавказья, Докучаев полностью подтвердил свои теоре-

тические предположения и в 1899 г на заседании Закавказского сельскохозяйственного общества в Тифлисе представил доклад «О почвенных зонах вообще и вертикальных зонах в особенности».

Однако, выявление действительной картины распределения природных зон на поверхности горных склонов очень быстро было подменено поиском аналогий между вертикальными и широтными зонами. «Зонально-поясная закономерность, которой была пропитана в прошлом мысль географа и которая давит на нее еще и теперь, в значительной степени завуалировала действительную картину естественных отношений в горах ... Нечего говорить, что ... существующие представления о сменах почв и почвенных поясов очень мало продвигают наши отсталые ... взгляды вперед», - пророчески напишет в 1934 г. геоботаник Коровин.

Вместе с тем, Захаров в 1904 г. впервые установил и описал новый генетический тип почв – горные коричневые почвы, свойственные сухим субтропикам и не имеющие аналогов на равнине. В еще большей степени это относится к горно-луговым почвам высокогорий Кавказа, которым Захаров посвятил обширное монографическое исследование. Может быть, поэтому введенные им понятия и определения «интерференции, миграции, инверсии, выпадения, выклинивания, смещения» почвенных зон (Захаров, 1946) не прижились в науке, ибо, по сути, представляли собой «попытку подвести определенные закономерности под обычно наблюдающиеся в горных областях несоответствия с универсальной схемой вертикальной зональности (аналогичной широтной зональности)» (Ливеровский, 1949).

Вопрос об аналогии зонально-поясных ландшафтов подвергся серьезной критике со стороны Неуструева (1908, 1915). Выделение им каштановых почв территориального типа – «каштановые почвы южного Туркестана» - это уже хотя и одинокий, но шаг вперед в сторону забытых заветов Докучаева (Коровин, 1934). Зонально-поясной трафарет, по мнению Коровина (1934), в горных системах рассыпается вдребезги. Однако именно он стал основой для карты Прасолова и «почвоведы остались снова со старой схемой и ее ошибками», последствия которых мешают адекватному изучению горных почв и поныне.

Выходом из сложившейся ситуации и большим прорывом в развитии теории горного почвоведения стали работы Фридланда (1951). По его мнению, природные условия, в том числе и природные условия конкретных зон, являются результатом длительного исторического развития и взаимодействия двух групп факторов – не только биоклиматических, но и геолого-геоморфологических. Этот путь в изучении почвенного покрова горных ландшафтов, на наш взгляд, оказался наиболее перспективным, и привел к развитию учения о биоклиматических зонах, провинциях, фациях и областях (Герасимов, 1948 и др.). Его прогрессивность определяется факторным генетическим подходом, так как позволяет анализировать совокупность факторов и характер их влияния при создании различных географических

сред. Именно на этом подходе основана попытка регионального расчленения факторов зональности, которыми Фридланд считает термические условия и условия увлажнения, обуславливающие возникновение провинций и фаций и схематическая карта факторов зональности, а дальше, как следствие, и почвенно-географическое подразделение горных систем СССР (Фридланд, 1951).

Матрицу факторов почвообразования для горных почв Памира составил Чербарь (2001) и показал, что каждому типу горных почв соответствует комплекс факторов различной интенсивности. Именно принцип актуализма и соответствия типов почв определенным условиям среды позволяет выполнять палеоэкологические реконструкции прошлого, опираясь на подобные базы данных современных аналогов.

Молчанов (1990) отмечает, что частая смена литолого-геоморфологических и биоклиматических условий в горах обуславливает извилистость, прерывистость границ поясов и развитых в них почв и ввиду общей мелкой контурности не позволяет выделить достаточно обширные участки с почвами одного типа. Поэтому типы почв образуют сложнейшие комбинации между собой в пределах существующих почвенных поясов.

Причины отклонений от закона вертикальной зональности большинство исследователей связывает с движением влажных воздушных масс (подветренными эффектами фенів и наветренными эффектами дождевых теней) на склонах разных экспозиций, в котловинах и нагорьях и т.д. (Глазовская, 1953; Владыченский, 1998; Мамытов, 1963; Цех, Хинтермайер-Эрхард, 2007 и др.). Особенно силен иссушающий эффект опустившихся воздушных масс в изолированных межгорных котловинах или нагорьях.

Первостепенное влияние экспозиции склонов на формирование почвенного покрова подчеркивает Степанов (1975), а Владыченский называет это явление законом географии почв (1994). Однако Фридланд показал, что влияние солярной экспозиции сказывается не во всех горных странах. Наименее выражено это влияние в регионах с резким избытком или недостатком влаги, так как в этих условиях влияние экспозиции не приводит к существенному изменению условий почвообразования (Фридланд, 1951). Этот тезис был практически подтвержден Урушадзе (1979) в горах Западной Грузии (избыточное увлажнение) и Восточного Памира (условия крайней сухости) и Лобовой, Петровым (1945) в горах Центральной Азии. Весьма сложно также проследить смену природно-высотных и экспозиционных условий в ландшафтах Внутреннего Дагестана (Зонн, 1946).

Отдельного внимания в разработке подходов к интерпретации палеоэкологической информации в горах заслуживает опыт разделения горных систем мира на 2 группы по возрасту почвенного покрова – древние тропические горы и более молодые горы вне тропиков (Цех, Хинтермайер-Эрхард, 2007). Если существуют более древние (а это подтверждается результатами радиоуглеродного и иных методов датирования, и более моло-

дые горы, то логично предположить, что существуют и одновременные типы структур почвенного покрова в горах, причем одновременно в разных частях одной и той же горной системы. Например, древнее Лорийское плато Малого Кавказа со следами пребывания первобытного человека около 600 тыс л.н. и даже около 1 млн. лет назад и голоценового возраста поверхности Большого Кавказа. Или аридные склоны Памиро-Алая с третичными видами флоры и фауны и современные С-4 растительные группировки Северного Тянь-Шаня. Ситуация усугубляется еще и наличием древних плейстоценовых выровненных поверхностей, плато, поднятых на высоту около 5-6 тысяч метров и законсервировавших в строении почв факторы предыдущих эпох и целые биогеоценозы – terra-rosa в Тянь-Шане, каштановидные почвы Арабельских сыртов и т.п. (рис. 9).

Причем, как отмечает Ромашкевич (1996), общее развитие географических исследований почвенного покрова в горах позволило почвоведом многих стран ставить вопрос о множественности или даже бесконечности типов структур почвенной высотной поясности. Так, Фридланд (1951) выделил 4 основные группы систем вертикальной зональности, Глазовская (1973) – 14.



Рис. 9. Сырты Внутреннего Тянь-Шаня, высота 4500 м

Принципиально иной подход к объяснению аномалий вертикальной зональности заключается в выявлении причин внутренней неоднородности устройства горных биогеосистем. Так, Мамытов (1963) на примере почв Киргизии убедительно доказал возможность существования двух форм вертикальной зональности: вертикальной поясности почти равнинных ландшафтов межгорных впадин и сыртовых нагорий и вертикальной поясности горных склонов, окружающих межгорные впадины.

Герасимов в серии работ по Средней Азии (Герасимов, 1939; 1976), а затем Глазовская (1996) сформулировали ландшафтно-геохимическую концепцию, согласно которой система горы-равнины связаны водными и воздушными миграционными потоками вещества, которые нельзя не учитывать при рассмотрении почвенного покрова гор. Например, воздушный дальний перенос эоловой пыли из пустынных равнин Средней Азии идет на восток и юго-восток, формируя при осаждении на северо-западных и западных хорошо увлажняемых склонах гор Тянь-Шаня и Памиро-Алая серию ступенчатых лессовых предгорий - прилавков или адыров с сериями погребенных почв. Число погребенных почв в них увеличивается от одной до шести в зависимости от возраста и мощности лессовой толщи. Вместе с вертикальными потоками воздушных масс часть эоловой пыли поднимается в нивальную зону, где осаждаются на поверхности снежников и ледников. Этот процесс, как показывают исследования, продолжался в течение всего плейстоцена и голоцена, усиливаясь в теплые и сухие периоды и сменяясь размывом во влажные.

Часто необъяснимые аномалии в строении почвенного покрова гор объясняют повышенной сейсмической или вулканической активностью в горах, явно преувеличенной: большинство орогенов обладают вполне сформировавшимся к началу голоцена рельефом. Однако тектонические процессы вывели на поверхность пласты разных по составу и возрасту горных пород, что исходно определило разнообразие состава почвообразующего материала на сравнительно ограниченных территориях. Экзогенные (денудационные) процессы способствовали перемещению-перемешиванию материала вышедших на поверхность пластов и слоев горных пород и кор выветривания. Таким образом, материал современных горных почв прошел не одну стадию почвообразования, которое неоднократно прерывалось в результате смещений-перемешиваний. При этом перенос материала почвогрунтов мог совершаться на значительные расстояния (Ромашкевич и др. 1996).

Успешную попытку объединения теории морфолитогенеза с изменением системы биоклиматических показателей для объяснения формирования почвенных профилей в горах предприняли Алифанов и Гугалинская в горных ландшафтах Монголии (1999). На примере почв Хангайского нагорья показано, что развитие почвообразования можно разделить на два типа: направленное, связанное с изменением системы биоклиматических показателей, и ритмическое, связанное с изменениями морфолитогенной системы почвообразователей (рельефа и почвообразующих пород).

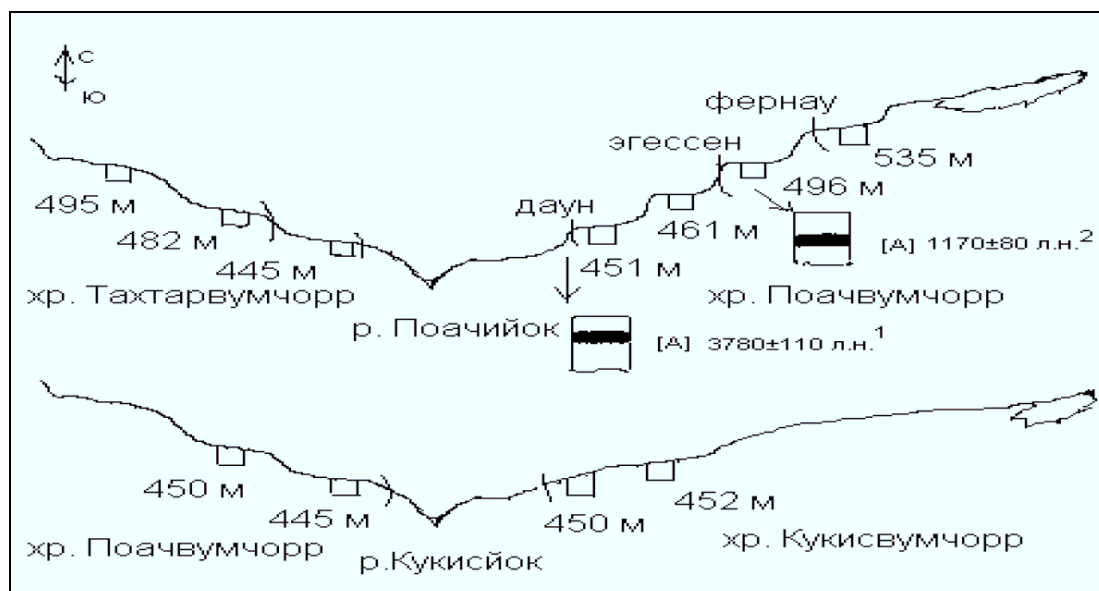
Новым перспективным направлением в учении о вертикальной зональности почв, создавшем теоретическую базу для вычленения разнотипных и разновозрастных морфолитопедоструктур в пределах горных стран стали установленные Трифионовой (1999) геосистемные закономерности географии горных почв. Ею показано, что в горных условиях в каче-

стве различно организованных геосистем могут быть рассмотрены как минимум две – высотный природный пояс (ландшафт) и горный водосборный бассейн. Так называемый «бассейновый подход» позволил связать роль биоклиматических и геолого-геоморфологических процессов в формировании почвенного покрова гор. Так, на водоразделах, не затронутых активным ростом русловой системы, развиваются почвы высотных поясов. Относительной стабильностью, древним возрастом и повышенной мощностью отличаются почвы нижних частей водоразделов – фандов. Это тип почвенных архивов, отражающий историю наиболее древних на планете ландшафтов. Способность почв на фандах к записи и сохранению информации осложняется процессами наложения современных признаков на прежде сформированные более древние, тип записи информации – иконоподобная по Таргульяну (Память почв, 2008). Однако, в глубоких слоях почвенных профилей разрешающая способность архива довольно высока.

В верхних частях склонов высоких террас на дневную поверхность экспонируются эродированные варианты палеопочв со стирающим или наложенным типом записи и сохранения информации, степень нарушенности которых отражает активность экзогенеза, сопровождающего обычно периоды похолодания климата.

В то же время, в пределах бассейна существуют зоны, где активность экзогенных процессов потенциально велика: это зоны первичной бифуркации (разветвления стоковой системы), зоны истоков (водосборных воронок), а также почвы склонов. В зонах бифуркации формируются самые молодые почвенные образования, как правило, на выходах древних пород. Переотложенные экзогенными процессами палеопочвы или части почвенных профилей и отдельных горизонтов погребены слоями аллювия в речных долинах или озерных чашах, эоловыми наносами в аккумулятивных позициях нижних частей склонов и замкнутых котловин. И первые, и последние являются свидетелями интенсивности геоморфологических процессов, приуроченных к эпохам усиления увлаженности климата и похолодания. Именно использование сведений о структуре горно-долинных ландшафтов позволяет систематизировать информацию об экзогенных процессах, интенсивность которых в горных долинах трудно переоценить. Землетрясения, оползни, осыпи, снежные лавины, наводнения и сели, солифлюкция, крип, морозное пучение и ветровалы, эрозия почв – вот неполный перечень естественных процессов жизнедеятельности горных ландшафтов. Более того, Ромашкевич (1998) даже считает, что почвообразующий субстрат в горных странах, сформировался не как элювий (на месте, без перемещения), а как раздробленный и перемещенный материал горных пород, чаще всего не связанный с подстилающими породами. Структурированию сведений о мозаичном покрове горных долин во многом способствует гляциологический или «моренный» подход, который впервые использовали для выделения разновозрастных почвенных конту-

ров немецкие почвоведы (Heuberger et.al, 1998; Kovaleva et al., 1999; Zech et. al., 2000). Действительно, на общем фоне деградации плейстоценового оледенения наблюдаются временные наступания и стационарирования концов горных ледников в голоцене в зависимости от погодных условий. Эпохи стабильного положения ледников сопровождаются отложениями конечных морен. Последующее отступление ледников от своих конечноморенных образований приводит к формированию заболоченных ландшафтов или озер в трогах. На их месте со временем формируются выровненные участки (моренные равнины), заполненные флювиогляциальными, лессовыми или озерно-ледниковыми отложениями – трог, луговины и т.д. Именно на таких выровненных участках наблюдается лучшая сохранность многослойных разновозрастных почвенных профилей (рис 10, 11). Предлагается на основе хронологии фронтальных и латеральных моренных стадий по свойствам развитых на них почв восстанавливать картину их эволюции. При этом используется международная система обозначений моренных стадий: LGM – максимальная стадия горного оледенения, LG – последнее оледенение, EG – раннеголоценовые рубежи ледников, NG – неогляциальные (позднеголоценовые) наступания ледников, ЛЛ – малый ледниковый возраст (период). Таким образом, поиск фронтальных конечноморенных образований и диагностика латеральных троговых плечей и уступов позволяет определить точные границы разновозрастных ландшафтов и контуров почв.



- - местоположение разрезов;
- 3780±110 л.н. - радиоуглеродные датировки почв: <sup>1</sup>- ИГАН-3184, <sup>2</sup>- ИГАН-3186
- ↘ даун - моренные стадии
- 495 м – высота над уровнем моря

Рис. 10. Пример применения «моренного подхода» к анализу почвенного покрова в долинах рек Поачийок и Кукисийок в Хибинском горном массиве

Сочетание «бассейнового» и «моренного» подходов в анализе ландшафтов горной долины позволило нам (Ковалева, 2009) выяснить, что нетронутые древние дневные палеопочвы в рефугиумах реликтовой флоры и фауны сохранились на высоких сыртах и водораздельных гребнях в горах Средней Азии, законсервировав экологические условия плейстоцена – это коричневые, бурые полупустынные и криоаридные почвы. Эродированные варианты древних палеопочв экспонируются на поверхность на склонах. Почвенный покров фронтальных и латеральных троговых уровней отражает смену климатических событий голоцена. А на моренных отложениях максимальной стадии плейстоценового оледенения на Тянь-Шане и Кавказе сформированы горные черноземы. Полигенетичные горные черноземовидные, лугово-степные или дерновые почвы луговин со вторыми гумусовыми горизонтами обнаружены на моренах последней волны оледенения и ледниковых осцилляций и в Тянь-Шане, и на Кавказе, и в Хибинах. На моренах раннего субатлантического возраста во всех горных системах формируются субальпийские и альпийские луговые почвы. А самые молодые почвенные разности обнаружены в зонах бифуркации – дерново-гольцовые, примивно-щебнистые и альпийские почвы-ранкеры.



Рис. 11. Вид латеральных моренных уровней в Хибинском горном массиве

### ***Примеры расшифровки палеоэкологических летописей архива горных почв***

На примере архивов горных почв некоторых горных систем Евразии продемонстрируем возможности обсуждаемых методов и подходов. Их использование позволяет выделить в истории описываемых областей несколько резко различающихся этапов.



В Тянь-Шане и, особенно, на Памиро-Алае катастрофическое разрушение ледниковых покровов началось раньше, чем в горах Европы - в конце плейстоцена (ранее 30 тысяч лет назад). При этом ледники Средней Азии в эпоху своего максимального развития имели долинный характер и не опускались до предгорий.

Отложения последнего плейстоценового оледенения заполняют межгорные котловины и хорошо различимы в лессово-почвенных сериях низко- и среднегорий. При стратификации этих отложений весьма информативными оказались результаты изотопных анализов с применением отношения  $\delta^{13}\text{C}$ , отражающего господствующий тип растительности, и  $\delta^{15}\text{N}$ , маркирующие разные этапы педогенеза.

Впервые для данного региона по величинам  $\delta^{13}\text{C}$  около  $-4-5\text{‰}$  в лессовых горизонтах лессово-почвенных серий (табл. 1) нами диагностирована криоаридная эпоха последней волны оледенения. Вся поверхность Киргизского хребта Тянь-Шаня до высоты 1500 м представляла собой перигляциальную пустыню, аналог которой сегодня можно наблюдать в высокогорных ландшафтах Памира. Утяжеление значений  $\delta^{13}\text{C}$  в лессах и погребенных почвах интерстадиалов обусловлено его утяжелением в гляциальной атмосфере, которое, в свою очередь, должно было сопровождаться резким понижением его концентрации. Отсутствие процессов биологической активности диагностируется по отсутствию разницы между значениями  $\delta^{13}\text{C}$  гумуса и карбонатов и по минимальным значениям  $\delta^{15}\text{N}$ . Изотопный состав атмосферы был тяжелее сегодняшней на  $4\text{‰}$  по углероду и на  $2-3\text{‰}$  – по изотопу азота. Почвы длительного межледниковья, наступившего 25000 лет назад, представляли собой хорошо развитые (мощность до 20 см) бурые полупустынные разности под полупустынной и коричневые – под сухостепной криоаридной растительностью С4 типа. Почвообразование протекало в экстраконтинентальных условиях.

Таким образом, эпоха позднеплейстоценового почвообразования в Тянь-Шане имела место 25-30 000 л.н., а затем была прервана значительной, но непродолжительной волной оледенения, глобальное голоценовое потепление в Тянь-Шане началось 18000 л.н. Действительно, катастрофическое изменение климата, растительности и химического состава атмосферы прослеживается с начала голоцена – 15000 лет назад. Причем, прежде всего, по резкой смене типа фотосинтеза, последовавшей за резким увеличением концентрации углекислоты в атмосфере планеты. Судя по значениям изотопного состава почвенного гумуса и карбонатов (до  $-24\text{‰}$ ), это была эпоха появления растительности С-3 типа в высокогорье и САМ-типа фотосинтеза ( $\delta^{13}\text{C}$  гумуса  $-12,3\text{‰}$ ) в среднегорье, высокой влажности и облачности. Это были первые шаги нового климатического и геологического периода в жизни планеты – голоцена, хотя почвы пока все еще те же – малогумусные коричнево-бурые. Увеличение величин диаметра песчаных компонентов, доминирование пролювиального генезиса лессов (исхо-

дя из значений содержания кварца), увеличение значений Сгк/Сфк подтверждают данный вывод.

Около 8-6 тысяч лет назад реконструирован теплый и влажный период с температурами около  $+15^{\circ}\text{C}$ , с широко распространившимся болотным типом растительности в пониженных элементах рельефа благодаря интенсивному таянию ледников. Возраст горизонта В на высотах 2350 и 2450 м в изучаемых долинах –  $7130\pm 610$  и  $6440\pm 180$  лет соответственно (Максимов, 1980; Поморцев, 1980). Таким образом, первое очень резкое изменение климата в сторону потепления начинается с начала голоцена. Ледник интенсивно отступает, формируются лугово-болотные и торфяные почвы, в некоторых регионах засоленные, в ледниковых долинах господствует гидроморфный тип почвообразования. Значения  $\delta^{13}\text{C}$  -19 - -25 ‰ отчетливо диагностируют этап резкого потепления климата в начале голоцена и смену типов растительности. При этом времени формирования современного горизонта В (де факто - самостоятельного педолитокомплекса или элементарного почвенного образования) соответствует повышение температур и развитие влаголюбивых растений по мере обсыхания приледниковых водоемов и формирования лугово-болотных почв. В предморенных понижениях формируются временные водоемы, признаки донных отложений которых должны наследовать горизонты В современных почв. Температуры не понижались ниже  $0^{\circ}\text{C}$ , активизировались процессы дефляции и аккумуляции.

Безгумусные почвы, сохранившиеся или переотложенные, попадают в гидроморфные условия среды, которые создает оттаивающая многолетняя мерзлота. Болотные и луговые ландшафты развиваются в горных долинах. Концентрация  $\text{CO}_2$  в атмосфере резко увеличивается, не менее резко меняется тип растительности. Господствует СЗ-тип фотосинтеза, адаптированный к высоким концентрациям диоксида углерода – пентозофосфатный восстановительный цикл углерода, известный под названием цикла Кальвина. СЗ растения развивают в отличие от своих предшественников мощные корневые системы во влагонасыщенных рыхлых грунтах. Перестраиваются циклы биофильных элементов. Травянистые растения вытеснили своих криостепных сородичей в высокогорья и на склоны высоких хребтов. На склонах же в условиях лучшего дренажа сохраняются коричневые почвы под можжевельниковыми лесами с принципиально иным характером биологического круговорота (Ковалева, 1989).

Ледники Тянь-Шаня сократились до размеров, близких к современным или отсутствовали вовсе. Об этом свидетельствуют радиоуглеродные датировки почвенных горизонтов, погребенных в моренах хребта Терской Алатау вблизи современного края ледника – 8320 лет и 8610 лет на высоте 3100 м. Некоторое увеличение содержания хлорофилла и Рg-фракции в средних частях профилей - возможный реликт их палеогидроморфного прошлого (Ковалева, Евдокимова, 1995).

Переход от почв нижнего и среднего голоцена к современным, по данным Степанова, Абдуназарова (1977), также происходит в одном направлении – в сторону остепнения. И ими же установлена фаза перехода гидроморфных почв в полугидроморфные.

Голоценовый климатический оптимум с теплым и сухим климатом с температурами выше современных, с С-3 типом растительности, развивавшейся на черноземных почвах в изучаемых долинах, может быть реконструирован около 6-4 тысяч лет назад. Возраст погребенного гумусового горизонта –  $5560 \pm 90$  лет на Киргизском хребте (Ковалева, Евдокимова, 1995), 4200 – на Алайском (Zech et. al, 2000). Они отличаются зернистой структурой, типичным для черноземов или черноземно-луговых почв черным цветом. Этот горизонт сформировался в период, когда среднеголоценовые ландшафты были представлены луговыми степями. Атлантический период голоцена, по-видимому, не был гумидным, так как по мере обсыхания приледниковых водоемов формировались черноземы.

К среднему голоцену новые высокогумусные типы почв распространяются до самых вершин хребтов, вплоть до границы современного оледенения мы обнаруживаем вторые гумусовые горизонты, ледник, по-видимому, полностью деградировал. Структуры почвенного покрова очень просты: от подножия (1000 м) до 1600 м – каштановые почвы, от 1600 до 3600 – черноземы, 3600-4000 горно-луговые почвы. На склонах – коричневые почвы позднеледниковья под арчевниками.

Черные мощные гумусовые горизонты реликтовых почв, имеющие обширное площадное распространение, свидетельствуют о мягком умеренном климате, распространении покрытосеменных растений С3 типа ( $\delta^{13}\text{C} = -25\text{‰}$ ) растительности на Тянь-Шане и на Памире. По сравнению с современными, климатические условия среднего голоцена должны были быть суше и теплее на Северном Тянь-Шане и менее континентальны и более влажными – в Центральном Тянь-Шане и на Памире. Очень высокие величины показателей гумификации и коэффициентов экстинкции, фульватно-гуматный и гуматный тип гумуса во вторых гумусовых горизонтах, высокая степень ароматичности гумусовых кислот (Ковалева, Евдокимова, 1995) диагностируют автоморфные условия почвообразования, существовавшие в зоне черноземов в среднем голоцене.

Впоследствии эта почва, просуществовавшая около 2000-3000 лет, была перекрыта новым наносом эпохи позднеголоценового похолодания, в котором и формируется современная почва. Переход от среднего голоцена к позднему, исходя из величин  $\delta^{13}\text{C}$  ( $-28\text{‰}$ ), характеризовался изменением климата в сторону увлажнения, которое без сильного понижения температур привело к росту оледенения. Природные зоны спустились вниз по долинам, вакантную нишу в высокогорьях занимает новый субальпийский горно-луговой тип почвообразования и растительности, накладываясь на профиль горного чернозема. Таким образом, современная субальпийская и

альпийская растительность и черноземовидные почвы на высотах ниже 3000 м и субальпийские луговые почвы выше 3000 м начали формироваться около 4-3 тысяч лет назад. Возраст современных гумусовых горизонтов черноземовидных почв  $3010 \pm 90$  лет на Киргизском хребте (Ковалева, Евдокимова, 1995),  $2850 \pm 110$  лет – на Пскемком хребте (Соломина, 1999).

Неогляциальные комплексы морен хорошо различимы в исследованных горных долинах Западного и Северного Тянь-Шаня, и лишь в Центральном Тянь-Шане и на Памиро-Алае образуют единые слаборасчлененные образования, что свидетельствует о меньшей амплитуде ледниковых осцилляций.

Пленки миграционных форм карбонатов в верхних горизонтах и в современных поверхностных почвах по сравнению с некристаллическими карбонатами в погребенных частях профилей позволяют диагностировать более гумидный и иногда прохладный климат чем в среднем голоцене. Увеличение уровня осадков привело к элювиальной дифференциации профилей по илу, железу. Микроморфологические исследования этих горизонтов обнаружило сильно ожелезненные анизотропные глины различного возраста, с 5-10 слоями в них, иногда перемежающиеся со слоями кальцита – результат понижения зоны иллювиирования и последующего окарбоначивания. Природные зоны спускаются вниз по долинам.

Формирование текстурно-дифференцированных профилей черноземовидных почв в среднегорье, по нашему мнению, приурочено именно к этому периоду. В низкогорье сохраняется чернозем, но интенсивность черноземообразовательного процесса меньше былого: меняется его подтип – с типичного на выщелоченный. К средневековому климатическому оптимуму он вновь восстановит оставленные позиции.

Таким образом, именно во второй половине голоцена начинает формироваться вертикальная природная зональность в Высокой Азии с верхним луговым поясом и горно-луговыми почвами в зоне действия надмерзлотной верховодки, средним - лесным на склонах и черноземовидном в долинах, в низкогорье – каштановые почвы. Более гидроморфный тип лугового почвообразования накладывается на черноземный или коричневоземный профиль – формируются текстурно-дифференцированные черноземовидные, чернокоричневые или темноцветно-лесные почвы.

Профили черноземов низкогорий могут быть только подразделены на верхнюю и нижнюю части, которые соответствуют среднему и позднему голоцену по характеристикам органического вещества.

На Тянь-Шане и, особенно на Памире, переход к средневековому климатическому оптимуму не был особенно контрастным, хотя, судя по свойствам органического вещества горизонтов 1000-летнего возраста вновь сопровождался аридизацией климата на севере горной страны и увлажнением – на юге и отступанием нижней границы луга вверх, а леса – на склоны. Господствующий тип почвообразования – снова черноземный.

На моренах малого ледникового возраста, появившихся около 300 (по кольцам арчи) или 100 лет назад, сформировались горно-луговые альпийские почвы, наследовавшие изотопный состав холодной климатической эпохи. Ледники опустились вниз до высоты 3000 м. В Высокой Азии малый ледниковый период сопровождается усилением гумидности климата и усилением явлений текстурной дифференциации профилей. Диагностируется отчетливая многоэтапная элювиально-иллювиальная миграция соединений железа, как слабоокристаллизованных и аморфных, так и валовых и илистой фракции. Процесс иллювиирования накладывался, по меньшей мере, дважды на профиль уже полигенетичной к тому времени почвы. Серебряный (1980) обнаруживает торфяники в Ферганской долине, а Бабур-Наме описывает значительные площади лесов на низких абсолютных высотах и повсеместное развитие небольших поселений с развитой сетью ирригационных каналов (Соломина, 1999). Эти факты свидетельствуют о флуктуациях климата в течение малого ледникового времени.

Современную эпоху почвообразования, наступившую после малого ледникового периода, отличает отчетливая тенденция увеличения температур воздуха, отступления горных ледников и деградация мерзлоты повсеместно во всех исследованных долинах и нарастания гумидности климата. Им отвечает высокое содержание гумуса – до 30 % в почвах высокогорий, низкие оптические плотности и грубый характер гумуса, но значения  $^{13}\text{C}$  еще не достигли позднеголоценовых минимумов (сейчас - -25 %, а в поздне голоцене - -28%). Возраст современного гумусового горизонта, по нашим данным, -  $109 \pm 47$  лет. Антропогенное использование ландшафтов привело к упрощению состава травостоев, но не изменило характер биологического круговорота элементов и поэтому существенно не повлияло на характер эволюции почв в течение последнего столетия (Ковалева 1989; Евдокимова, Ковалева, 1999).

История развития почвенного покрова горных и предгорных территорий **Кавказа** не менее сложна, ее характер определяется не только частой сменой почвообразующих пород и рельефом, но и, в значительной степени, историей смены биогеоценозов. Для каждой высотной зоны характерна своя особая серия пройденных этапов во взаимоотношениях лесной и степной растительности, наложивших отпечаток на эволюцию почвенного покрова (Евдокимова, Быковская, 2001). Новопокровский еще в 1925 году писал: «Район этот, хотя в настоящее время и богат лесами, но пережил когда-то сухой (последледниковый) период – степную фазу, после которой, с наступившим увлажнением климата, опять начала завоевываться лесом, причём чернозём подвергся процессу деградации».

По нашим данным, почвообразование на Кавказе укладывается во временные рамки голоцена, судя по радиоуглеродным датам. Начавшееся в раннем голоцене черноземообразование в Кисловодской впадине на высотах около 900-1100м на отложениях последнего плейстоценового оледене-

ния, продолжается до сих пор. Ранний голоцен на Кавказе был временем теплого и влажного климата, когда горнолуговые и лугово-болотные почвы были распространены под влажными альпийскими лугами. Действительно, характеристики органического вещества переотложенного гумусового горизонта, обнаруженного в толще флювиогляциальных отложений, (радиоуглеродный возраст  $10620 \pm 210$  лет) обнаруживают гуматный гумус, 70 % степень гумификации. Но повышение величины коэффициента цветности и коэффициента Алешина, по сравнению с черноземами, говорит о невысокой ароматичности молекул, сближающий данный горизонт с горно-луговыми почвами. Вероятно, на высоте 1200-1300 м в начале голоцена располагались заболоченные горные луга. Известно, что морены максимальной стадии вюрмского оледенения в изучаемом регионе обнаружены на высотах 1050-1323 м. Формирование горно-луговых почв начала голоцена было прервано стоком талых вод и солифлюкционными потоками, активизацией эрозионной активности из-за поступления огромных водных масс тающей мерзлоты. С этим выводом хорошо согласуются данные из разреза Луганского болота о существовании ледника на месте сегодняшнего озера.

По Яковлеву (Яковлев, 1914), эволюция почв Северо-Западного Кавказа также определялась увеличением влажности климата и наступанием леса на степь и проходила в три стадии: черноземную, слитизации черноземов и, наконец, их деградации с превращением в серые лесные почвы со вторым гумусовым горизонтом. Сходные варианты эволюции почв, связанные с наступанием лесов по всей территории Кавказа, даны Захаровым (1935).

Ромашкевич (1984, 1988) в долине реки Кубани отмечает, что на надпойменных террасах рек рассматриваемой территории сформированы толщи долинных луговых почв с погребенными горизонтами и слоями. В этих толщах выделяются погребенные гумусовые горизонты раннеголоценового ( $8020 \pm 120$  лет и  $9100 \pm 80$  лет) и атлантического ( $3720 \pm 140$  лет) возраста, имеющие более темные тона, чем современный верхний гумусовый горизонт. В целом, по составу гумуса, структуре горизонтов погребенная толща по сравнению с дневной имеет явные черты более сухого гуматного почвообразования, по-видимому, по типу сухого варианта черноземообразования. Сохранившиеся гумусовые горизонты или прослойки свидетельствуют о более теплом и сухом почвообразовании, чем в настоящее время: темноцветном в горно-луговом поясе и сухом черноземном в долинах (Ромашкевич, 1980).

В последнее время все более расширяются исследования эволюции почв с помощью разновозрастных датированных курганов. Александровским и Бириной (1987) была предпринята попытка поиска древних курганов, характеризующих эволюцию лесных почв в зоне миграции границы леса и степи. Под исследованными курганами обнаружены погребенные

черноземы типичные и выщелоченные, имеющие характерные морфологические свойства. Современные черноземы типичные, аналогичные погребенным, в настоящее время распространены на большом удалении (50-80 км и более) в условиях более сухого климата, с годовым количеством осадков не более 600-700 мм. Следовательно, здесь в конце атлантического - суббореального периоде на месте лесов была распространена черноземная степь (почти все курганы степной стадии сложены из чернозема). Переход от степного этапа к лесному, очевидно, относится к началу субатлантического периода (2500 лет назад) (Александровский, Бирина, 1987). В полосе, занятой лесом, черноземы эволюционировали в серые лесные почвы. Подтверждением тому, что серые лесные почвы в прошлом здесь были черноземами, служат хорошо сохранившиеся в их профиле мощные вторые гумусовые горизонты. Эти горизонты представляют собой нижнюю часть прогумусированной толщи среднеголоценовых черноземов, горизонты АВ последних. Горизонты А былых черноземов полностью деградировали под лесом (Александровский, Бирина, 1987). Таким образом, одним из объяснений эволюции почв предгорий Северного Кавказа может быть увеличение влажности климата 3-2,5 тыс. лет назад и распространением лесов с гор на холмистые предгорья и местами на предгорную равнину, занятые до этого черноземной степью. В середине первого тысячелетия нашей эры (возраст иллювиального горизонта бурозема составляет  $1480 \pm 140$  лет (RGI-55)) на высотах около 1700 м формируются буроземы, эволюция которых под лесом на фандах не прерывалась в течение последних 1500 лет похолоданием малого ледникового периода.

По-видимому, именно во второй половине голоцена начинает формироваться сегодняшнего вида вертикальная природная зональность на Кавказе с верхним луговым поясом и горно-луговыми почвами в зоне действия надмерзлотной верховодки, средним - лесным на склонах и черноземовидном в долинах. Среднегорья заняты лесом на бурых лесных почвах на склонах или горно-луговых черноземовидных почвах в долинах. В зоне предгорий сохраняется чернозем, но интенсивность черноземообразовательного процесса меньше былого.

Данные о теплом интервале, предшествовавшем малому ледниковому периоду на Кавказе – так называемом «Архызском перерыве» в оледенении были опубликованы Тушинским (1964;1966). Радиоуглеродное датирование погребенной почвы, обнаруженной в одном из лавинных конусов, показало возраст  $1280 \pm 100$  л.н. (Родькин, 1979). По заключению Тушинского и Турманиной (1979), верхняя граница леса в архызское время была на 200-300 м выше, чем сегодня. По нашим данным, морфология погребенных горизонтов в горно-луговых черноземовидных почвах Зеленчукского района Карачаево-Черкесии и их химические характеристики показывают определенные отличия от дневных почв. Реликтовые гумусовые горизонты, возраст которых  $1700 \pm 60$  лет (Ковалева, 2009), обладают зерни-

стой структурой и черной окраской, темнее современного дневного гумусового горизонта. В ряде случаев для них характерны новообразования в виде гляцевых пятен и потеков гумуса. Следовательно, условия формирования погребенных гумусовых горизонтов обсуждаемых почв отвечали более теплым и сухим эпохам по сравнению с современной. В низкогорьях и в среднегорьях Северного Кавказа ко времени поселения алан господствовали черноземы под степной и лугово-степной растительностью соответственно. И, судя по мощности реликтовых толщ, это был достаточно продолжительный ксеротермический период, в течение которого почвообразование преобладало над разрушительными экзогенными процессами. Гуматный гумус и богатое бензоидными структурами строение (по данным инфракрасной спектроскопии и ядерного магнитного резонанса) гуминовых кислот является индикатором теплого и сухого климата. Следовательно, и верхняя граница леса должна была быть выше на 200-300 м, чем сегодняшняя, оледенение горных вершин, по-видимому, отсутствовало вообще. Это была эпоха теплого средневекового интервала на Кавказе, «архызского перерыва» в оледенении горных вершин.

Впоследствии же граница леса опускалась как минимум до сегодняшних высот в 1000-1300 м и, возможно, ниже, так как в органическом веществе горных черноземов по составу лигниновых фенолов обнаруживаются молекулярные следы мелколиственной древесной растительности – березы, ольхи, ивы и т.д. (Ковалева, Ковалев, 2009). Под надвинувшимся лесом черноземы луговых степей приобрели признаки глинистой дифференциации, а на степных участках предгорий их профили стали более мощными и выщелоченными от карбонатов.

Малый ледниковый период в изучаемом регионе начался 300-500 лет назад и проявился в нарастании ледников, а, значит, усилении лавинной активности и погребении средневековых черноземов под толщей пород. Жизнь в среднегорье стала невозможной. Результатом активизации экзогенных процессов является эволюция черноземов среднегорий в горно-луговые черноземовидные почвы на речных террасах с более близким уровнем грунтовых вод. Карбонатные черноземы предгорий эволюционировали под влиянием усилившейся увлажненности климата в остаточнокорбонатные и выщелоченные. «Архызский максимум» в оледенении горных вершин Кавказа в 7-11 веках довершил переселение алан в более спокойные регионы к середине второго тысячелетия.

На аналогичных высотах - 2900 м - в Дагестане уже около 8 т.л.н. (8060 ± 240 лет (RGI-57)) сформировались гумусированные хорошо развитые полугидромофрные почвы за счет увеличения увлажненности под альпийскими низкотравными лугами или лесом, но в более холодных условиях, чем сегодня. Эта, вероятно, горно-луговая альпийская или бурая лесная почва была перекрыта мореной Шахюрдской стадии Шахнабадского оледенения, ледники которого спускались до высот 3000-3200м. В атлантиче-



ском периоде голоцена вектор эволюции почв резко меняет свое направление с гумидного на аридно-степной, происходит формирования лугово-степных почв. Погребенные горизонты горно-степных почв Дагестана, возраст которых на высоте 2900 м составил  $6430 \pm 270$  лет (RGI-56) и отличаются высоким содержанием ГК, пологим характером спектров отражения, низкими величинами коэффициента отражения (26 %), наличием реликтовых видов почвенных животных - мокриц и жуужелиц, - также диагностирующими сухие аридные интервалы почвообразования. Активизировавшиеся в историческое время склоновые процессы формировали облик рельефа вплоть до средних веков, а почвы были подвержены действиям стирающей эволюции. Современный гумусовый горизонт горно-луговой субальпийской почвы не разрушен талыми водами малого ледникового периода, то есть современные лугово-степные почвы Дагестана активно развивались в средневековый климатический оптимум - около 1251 – 1449 гг. ( $610 \pm 150$  лет (RGI-54)), а интенсивность оледенения в малый ледниковый период в горном Дагестане была менее значительна, нежели на Северо-Западном Кавказе.

Освобождение Кольского полуострова и **Хибинского горного массива** от покровного валдайского ледника, судя по данным радиоуглеродного датирования почв, затянулось до 7500-7000 лет назад и закончилось лишь к концу раннего голоцена. Поэтому формирование основных типов почв стало возможным только в среднем голоцене. Пульсирующие изменения климатических условий голоцена отражались ритмичным развитием приледниковых ландшафтов. Голоценовые почвы, захороненные естественным путем вследствие подавления почвообразования осадконакоплением, широко развиты в аккумулятивных и транзитно-аккумулятивных ландшафтах, там, где голоценовое почвообразование прерывалось накоплением нового слоя породы разного генезиса. Уже сам факт естественного погребения почв свидетельствует о катастрофических изменениях факторов почвообразования. Почвенный покров хорошо отражает динамику распада последнего оледенения. Именно изучение хронорядов почв позволяет расшифровывать временную последовательность становления и изменения свойств почв в меняющейся природной среде. М.М. Мазыро (1936) упоминает о почвах, развитых в замкнутых депрессиях по верхним частям склонов в пределах горной тундры. Приводится факт характерного слоистого сложения профиля, их полицикличности. Эти почвы рассматриваются им как аллювиальные почвы, развитые на древних аллювиальных озерных отложениях.

Тип дерновой иллювиально-железистой почвы под сообществом тундровой луговины в пределах горно-тундрового пояса был выявлен Владыченским и Богомоловой (2004). Общие характеристики свойств дерновых почв с погребенными горизонтами приведены в недавних работах

коллектива авторов под руководством Владыченского (Владыченский и др., 2006; Владыченский, Богомолова, 2004).

Начало карового оледенения Хибин относится к 5-7 тысячелетию до н.э. Конечные морены этого возраста, расположенные в лесном поясе, образуют первую стадию (гляциальный максимум) в динамике голоценового оледенения. Отсутствие датировок почв атлантического возраста в Хибинах объясняется, по-видимому, активизацией лавинной и эрозионной активности в условиях планетарного термического максимума среднего голоцена. Последнее возможно лишь при достаточном увлажнении климата.

Осцилляции и этапы длительного стационарирования горных ледников второй половины голоцена отмечены системой моренных гряд на разных высотах. Для выделения моренных стадий нами изучалась литогенная составляющая почв, унаследованная от почвообразующих пород. В свою очередь, маркерами межстадиальных циклов голоценовых оледенений являются педогенные свойства, и, особенно, характер органического вещества почв.

В районе исследований реконструированы 3 стадии развития долинного горного оледенения, сопровождавшиеся повышением лавинной активности на склонах, и на основе радиоуглеродного анализа датированы 3 эпохи почвообразования в периоды «межледниковий». 4500-3500 л.н. – эпоха суббореального потепления. Радиоуглеродная датировка погребенной почвы  $3780 \pm 110$  л.н. (Ковалева, 2009). Лавинная деятельность сокращалась. На морене ледниковой эпохи даун и ее флювиогляциальных отложениях в высотном интервале 440-450 м над уровнем моря протекало активное почвообразование лугового типа. Моренные отложения этой эпохи характеризуются самыми низкими значениями индексов выветривания, то есть эта морена – самая древняя в ряду изучаемых морен

Приведенные выше факты снижения содержания неустойчивого нефелина и увеличения содержания относительно устойчивого микроклина, хорошей отсортированности и отсутствия крупнозема, увеличения значений среднего диаметра песчаных компонентов в погребенных почвах служат свидетельством продолжительного и более интенсивного гипергенного преобразования погребенного горизонта.

Свойства органического вещества погребенных почв свидетельствуют о том, что гумусообразование в них шло по тому же типу, что и в современных почвах, когда доминирующим является луговой тип почвообразования. Однако, более теплая и влажная стадия с усилением лугового процесса, которую проходили почвы троговых долин по мере их формирования на месте бывших приледниковых озер и в условиях формирования надмерзлотной верховодки, нашла свое отражение в свойствах гуминовых кислот и в виде разновозрастных следов иллювиирования илистой фракции и элювиально-иллювиального перераспределения полуторных оксидов.

Время 4100-3800 л.н. на основе радиоуглеродного датирования погребенных почв в лавинных конусах Ващалова (1987) также выделяет как теплый и относительно сухой период с максимальным снижением лавинной активности. Погребенные почвы в минеральных конусах выноса снежных лавин маркируют сокращение лавинной активности, тесно связанное с длительным снижением величины зимних осадков, хотя среднегодовое количество осадков увеличивалось на 25-50 мм по сравнению с современным. Началось формирование торфяников.

Вторая волна неогляциального похолодания, оледенение стадии эггесен приурочено к 3500-1500 л.н. Это время активизации склоновых процессов и прерывания педогенеза. Молодость данных отложений по сравнению с предыдущей стадией обнаруживается увеличением индексов выветривания, тенденцией к увеличению содержания стронция, циркония и титана, что указывает на меньшую степень их преобразованности. Ващаловой (1984) намечено два периода образования почв, погребенных в последствии в лавинных конусах: 1500-1770; 2100-2300 лет назад.

По нашим данным, эпоха малого климатического оптимума с активным развитием дернового типа почвообразованием в долинах и формированием подбуров на склонах началась около 1200-1000 л.н. Радиоуглеродная датировка погребенной почвы -  $1170 \pm 80$  л.н. (Ковалева, 2009). Максимально сокращалась лавинная активность.

По мнению некоторых исследователей (Ващалова, 1987), именно это время для северных районов ЕТС следует рассматривать как климатический оптимум последних тысячелетий, под которым понимается «определенный этап времени, когда оптимальное соотношение тепла и увлажненности создавало условия для максимальной биологической продуктивности растительного и животного мира». Видимо, эти особо благоприятные для биоты условия способствовали массовой колонизации растительностью горных склонов и привели к резкому сокращению подвижности моренного материала на них. Последнее благоприятствовало формированию почвенных горизонтов (Ващалова, 1987).

На морене гляциальной стадии эггесен и ее флювиогляциальных отложениях на высоте 470-490 м протекало активное почвообразование и формирование дерново-подбуров в луговинах троговых долин. Почвы, развитые на моренах рассматриваемой стадии, отличаются неоднородностью гранулометрического состава, отсутствием корреляции между средним диаметром песчаных компонент и степенью их отсортированности. Следовательно, условия увлажнения не были благоприятны для сортировки материала, а это возможно лишь в сухих условиях среды. Характер преобразования первичных минералов в профилях практически не отличается от современного, свойства органического вещества, на первый взгляд, идентичны. Однако элементный состав гуминовых кислот и их инфракрасные спектры свидетельствуют о большей обогащенности гуминовых ки-

слот погребенных субатлантических почв азотом, и, следовательно, об их большей биологической активности и о сдвиге вертикальных растительных поясов вверх. В погребенных почвах средневекового оптимума наблюдается тенденция элювиально-иллювиального распределения полуторных оксидов, распределение тонких частиц по профилю носит бимодальный характер. Верхняя граница леса должна была быть выше на 150-200 м.

Вашалова (1984) на основании данных радиоуглеродного датирования выделяет погребенные почвы в лавинных конусах и указывает, что почва малого климатического оптимума (700-1600 л.н., т.е. 5-12 вв. н.э.) обладает наилучшей сохранностью и распространенностью. Перов (1968) отмечает, что общее свойство почвы этого периода - хорошо развитый профиль и мощный торфянисто-гумусовый аккумулятивный горизонт (до 23 см), значительно превышающий мощность современных и более древних погребенных почв. В это время (Соломина, 1999) в Хибинах граница леса повышалась максимально, примерно на 200 м выше по сравнению с современной, а ледники полностью исчезали. Повторяемость лавин была в два раза ниже, чем сегодня (Вашалова, 1987), так как на периферии лавинных конусов процессы почвообразования преобладали над процессами накопления рыхлого материала.

Остатки древесины в почвах у бывшей верхней границы леса обнаружены на высоте 450-520 м, т.е. примерно на 100 м выше современной границы прямоствольного леса. Один из образцов, датированный по радиоуглероду, имеет возраст  $600 \pm 90$  л.н. (Соломина, 1999). Мазыро (1936) отмечает, что развитие подзолистых почв в полосе березового криволесья свидетельствует о бывшем более высоком распространении еловых лесов. Полигенетичным почвам современных долинных тундр свойственен профиль почв, сформированных под хвойными лесами: наличие подзолистого и элювиально-гумусового горизонта. Однако, в химических характеристиках этих почв проявляются черты тундровых. Этот климатический этап в Хибинах сопоставляется со временем архызского перерыва на Кавказе (Турманина, 1979).

Малый ледниковый период, или гляциальная стадия фернау, имел две фазы похолоданий: в 13 и 19 веках. Почвообразование протекало на морене и ее флювиогляциальных отложениях на высоте 540-550 м над уровнем моря, обнаруженных нами, по-видимому, впервые, и, относящихся к первой ледниковой фазе.

Во втором тысячелетии н.э., в связи с охлаждением и увлажнением климата, лавинная деятельность усилилась, архызские почвы были погребены под свежими отложениями. На склонах гор пришедший в движение делювий одновременно с формированием натечных каменных россыпей захоронил мощные почвы под слоем солифлюкция (Перов, 1968). Для Хибин повышенная лавинная активность (охлаждение и увлажнение климата) датируется 1000-м годом н.э. (Мягков, 1979). Ко второй половине 12 в. от-

носится необратимый процесс снижения лесной границы, который только в последние десятилетия сменил направленность. В Хибинах в 13 в. вблизи ригелей и цирков и по днищам цирков и каров началась аккумуляция отложений, связанная с ледниковой деятельностью на высотах 500-600 м и продолжавшаяся вплоть до 19 в. Весь период 13-19 вв. Перов (1968) и Рябцева (1970) рассматривают как единый период ухудшения климатической обстановки, или малый ледниковый период. Турманина (1979) приводит сведения, что активное переотложение крупнообломочного материала в Хибинах протекало в 12-13 вв. в форме оползания каменных россыпей по склонам, в это же время произошло значительное снижение лесной границы. В 13 в. лавинная активность в горных районах была наивысшей за все тысячелетие (Мягков, 1979).

Активизация склоновых процессов и лавинной активности привела к погребению субатлантических почв, развитие мерзлотных явлений привело к формированию многообразных форм мерзлотного рельефа, которые сегодня являются реликтовыми. Граница леса опустилась до субатлантических границ.

Вторая фаза малого ледникового периода и следующая за ней эпоха современного лугового почвообразования по мере обсыхания запрудных озерных ландшафтов в предморенных трогах наступила в XIX-XX веках. Радиоуглеродные датировки современной почвы -  $177 \pm 49$  л.н. и  $261 \pm 55$  (Ковалева, 2009), «грубый» характер гумуса, гуматно-фульватный его состав, низкие коэффициенты экстинкции, значительное содержание Рg-фракции, низкая обогащенность гумуса азотом, развитая периферическая часть молекул при малом участии связей бензоидных структур в современных гумусовых горизонтах соответствуют условиям гумусообразования горной тундры с непродолжительным периодом биологической активности и повышенным увлажнением.

Итак, из приведенных палеоэкологических реконструкций следует, что в разных горных системах Евразии наиболее эффективными для распознавания и считывания палеоэкологической информации из палеопочвенных архивов оказались разные наборы индикаторных признаков. При этом, судя по свойствам датированных палеопочв, установлено, что колебания климата в позднеледниковье и голоцене носили глобальный характер, который определялся космическими явлениями, и не противоречит событиям известных схем изменения температуры над поверхностью Евразии, составленных по изотопному составу Гренландских льдов и озерных отложений озера Аммерзее. В результате таяния ледниковой массы и заболачивания ландшафтов нарастало парциальное давление  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Вызванная этим фактом эволюция типов фотосинтеза в сторону наращивания растениями биомассы привела к возникновению новых типов гумуса и соответствующих им типов почвообразования – черноземного, лугового, каштанового, становлению новых циклов углерода в биосфере.

К атлантическому периоду голоцена черноземы распространились на Кавказе и в Тянь-Шане до современного альпийского пояса. Ледников не было вовсе. Памир в экстрааридных континентальных условиях и разреженной атмосфере сохранил плейстоценовые структуры вертикальной поясности, что заставляет географов констатировать отсутствие современной вертикальной зональности почв на Памире (Голубчиков, 1996). По нашему же мнению, это отличный от большинства современных голоценовых типов, более древний тип вертикальной зональности почв (гиперзональности). Его сохранность на фандах, видимо, и предопределила выделение двух типов рядов вертикальной зональности почв в Центральном Тянь-Шане Мамытовым (1963): для почв горных долин (голоценовый тип) и почв горных склонов (более древний - плейстоценовый тип).

В гидроморфных условиях Хибинского горного массива дерновые почвы пришли на смену лугово-болотным. Климатические оптимумы рубежа плейстоцена и голоцена, среднего голоцена, средних веков сопровождались иссушением климата на Северном Кавказе, Северном Тянь-Шане и в Хибинах. Однако на Памиро-Алае и во Внутреннем Дагестане количество осадков в эти периоды неизменно увеличивалось. В результате палеоклиматические кривые, составленные на основе палеопочвенных данных, выглядят синхронно в континентальных регионах и асинхронно – в гумидных. При этом эпохи потепления характеризуются длинными временными отрезками во всех горных системах, интервалы похолоданий – короче. Контрастность похолодания на рубеже атлантического и суббореального периодов в континентальных горных ландшафтах меньше, чем в гумидных, как показывает амплитуда изменения реконструированных температур. Средневековый оптимум во всех исследованных регионах отличается активизацией антропогенной деятельности и восстановлением среднеголоценовых структур почвенного покрова, деградацией оледенения.

Малый ледниковый период был диагностирован в разное время в Северной Европе (18 век), на Кавказе (13-17 века) и в горах Средней Азии (19 век).

### ***Заключение***

Информационный ресурсный потенциал горных почв может быть использован в целях палеоклиматических реконструкций, восстановления динамики оледенений и ландшафтных обстановок геологического прошлого нашей планеты, изучения условий эволюции первобытного человека, расшифровки археологических находок и установления причин динамики этносов в различные исторические эпохи. При этом почва выступает не только собственно носителем информации о прошлом, но и консервирующей «следы прошлого» средой для отдельных объектов палеоландшафта, сохраняющей в отличие от породы, остатки мягкотелых организмов – растений и животных.

Развитие учения об экологических функциях почв (Добровольский, Никитин, 1986), и в частности, об информационной функции почв, требует пересмотра подходов к использованию палеопедологического метода в современной палеонтологии и стратиграфии. Например, апробированная различными авторами система климатоиндикаторов положена нами (Ковалева, 2009) в основу предлагаемого научного направления - педоклимато-стратиграфии. Объектом изучения педоклимато-стратиграфии являются дневные, погребенные и ископаемые почвы, а также их части, сохранившиеся на месте их образования или переотложенные в процессе денудации. Педоклимато-стратиграфия, как и педостратиграфия изучает почвенно-стратифицированные толщи, сформированные в результате процессов морфо-, лито- и педогенеза (Алифанов, Гугалинская, 1999), в которых почвенными признаками записаны климатические изменения и связанные с ними изменения экологических условий. При этом в отличие от традиционной стратиграфии, педоклимато-стратиграфия распространяется на изучение палеопризнаков в дневных почвах и в любых поверхностных почвенных образованиях. Чередование различных типов почв и пород в этом случае уже не имеет ключевого значения, так как любые почвенные объекты, содержащие органическое вещество, могут быть датированы высоко-разрешающими методами и поэтому позволяют диагностировать любые нарушения закономерностей временной ритмичности, не будучи ограниченными ее рамками, как прежде в климато-стратиграфии. Напротив, характер этих нарушений также несет информацию об интенсивности экзогенных процессах и отражает климатические условия периодов их формирования.

Использование почвенных молекулярных биомаркеров позволяет реконструировать палеоэкологические события не только по хорошо сохранившимся почвенно-лессовым толщам аккумулятивных позиций рельефа и восстанавливать, таким образом, фрагменты, в основном, гидроморфных ландшафтов, а судить и о плохо сохранившемся почвенном покрове автоморфных позиций рельефа. Последнее особенно актуально в горных ландшафтах, где интенсивность экзогенных процессов в определенных позициях рельефа, намного выше, чем на равнине.

Таким образом, использование информационных свойств почв в биостратиграфии и климатической стратиграфии позволит сузить временные рамки палеоэкологических реконструкций с десятков тысяч лет до десятков лет; детализировать стратиграфические подразделения межледниковий; фиксировать не только этапы улучшения климата и стабилизации поверхности, но и количественно реконструировать гидротермические условия любых климатических эпизодов; изучать почвенный покров прошлых эпох в целом.

А насущная востребованность в использовании подобных архивов палеоэкологической информации смежными науками – еще раз подтвер-

ждают верность слов Вернадского (1926) о том, что «...значение почв в истории планеты гораздо больше, чем это кажется».

### *Литература*

- Александровский А.Л., Александровская Е.И. Эволюция почв и географическая среда. – М.: Наука, 2005. 223 с.
- Александровский А.Л., Бирин А.Г. Эволюция серых лесных почв предгорий Северного Кавказа // Почвоведение. 1987. № 8. С. 28-39.
- Алифанов В.М., Гугалинская Л.А. Циклическое формирование почвенных профилей в горных ландшафтах Монголии. //Почвоведение, 1999, № 2, с. 195-209.
- Аржанцева И.А. Аланское городище Кяфар 9-11 вв н.э. в Карачае. //Карачаевцы, балкарцы: этнография, археология, фольклор. /Серия «Кавказ: народы и культуры» Выпуск 1. –М.: «Старый сад», 2001. -432 с.
- Арманд А.Д., Таргульян В.О. Принцип дополнительности и характерное время в географии. //Системные исследования. Ежегодник. Вып. 6. М: Наука, 1974, с. 146-153.
- Бабанин В.Ф., Трухин В.И., Карпачевский Л.О., Иванов А.В., Морозов В.В. Магнетизм почв. // Ярославль: ЯГТУ, 1995. 223 с.
- Бронникова М.А., Таргульян В.О. Кутанный комплекс текстурно-дифференцированных почв. М.: Академкнига, 2005. 197 с.
- Быковская Т.К., Ковалева Н.О. Горные почвы Карачаево-Черкесии. М: МГИУ, 2010, 164 с.
- Величко А.А., Морозова Т.Д. Основные горизонты лессов и ископаемых почв русской равнины. //Лессы, погребенные почвы и криогенные явления на Русской равнине. М.: «Наука», 1972, с. 5-25.
- Вернадский В.И. Биосфера. Научное химико-технологическое издательство. Ленинград, 1926, 140 с.
- Вавилов Н.И. Происхождение и география культурных растений. Л: Наука, 1987, 167 с.
- Вашалова Т.В. Погребенные почвы лавинных конусов – источник палеопедологической информации // История развития почв СССР в голоцене, тез. докл. Пушино, 1984, с. 168-169.
- Вашалова Т.В. Палеогеографический подход к реконструкции лавинной активности в целях долгосрочного прогноза (на примере Хибин). Автореф. дисс. к.г.н. М.: Изд-во МГУ, 1987, 24 с.
- Владыченский А.С. Особенности горного почвообразования. Москва, «Наука», 1998, 191 с.
- Владыченский А.С. Ковалева Н.О., Косарева Ю.М. Характеристика органического вещества голоценовых почв Хибинского горного массива. // Вестник Моск. Ун-та, Сер. 17. Почвоведение. 2006, № 3. С. 23-29.



- Воронин А.Д. Методологические принципы и методическое значение концепции иерархии уровней структурной организации почвы // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 1979. № 1. С. 3-10.
- Гиляров М.С. Жизнь и почва. М, Наука, 1985, 187 с.
- Геннадиев А.Н. Почвы и время: Модели развития. М.: Изд-во МГУ, 1990. 230 с.
- Герасимов И.П., Ливеровский Ю.А. Чернобурые почвы ореховых лесов Средней Азии и их палеогеографическое значение. // Почвоведение, 1947, № 9. С. 521-532.
- Герасимов И.П. К вопросу о генезисе лессов и лессовидных отложений // Изв. АН СССР, Сер. геогр. и геофиз. 1939, с. 98-106.
- Герасимов И.П. Основные этапы развития равнин Турана в новейшее геологическое время // Новые пути в геоморфологии и палеогеографии. М.: Наука, 1976, с. 20-41.
- Герасимова М.И., Губин С.В., Шоба С.А. Микроморфология почв природных зон СССР. Пушино, 1992. 215 с.
- Глазовская М.А. К истории развития современных природных ландшафтов Внутреннего Тянь-Шаня. – Географические исследования в Центральном Тянь-Шане // Изв. АН СССР, 1953, с. 27-68.
- Глазовская М.А. Почвы мира. Т.1,2. М.: Изд-во МГУ. Т.1 1972. 230 с.; Т.2. 1973. 427 с.
- Глазовская М.А. Среднеазиатская ландшафтно-геохимическая арена аккумуляции и транслокации педогенных углеродистых соединений. // Почвоведение, 1996, № 1. С. 23-33
- Голубчиков Ю.Н. География горных и полярных стран. М: Изд-во МГУ, 1996, 304 с.
- Гольева А.А. Микробиоморфная память почв. // В кн. Память почв. Почва как память биосферно-геосферно-антропогенных взаимодействий // Отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 499-524.
- Горы. М: «Махаон», 2009, 128 с.
- Демкин В.А., Гугалинская Л.А. и др. Палеопочвы как индикаторы эволюции биосферы. – М: НИИ- Природа, фонд «Инфосфера», 2007 – 282 с.
- Дергачева М.И., Деревянко А.П., Феденева И.Н. Эволюция природной среды Горного Алтая в позднем плейстоцене и голоцене (реконструкция по признакам педогенеза). Новосибирск: Изд-во археологии и этнографии СО РАН, 2006. – 144 с.
- Джон Гибсон, Прадип Аггарвал. Как менялся климат Земли. // Бюллетень МАГАТЭ 43/2/2001 (июнь 2001), Вена, Австрия, с. 2-4.
- Добровольский Г.В., Афанасьева Т.В., Василенко В.И. и др. О генезисе и возрасте вторично-подзолистых почв Западной Сибири. // ДАН СССР, 1970, т. 192, № 3.

- Добровольский Г.В., Макеев А.О. Палеонтология и палеопочвоведение. //Роль почв в биосфере. Тр. Ин-та экологического почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова. Вып. 9.- М.: МАКС Пресс, 2009, с. 5-40.
- Добровольский Г.В., Морозова Т.Д., Шоба С.А. Применение микроморфологического метода для диагностики погребенных и древних (реликтовых) почв. //Труды 10 Международного конгресса почвоведов, 1974, Москва, т. 7, с. 198-205.
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экологические функции почв. М, Изд-во МГУ, 1986, 137 с.
- Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. М.: Изд-во МГУ, 2004, 460 с.
- Добровольский Г.В., Шоба С.А, Растровая электронная микроскопия почв. М: Изд-во МГУ, 1978, 144 с.
- Докучаев В.В. Русский чернозем. Т.3. Сочинения. Изд-во АН СССР. М-Л, 1949, 620 с.
- Добровольский Г.В., Макеев А.О. Палеонтология и палеопочвоведение. //Роль почв в биосфере. Тр. Ин-та экологического почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова. Вып. 9.- М.: МАКС Пресс, 2009, с. 5-40.
- Добровольский Г.В. Педосфера – оболочка жизни планеты Земля. //Биосфера, С-Пб, 2009, том 1, № 1, с. 6-14.
- Добровольский Г.В., Федотов Г.Н. Существует ли в почвах наноструктурная организация почв? //В мире науки. М: Наука, 2009, с. 62-66.
- Захаров С.А. Курс почвоведения. 2-ое изд. М.-Л., 1931. – 400 с.
- Захаров С.А. Борьба леса и степи на Кавказе // Почвоведение 1935. № 3-4. С.500-545.
- Захаров С.А. Учение о вертикальной зональности почв и его эволюция. В сб.: Тр. юбил. сессии, посвящ. 100-летию со дня рождения В.В.Докучаева. М., Изд. АН СССР, 1946, с. 22-54.
- Зонн С.В. О некоторых вопросах генезиса почв еловых лесов Тянь-Шаня. //Почвоведение, 1962, № 5. С. 24-39.
- Евдокимова Т.И., Ковалева Н.О. К вопросу о генезисе горно-луговых и горнолуговостепных черноземовидных почв Тянь-Шаня. //Вестн. Моск. ун-та, Сер. 17. Почвоведение. 1995. № 3, с. 15-23.
- Евдокимова Т.И., Ковалева Н.О. Роль биологического круговорота элементов в эволюции ландшафтов Северного Тянь-Шаня. //Вестник МГУ, сер. 17. Почвоведение, 1999, № 3, с. 24-29.
- Ковда В.А., Самойлова Е.М. О возможности нового понимания истории почв русской равнины. //Почвоведение, 1966, № 9, с. 58-67.
- Ковалев Р.В., Хмелев В.А. Темноцветные почвы парковых лиственных травянистых лесов Центрального Алтая. // Лес и почва. Красноярское книжное изд-во, 1968. 611 с.

- Ковалева Н.О. Некоторые особенности биологического круговорота в субальпийской зоне северного склона Киргизского хребта //Вестник МГУ, сер. 17, почвоведение, 1989, № 2, с. 50-52.
- Ковалева Н.О. Рекреационные территории и экологическое благополучие населения. // осударственная программа «Экологическая безопасность России (1993-1995 гг). Результаты реализации. РЭФИА, М, 1996. Т. 4.
- Ковалева Н.О. Динамика ландшафтов Северного Кавказа и этнография алан (по палеопочвенным данным). // История и современность. 2009, № 1, стр. 41-47.
- Ковалева Н.О. Горные почвы Евразии как палеоклиматический архив позднеледниковья и голоцена. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. М, 2009, 50 с.
- Ковалева Н.О., Ковалев И.В. Биотрансформация лигнина в дневных и опгребенных почвах разных экосистем. //Почвоведение, 2009, № 11, с. 84-96.
- Кожеков Д.К. Почвы еловых и арчовых лесов Киргизии, их химикоминералогический состав и свойства. Фрунзе. Изд-во АН Кирг. ССР. 1963. 147 с.
- Коровин Е.П. Растительность Средней Азии и Южного Казахстана. М. – Ташкент: САОГИЗ, 1934, - 480 с.
- Ливеровский Ю.А. Горные почвы Южной Киргизии. Тр. Почв. ин-та, т. 30, 1949, с. 262-286.
- Лобова Е.В., Петров Б.Ф. Почвенно-географические области Западного Китая. //Почвоведение, 1945, № 3., № 4.
- Ломов С.П. Развитие почвенного покрова Таджикистана в голоцене. //История развития почв в голоцене. Пущино, 1984, с. 171-172.
- Мазыро М.М. Почвы Хибинских тундр. // Труды АН СССР, сер. Кольская, в. 12, ч.1 М. – Л., 1936, 69 с.
- Максимов Е.В. Ледниковое прошлое хребта Киргизский Алатау. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. 160 с.
- Мамытов А.М. Почвы Центрального Тянь-Шаня. Изд-во АН Кирг. ССР. Фрунзе.1963. 560 с.
- Молчанов Э.Н. Почвенный покров гор Северного Кавказа. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук. М.: 1990, 63с.
- Мягков С. М. История климата нашей эры в Европе в связи с проблемой ритмичности и прогноза развития гляциальных процессов // Ритмы гляциальных процессов, 1979, с. 7-23
- Неустроев С.С. Чимкентский уезд Сыр-Дарьинской области: Предварительный отчет об организации и исполнении работ по исследованию почв Азиатской России в 1908 г. СПб, 1908, с. 60-68.
- Неустроев С.С. О почвенных комбинациях равнинных и горных стран. //Почвоведение, 1915, № 1, с. 62-73.

- Новопокровский И.В. Растительность Северо-Кавказского края. // Ростов-на-Дону, 1925, 27 с.
- Остроумов В.Е. Проявление инерционности в циклах развития почв.// Естественная и антропогенная эволюция почв. Пущино, 1988, С.4-15.
- Память почв: Почва как память биосферно-геосферно-антропогенных взаимодействий // Отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 692 с.
- Поморцев, О.А. Ледники южного склона хребта Кунгей Алатау как индикатор изменчивости природных условий. // Автореф. дисс. к.г.н. Л.: Изд-во ЛГУ, 1980. 21 с.
- Перов В.Ф. Снежники, ледники и мерзлотный рельеф Хибинских гор. М., «Наука», 1968. 218 с.
- Прасолов Л.И. К изучению вертикальных почвенных зон в Тянь-Шане. //Почвоведение, 1901, т. 1, СПб
- Прасолов Л.И. Почвы Туркестана. Л.: Изд-во АН СССР, 1926, 95 с.
- Родькин А.К. Палеопочвенные исследования в изучении динамики физико-географических условий голоцена // Ритмы гляциальных процессов. М.: Изд-во МГУ, 1979. С.56-79.
- Розанов А.Ю. Современная палеонтология. [http://wsyachina.narod.ru/earth\\_sciences/modern\\_palaeontology.html](http://wsyachina.narod.ru/earth_sciences/modern_palaeontology.html)
- Ромашкевич А.И. Нарушения почв и изменения почвообразования на северном склоне Большого Кавказа (бассейн р. Кубань). //Почвоведение, 1980, 9, с. 5-13.
- Рысков Я.Г., Демкин В.А. Развитие почв и природной среды степей Южного Урала в голоцене. Пущино: ОНТИ ПНЦ РАН. 1997. 167 с.
- Рябцева К.М. Динамика оледенения Хибин в голоцене в связи с ритмами увлажнения северного полушария // Вопросы географии. М.: Мысль, 1970. Вып. 79. с. 105-120.
- Седов С.Н., Хохлова О.С., Кузнецова А.М. Полигенез вулканических палеопочв Армении и Мексики: микроморфологические летописи четвертичных изменений климата. //Почвоведение, № 7, 2011, с. 832-847.
- Селиверстов Ю.П. Состояние и развитие горных систем. //Известия РГО, 2002, т. 134, вып. 6, стр. 7-14.
- Серебрянный Л.Р., Орлов А.В., Александровский А.Л. и др. Морены – источник гляциологической информации. М.: Наука, 1989. 250 с.
- Соломина О.Н. Горное оледенение Северной Евразии в голоцене – М.; Научный мир, 1999. – 272 с.
- Соколов И.А., Таргульян В.О. Взаимодействие почвы и среды: почва-память и почва-момент. //Сборник трудов по изучению и освоению природной среды. М., 1976, с. 150-164.
- Степанов И.Н., Абдуназаров У.К. Погребенные почвы в лессах Средней Азии и их палеогеографическое значение. М.: «Недра», 1977, 120 с.

- Чичагова О.А., Черкинский А.Е. Проблема радиоуглеродного датирования (гумуса) почв. // Почвоведение, 1985, № 11. С. 63-75.
- Самойлова Е.М., Толчельников Ю.С. Эволюция почв. Изд-во МГУ, 1991, 90 с.
- Таргульян В.О. Память почв: формирование, носители, пространственно-временное разнообразие. // В кн. Память почв. Почва как память биосферно-геосферно-антропогенных взаимодействий // Отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. с. 24-54.
- Трифоновна Т.А. Формирование почвенного покрова гор: геосистемный аспект. // Почвоведение, 1999, № 2, с. 174-181.
- Турманина В.И. Пути восстановления природных условий последнего тысячелетия и основные результаты // Ритмы гляциальных процессов, 1979, с. 24-55.
- Тушинский Г.К. Архызский перерыв в оледенении и лавинной деятельности на Кавказе в первом тысячелетии нашей эры // Информационный сборник о работах по МГГ. М.: Изд-во МГУ, 1964. Вып. 10. С. 96-101.
- Тушинский Г.К. Космос и ритмы природы Земли. М., «Просвещение», 1966. 120 с.
- Тушинский Г.К., Турмарина В.И. Ритмы гляциальных процессов последнего тысячелетия // Ритмы гляциальных процессов последнего тысячелетия. М.: Изд-во МГУ, 1979. С.154-160.
- Урушадзе Т.Ф. О некоторых аспектах почвообразования в горных регионах. // Почвоведение, 1979, № 1. С. 131-143.
- Фридланд В.М. Опыт почвенно-географического разделения горных систем СССР // Почвоведение. 1951. № 9. С. 521-535.
- Хохлова О.С. Педогенные карбонаты как носители памяти об условиях почвообразования (на примере степной зоны Русской равнины). // В кн. Память почв. Почва как память биосферно-геосферно-антропогенных взаимодействий // Отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. С. 406-430.
- Цех В, Хинтермайер-Эрхард Г. Почвы мира. Атлас. М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 120 с.
- Чербарь В.В. Закономерности географического размещения почв Памира в зависимости от термических и гидротермических условий их развития. // Почвоведение, 2001, № 8, с. 918-923.
- Яковлев С.А. О деградации черноземов в западной части Северного Кавказа // Почвоведение. 1914. Т.16, № 4. С.1-20; 1915. Т.17, №1. С.1-36.
- Arzhantseva I., Turova I., Bronnikova M., Zazovskaya E. Alan settlements of the first millennium in the Kislovodsk Basin, Russia // Papers from a session held at the European Association of Archaeologists Fifth Annual Meeting in Bournemouth. 1999, 51-52.
- Baumler R., Zech W., Heuberger H. and Weber-Diefenbach K. Investigations on the intensity of weathering of soils developed from glacial and fluviogla-

- cial deposits and their relationship with the history of the landscape in the Mt. Everest region. // *Geoderma*, 1991. 48. 223-243.
- Grosswald M. G., Kuhle M., Fastook J.L. Wurm Glaciation of Lake Issyk-Kul Area, Nian Shan Mts.: A Case Study in Glacial History of Central Asia. // *GeoJournal*. 1994. 33.2/3 273-310.
- Heuberger By. H., Sgibnev V.V. Paleoglaciological studies in the Ala-Archa national Park, Kyrgyzstan, Northwestern Tian-Shan mountains, and using multitextural analysis as a sedimentological tool for solving stratigraphical problems. // *Zeitschrift fur Gletscherkunde und Glazialgeologie*. 1998, Band 34. S. 95-123.
- Jouzel J., C. Lorius, J.R.Petit, C.Genthon et.al. Vostoc ice core: a continuous isotope temperature record over the last climatic cycle (160,000 years). // *Nature*, vol. 329, I October, 1987, p. 403-406.
- Kovaleva N.O., Zech W., Haumaier L. Soils as indicator of the paleoclimatic changes in the Northern Tian-Shan. // International workshop "Soils of Tian-Shan and Pamir", Germany, Universität Bayreuth, 2000, p.126.
- Kovaleva Natalia Northern Tian-Shan paleosoil Sedimentary sequences as a record of major climatic events in the last 30, 000 years // *Revista Mexicana de Ciencias*, 2004, V.21, № 1, pp. 71-78.
- Narama C. Late Holocene variation of the Raigorodskogo Glacier and climate change in the Pamir – Alai, central Asia. // *Catena* 48, 2002, pp. 21-37.
- Savoskul O.S. Lichenometric and  $^{14}\text{C}$  evidence for the late Holocene glacier variations in the oigaing river basin, WESTERN TIAN SHAN, central Asia. // *Zeitschrift fuer Gletscherkunde und Glazialgeologie*. 1997. Band33, S.1-14.
- Yan G., Wang F.B., Shi G.R., Li S.F. Palynological and stable isopic study of palaeoenvironmental changes on the northeastern Tibetan plateau in the last 30,000 years. // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1999, 153, pp. 147-159.
- Shi Yafeng K.Z. Wang Sumin, Tang Lingyn, Wang Fibzo, Yao Tandong, Zao Xitao, Zhabg Peiyuan, Shi Shaohua. Mid-Holocene climates and environment in China // *Global and Planetary Changts*. 1993. 7. P. 219-233.
- Zech W, Glaser B., Ni A., Petrov M., Lemzin I. Soils as indicators of the Pleistocene and Holocene landscape evolution in the Alay Range (Kyrgystan). // *Quaternary International*, 2000. 00. Pp. 147-160.

## Экологическая роль палеопочв в геологической истории Земли

*“Никто уже не оспаривает теперь, что изучение почв открывает нам геологическую историю Земли”.*

*Б.Б. Польшов.*

*Автобиографические рассказы*

### **Введение**

Бурное развитие палеопочвоведения позволяет оценить проявление экологических функций почв в различные этапы эволюции ландшафтной оболочки. Согласно определению палеопочвенной комиссии Международного Союза наук о почве, выделяются следующие виды палеопочв: 1. погребенные (ископаемые); 2. непогребенные (реликтовые) – surface paleosols, non-buried paleosols (relict paleosols); 3. ре-экспонированные (погребенные палеопочвы, экспонированные на дневную поверхность в результате эрозии) – exhumed paleosols (Paleopedology Glossary, 1997). В геологической летописи наличие палеопочв особенно зрелых профилей, означает периоды метастабильности в геологических циклах. Это, однако, не гарантирует дальнейшую сохранность палеопочв. И палеопочвы и включающие их осадки уничтожаются геоморфологическими процессами, вовлекаются в геологический круговорот. До недавнего времени находки дочетвертичных палеопочв, особенно полнопрофильных были крайне редки. Еще реже встречаются сохранившиеся фрагменты древних почвенных покровов.

К.Д. Глинка (1904) подчеркивал: «Если мы будем хорошо знакомы с внутренними свойствами почвенных типов, то во многих случаях в состоянии будем различать их и тогда, когда для нашего изучения осталась не почва, а продукт ее разрушения, какой-нибудь нанос, образовавшийся из почвенного материала». То есть у нас есть возможность судить о характере почвообразования и в целом о ландшафтной обстановке не только непосредственно по сравнительно редким находкам собственно палеопочв, но и по характеру геологических отложений, испытавших на себе воздействие почвообразования. И.П. Герасимов (1971) предложил понятие педолит для седиментационных горизонтов, состоящих в значительной степени из почвенного материала (переотложенные почвы, педоседименты). Таким образом, педолиты - это осадочные породы, несущие признаки почвообразования. (soil sediment, согласно Paleopedology Glossary, 1997). Очевидно, что почвенные породы должны входить в число объектов палеопочвоведения. Но судьба палеопочв в геологических циклах не ограничивается простым перемещением почвенного материала. Для того чтобы понять экологическую роль палеопочв и их влияние на эволюцию геосферно-

биосферных циклов, нам необходимо опираться на учение о биогеохимической роли живого вещества. В.И. Вернадский подчеркивал: «Влияние жизни не ограничивается одним поверхностным слоем. Благодаря геологическим процессам происходят смещения земных слоев, и почва нередко целиком во всей своей массе на значительных протяжениях переносится в другие земные оболочки, прекращая свое существование как почва, но, внося в эти оболочки ту химическую энергию, которая дана ей деятельностью живого вещества. В общем, этот процесс играет в истории земли гораздо большую роль, чем мы ему обычно приписываем» (Вернадский, 1992). С влиянием живого вещества В.И. Вернадский связывал такие важные свойства горных пород, как мелкоземистость, смешение большого числа химических элементов и гомогенизация. Большую часть осадочных пород В.И. Вернадский рассматривал как бывшие палеопочвы. И.П. Герасимов (Gerasimov, 1971) подчеркивал, что история субаэральных отложений это история палеопочв. Очевидно, что с таким же основанием к бывшим палеопочвам следует относить и значительную часть метаморфических (бывших осадочных) пород. Другими словами, речь идет о непрерывном взаимодействии на протяжении геологической истории жизни и почвы, приводящем к формированию не только собственно палеопочв, но и преобразующем, в конечном счете, всю земную кору. Эти подходы затем развиты в трудах Гольдшмидта (Goldshmidt, 1954), Польшова (1948), Ковды (1973) и других исследователей о сочетании и роли геологического и биологического круговоротов в почвообразовании. Ковда подчеркивает: «Появление жизни, создавшей биосферу и исключительно деятельное «живое вещество», играющее огромную роль в геохимических процессах земной коры, привело к тому, что геологические процессы протекают при определяющем значении биосферы и геологические круговороты веществ тесно сочетаются и находятся в единстве с биологическими круговоротами и почвообразованием» (Ковда, 1973, т. 1, с. 102). Заварзин (2003) говорит о биосферно-геосферной системе. Наземную часть биосферы выделяют как биогеосферу (Добровольский с соавт., 2010). Речь идет о том, что связь между биологическими циклами и геологическом круговороте в биогеосфере осуществляется через почву (палеопочву). Таким образом, роль почв в истории Земли следует оценивать по эволюции взаимодействия биологического и геологического круговоротов в биогеосфере. Для описания эволюции этих взаимодействий в истории Земли мы будем использовать понятие биогеосферные циклы.

Для всей совокупности почв и продуктов их вовлечения в геологический круговорот М.А. Глазовская (2009) предложила понятие педолитосфера. Именно педолитосфера, а не только профили и горизонты собственно палеопочв являются объектом изучения палеопочвоведения (рис. 1).





Рис. 1. Педолитосфера как объект изучения палеопочвоведения

При подготовке настоящего материала использовано более 200 новейших публикаций преимущественно по дочетвертичным почвам. Тем не менее, этот обзор не может претендовать на полноту и всеохватность.

Для выявления экологической роли палеопочв мы ставили в первую очередь следующие задачи:

1. показать эволюцию почв на фоне появления и развития биосферных циклов.
2. Выявить основные этапы эволюции педосферы
3. Выявить проявление экологических функций почв в различные периоды геологической эволюции Земли
4. Продемонстрировать роль почв как компонентов биогеоценозов в эволюции экосистем, включая биологическую эволюцию. Продемонстрировать коэволюцию Жизни и Почв (по Retallack, 2001).
5. Представить эволюцию почвообразования в геологической истории во взаимосвязи с седиментацией как часть общего процесса экзогенеза (гипергенеза).
6. Показать возможности и перспективы использования палеопочв в качестве стратиграфических единиц.
7. Раскрыть роль палеопочв как архивов палеогеографической информации, отражающих все наиболее значимые этапы эволюции биосферных систем от докембрия до голоцена.

Несмотря на взрывной интерес к исследованиям палеопочв, эти материалы отражают пока лишь самые общие закономерности строения и эволюции педосферы в геологической истории Земли.

### ***Палеопочвы и начальные признаки обитания суши***

Современная педосфера является одним из бесчисленных временных срезов, отражающих эволюцию природной среды на протяжении практически всей истории развития Земли. Какой временной отрезок можно принять за начало почвообразования? Очевидно, что вопрос о времени появления почв связан с вопросом появления живых организмов. Почва не могла сформироваться без участия жизни, а жизнь на суше не могла возникнуть и развиваться вне условий существования, то есть почв. Заварзин (2001) обратил внимание на соотношение понятий «обитание» - наличие жизни, и «обитаемость» - условия, необходимые для жизни. Обнаружение признаков жизни в докембрии, в условиях бактериальной биосферы, чрезвычайно сложный процесс. Не случайно главный стратиграфический рубеж – граница криптозоэ (эра «скрытой» жизни) и фанерозоэ (эра «явной» жизни) проходит по уровню появления твердых останков живых организмов в нижнем кембрии. Бурное развитие бактериальной палеонтологии (Заварзин 1995, Розанов, Заварзин, 1997) резко расширило горизонты древней жизни. Современные подходы к обнаружению свидетельств участия биоты основываются на совокупности признаков (Wacey, 2009):

- Собственно останки живых организмов (body fossils). Эти останки не сохраняются в древнейших породах, поскольку древнейшие микробные организмы не обладали твердыми оболочками

- Следы жизнедеятельности живых организмов – ходы землероев, следовые дорожки и пр. (trace fossils)

- Текстурные особенности осадочных пород, обусловленные деятельностью живых организмов (MISS - microbially influenced sedimentary structures). В настоящее время MISS описаны в древнейших докембрийских породах

- Геохимические показатели (geochemical fossils) - следы биологической активности зафиксированные в геохимических показателях пород: изотопные, молекулярные отношения и пр.

Для прокариотной биосферы (архей, протерозой и ранний палеозой) палеонтологических данных мало и они не всегда однозначны. Тесная связь бактерий с геосферой позволяет использовать геохимические продукты их жизнедеятельности для определения их функциональных свойств, которые нельзя или трудно установить на основе чисто палеонтологических данных по морфологии микрофоссилий (Заварзин, 2001, 2003). Это позволяет с большой вероятностью реконструировать биогеохимические циклы прошлого по сингенетичным минералам и химическому составу погребенного органического вещества с биомаркерами. Наиболее распространенным способом анализа участия биоты является определение изотопных соотношений. Поскольку живое вещество концентрирует легкий изотоп углерода и серы, следы жизнедеятельности фотосинтезирующих организмов можно определить по соотношениям в осадочных породах

изотопов  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$  и  $^{32}\text{S}/^{34}\text{S}$ . Первоначально, обогащенные углеродом со смещенным изотопным отношением  $^{12}\text{C}/^{13}\text{C}$ , обнаружены в отложениях возрастом 2,4 – 2,5 Ga (Rankama, 1954; Campbell, 1979). Биологические циклы в геохимии серы были зафиксированы на породах возрастом до 2 млрд. лет. В дальнейшем изотопные свидетельства жизни были зафиксированы гораздо раньше. Отметим, что геохимические показатели реализуют как раз подход Вернадского и его последователей к оценке планетарной роли живого вещества. Смещенные изотопные соотношения свидетельствуют о том, что уже древнейшие из известных пород формировались под влиянием живых организмов. В настоящее время возраст первых форм жизни по изотопным данным оценивается в 3,8 млрд. лет, при этом палеонтологическая запись (прежде всего следы жизнедеятельности) не превышает 3,5 Ga.

Согласно современным оценкам, формирование первоначальной земной коры и образование ядер материков (кратонов) оценивается возрастом 4,0 – 3,8 Ga (Ehrlich and Newman, 2009). Древнейшие из известных пород на Земле - это породы архейского зеленокаменного пояса Исуса на юго-западе Гренландии (Isua greenstone belt, в пределах Гренландского кратона) возрастом 3,7 - 3,8 Ga, представленные метаморфизованными вулканическими и осадочными породами. В кварц-пироксенитовых слоистых отложениях (по-видимому, метаморфизованные джеспилиты) с меловыми прослоями исследованы графитовые прослойки мощностью около 100  $\mu\text{m}$  со смещенным изотопным соотношением  $\delta^{13}\text{C}$  - 19‰ PDB (Wacey, 2009). Таким образом, уже в древнейших породах обнаруживаются признаки обитания (первые биосферные циклы). Последние материалы по другим древнейшим кратонам выявляют многочисленные признаки жизни в породах старше 3 млрд. лет (Wacey, 2009). Так, в пределах гранитно-зеленокаменного пояса кратона Пилбара (Pilbara), западная Австралия в базальтовых толщах в пределах меловых отложений возрастом 3,472-3,456 Ga зафиксированы округлые образования 1-4  $\mu\text{m}$  в диаметре, образовавшиеся в результате биологического выветривания. Изотопное соотношение составляет  $\delta^{13}\text{C}$  -16‰ PDB. В пределах кратона Каапвааль (Kaapvaal), зеленокаменный пояс Барбетон, провинция Мпумаланга, Южная Африка, в меловых отложениях, формировавшихся на мелководной части шельфа возрастом 3,416-3,444 Ga, обнаружены явные признаки микробных матов (тонкие углеродистые прослойки (1-1,5  $\mu\text{m}$  толщиной и до 100  $\mu\text{m}$  длиной). Изотопное соотношение в этих отложениях составляет  $\delta^{13}\text{C}$  -20‰ – 35 ‰ PDB. Итак, согласно современным данным, самые древние из известных пород отвечают критериям «обитаемость», так как представляли собой мелкоземистые осадки и даже содержали глинистые частицы. Но в этих же древнейших породах обнаруживаются и признаки обитания.

В настоящее время не вызывает сомнений распространение микроорганизмов в океанах, начиная с 3,8 Ga. В то же время, первые следы заселе-

ния микроорганизмами суши до сих пор не так очевидны. Не исключено, что часть из древних строматолитов возрастом 2,7-2,3 Ga представляет собой останки наземных микроорганизмов пресных водоемов. Это заключение, однако, подвергается сомнению. В палеопочвах возрастом 2,7-2,3 Ga было установлено наличие органического вещества. Однако, высказываются сомнения в его автохтонности. Ранее бесспорные ископаемые микробные останки были зафиксированы в палеопочвах возрастом 1,2 Ga в Аризоне, США. В дальнейшем в палеопочвах провинции Мпумаланга (Восточный Трансвааль, Южная Африка) было изучено органическое вещество в серии палеопочв возрастом 2,7-2,6 Ga, сформированных в зоне серпентинит-дунитовой интрузии в массив гранито-гнейсов (Watanabe et al., 2000, 2004). Описано два типа палеопочв. Первые развиты на силикатном (серпентинит и гранит) обломочном материале. Формирование других приурочено к зонам карбонатной или доломитовой пропитки в местах разгрузки грунтовых вод. Оба типа палеопочв характеризуются высоким содержанием органического углерода (до 1,4 весовых %). Углеродистое вещество в почвах тесно связано с глинами - тальком, хлоритом и Fe-стилпломеланом (слоистый силикат) - и образует прослойки от 20  $\mu\text{m}$  до 1 mm параллельные почвенным горизонтам (рис. 2).

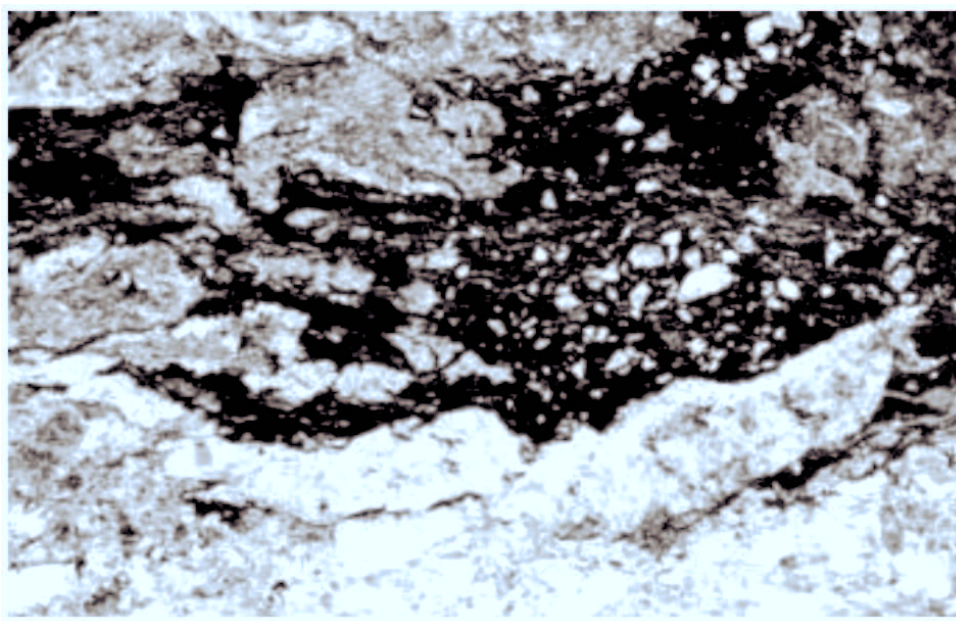


Рис. 2. Ассоциация органического вещества с глинистыми минералами в архейской палеопочве возрастом 2,7-2,4 млрд. лет. Провинция Мпумаланга (Восточный Трансвааль, Южная Африка, Watanabe et al., 2000). Прослойки органического вещества (черные участки), приурочены к местам скопления зерен Fe-стилпломелана (серые участки). Видны зерна кварца (эоловая примесь) и кальцита

Характер залегания, кристаллографическая структура, отношение C/N а также значения  $\delta^{13}\text{C}_{\text{Org}}$  ( $-17.4$  to  $-14.4\text{‰}$  PDB) позволяет предполо-

жить, что это углистое вещество представляет собой инситные остатки микробных матов с исходной мощностью от 1 до 20 мм. На силикатных породах микробные маты формировались на поверхности почв. В карбонатных почвах микробные маты формировались на дне испаряющихся бескислородных щелочных водоемов при отложении богатых железом доломитов. Можно предположить, что микробные маты имели сложную структуру и состояли из цианобактерий и гетеротрофов, использующих останки цианобактерий при иссушении водоемов.

В Прионежье получены материалы, показавшие, что коры выветривания архея образовывались при участии микроорганизмов. Можно говорить о заселенности суши микробами уже в раннем докембрии. Анализируя современные аналоги древних микробных сообществ в содовых озерах Г.А. Заварзин (2001) пришел к выводу, что разнообразие бактериальной жизни и полнота функций микробного сообщества позволяют думать, что микробная жизнь не "вышла из моря", а "вошла в море". Аккумулятивное распределение углерода и его изотопных соотношений ( $\delta^{13}\text{C}$ ) в профилях палеопочв служит показателем разнообразной жизни уже в раннем докембрии. По последним данным (Астафьева, Розанов, 2010) уже в раннем докембрии обнаруживаются разнообразные формы микроорганизмов, не исключено присутствие эукариотов. В частности можно выделить гиперсолевые, метанотрофные и т.д. сообщества микроорганизмов. Об интенсивной деятельности микробиоты свидетельствует и аккумулятивное распределение микроэлементов (Ba, Cr, Cu, Ni, Zn и P) в почвах возрастом 3,0-1,647 Ga. Признаки восстановления железа и марганца по трещинам обнаруживаются в палеопочвах возрастом 1,8 Ga и старше.

### ***Почвы прокариотной биосферы***

Интересно, что граничные рамки условий почвообразования и эволюции географической оболочки оставались метастабильными с самого начала геологической летописи и на протяжении всей истории Земли (Retallack, 2001). В древнейших осадочных толщах (сланцах и песчаниках Канадского щита, Балтийского щита и Южноафриканского кратона) обнаруживаются признаки выветривания под воздействием кислых водных растворов. Даже в отсутствие высших растений не менялась интенсивность выветривания. С самого начала записи обнаруживается органическая фиксация атмосферного углерода и азота при постоянном содержании  $\text{CO}_2$  в атмосфере (постоянная  $\delta^{13}\text{C}$  в органике) и постоянное содержание азота в атмосфере ( $\delta^{15}\text{N}$ ). Совместное нахождение псевдоморфоз гипса и галита в породах возрастом около 2000 Ga указывает на то, что геосферно-биосферные системы эволюционировали при умеренных температурах (диапазон от близких к нулю в ледниковые эпохи до  $<58^\circ\text{C}$  в периоды «теплых» биосфер (по Чумакову, 2001).

Согласно данным бактериальной палеонтологии, уже в раннем докембрии, более 3,5 Ga микроорганизмы, бактерии, возможно цианобактерии, и даже, возможно, эвкариоты участвовали в формировании кор выветривания (Розанов с соавт., 2008). Таким образом, можно говорить о заселенности суши микробами уже в это время. Не исключено, что столь древние следы жизни на суше означают, что первые микроскопические формы жизни возникли одновременно как в океане, так и на суше. Микроорганизмы, безусловно, могли осуществлять процессы архаичного почвообразования. Большинство палеоботаников, палеогеографов и геологов полагают, что в докембрии, кембрии и ордовике суша выглядела еще пустынной, и растительного покрова на ней не было. Господствовали на поверхности суши бактериально-водорослевые пленки, грибы и лишайники (Криштофович, 1950; Страхов, 1971; Соколов, Федонкин, 1988). Этот период эволюции педосферы рассматривается как «первичный» (Global Soil change..., 1990). Современные методы, преимущественно данные сканирующей электронной микроскопии, позволяют утверждать, что практически все влажные поверхности, по меньшей мере, в верхних частях зоны гипергенеза, в той или иной степени покрыты бактериальными биопленками (Fossil and recent biofilms, 2003). Исследование древних отложений показывает, что в нижнем докембрии положение было таким же, хотя четких данных о микробном заселении именно субаэральных поверхностей пока нет. Биохимическая роль микроорганизмов определяется невероятно высокой скоростью из размножения. В.А. Ковда (1973) следующим образом характеризует биогеохимическую запись в докембрии. С деятельностью микроорганизмов связан синтез органических веществ и первые биологические циклы С, S, N, P, Fe, Mn, а в дальнейшем расширение биологического круговорота минеральных веществ. Первые биохимические циклы обусловили формирование масс биогенного кремнезема, обогащенного органикой и биофильными элементами (H, O, C, N, P, S, Ca, K, Fe, Si, Al). С ними связан биогенный синтез вторичных минералов (алюмо- и феррисиликатов, фосфатов, сульфатов, карбонатов, нитратов, опала, халцедона, кварца). В результате образовывались мелкоземистые осадки, обладающие поглотительной способностью, благоприятными физическими свойствами, запасом элементов минерального питания и запасом органического вещества. Эта биогеохимическая запись, составленная по свойствам древних осадочных пород (докембрийские палеопочвы тогда не были известны) дополняется в настоящее время при исследовании собственно почвенных профилей.

Так, почва серии Pronto, формировавшаяся в интервале 2,6 - 2,45 Ga на гранито-гнейсах Канадского щита, Онтарио, Канада, является одной из самых изученных почв раннего протерозоя в мире (Nedachi et al., 2005). Основным процессом, формирующим профили выветривания, было накопление глины (теперь серицит, G-Farrow & Mossman, 1988). В верхних го-

ризонтах наблюдается остаточное накопление кварца. Профили почв характеризуются закономерным изменением строения вниз по профилю. Так, развита блоковая структура, укрупняющаяся в нижних горизонтах. Глинистые кутаны очевидно указывают на промывной водный режим. Для почв характерно аккумулятивное распределение углерода и его изотопных соотношений ( $\delta^{13}\text{C}$ ). Сходные по возрасту палеопочвы серии Denison, развитые на хлоритовых сланцах характеризуются наличием глинистого профиля. Источником глинистых минералов (преобразованных в серицит под воздействием диагенеза) были амфиболиты и хлориты. Прекрасным объектом для оценки результатов выветривания являются палеопочвы Cooper Lake, сформированные в интервале 2,7-2,4 Ga на базальтах гуронской супергруппы (Онтарио, Канада). Почва имеет выветрелый профиль, причем постоянство отношений Ti/Al, Zr/Ti, and Al/Zr свидетельствует о том, что этот профиль сформировался при выветривании *in situ*. Таким образом, сопоставление почв одного времени, сформированных на разных породах, показывает, что уже древнейшие почвы обладали литосенсорностью.

Изучение древнейших палеопочв заставляет нас пересмотреть представление о них как о маломощных почвопленках (soil crusts). Поразительно, что древнейшие палеопочвы аналогичны современным глубоковыветрелым аналогам. Формирование столь мощных профилей под бактериальными биопленками требует осмысления, и далее мы еще вернемся к этому вопросу. В любом случае этот факт свидетельствует о том, что биогеохимическая деятельность микроорганизмов была очень активной.

Палеопочвы дают определенные ответы на главные вопросы начальной истории Земли. Коры выветривания (палеопочвы, палеопедолитосферы) – единственные достоверные свидетельства продолжительных континентальных обстановок как в докембрии так и в фанерозое. Наличие мощных профилей в архее и раннем протерозое рассматривается как доказательство существования стабильных поверхностей кратонов. Мощные толщи бокситов, латеритов и силкритов могли формироваться за длительные периоды времени, сотни миллионов лет. В.О. Таргульян (2008) в этой связи говорит о «вымерших характерных временах» почвообразования. Изучение палеопочв показывает наличие явлений карста, позволяет выявить следы древнейших оледенений и перигляциальных явлений, а также периодов аридизации.

Таким образом, в раннем докембрии микроорганизмы, бактерии, возможно цианобактерии и даже, возможно, эукариоты сопровождали и способствовали образованию кор выветривания. Докембрийские палеопочвы - это результат воздействия субэкральной биоты. Все сказанное выше с определенностью свидетельствует о колонизованности суши микроорганизмами вероятно во всей геологически документированной истории Земли. Возвращаясь к постулату Заварзина о том, что обитанию должна предшествовать обитаемость, мы можем заключить, что везде, где можно

проследить обитаемость (признаки палеопочв), мы обнаруживаем и обитание (признаки деятельности микроорганизмов).

Одно из важнейших событий докембрия - это так называемый «кислородный взрыв», определивший принципиальное изменение геохимической обстановки, вывернувший, по образному выражению Заварзина (2003), биосферу наизнанку. С появлением кислородной атмосферы связывается конец железорудной эпохи, а также формирование защитного озонового экрана, без наличия которого существование живых организмов на поверхности суши невозможно из-за воздействия солнечных ультрафиолетовых лучей. Представление о том, что первоначальная атмосфера была бескислородной, появилось на основе изучения полосчатых железистых формаций (джеспилитов), образовавшихся в результате окисления запасов железа на суше и в поверхностных слоях океана колониями микроорганизмов (прежде всего цианобактерий). Долгое время вырабатываемый микроорганизмами кислород полностью тратился на окисление элементов с высоким сродством к кислороду, таких как железо. По мере связывания свободного железа на суше и верхних слоях океана концентрация кислорода в атмосфере резко возросла. Таким образом, джеспилиты, известные начиная со времени 3,7 Ga, представляют собой наиболее яркий геохимический результат субаэрального выветривания при бескислородной атмосфере. Изучение палеопочв, формировавшихся в непосредственном контакте с палео-атмосферой - это наиболее точный метод реконструкции ее состава. Именно палеопочвы дают документальное подтверждение произошедшей революции. Профили палеопочв старше 2.45 Ga, в частности, описанные выше палеопочвы серии Pronto, характеризуются бледной зеленоватой окраской, определяемой высоким содержанием закисных форм железа (так называемые Зеленые Глины – «Green Clays»). Это глинистые палеопочвы, богатые алюминием и бедные основаниями. При нормальном содержании кислорода железо в этих почвах было бы окислено. Их окраска и минералогический состав отражают низкое содержание кислорода в атмосфере в эпоху до «кислородного взрыва». Ярким свидетельством низкого содержания кислорода в атмосфере является присутствие в почвах рабдофана (Murakami et al., 2001). Профиль почв серии Pronto сформировался при выветривании гранито-гнейсов. Стадийное выветривание апатита привело к его замещению рабдофаном, содержащим чрезвычайно устойчивый к растворению и температурным воздействиям церий в восстановленной форме ( $\text{Ce}_3$ ). В более молодых осадках церий представлен окисленными формами (минерал церианит -  $\text{CeO}_2$ ).

С другой стороны, изучение «Зеленых Глин» не подтверждает предположение о полном отсутствии кислорода в атмосфере раннего протерозоя. Анализ состава докембрийских пород обнаруживает несомненные следы воздействия окислительных условий на осадочные отложения начиная с архея (Retallack, 2001). Например, в верхних горизонтах профиля па-



леопочв серии Pronto обнаруживается возрастание доли окисленных форм железа (Gay & Grandstaff, 1980). На этом основании они предположили, что свободный кислород присутствовал в докембрийской атмосфере. Таким образом, «Зеленые Глины» формировались под воздействием кислородной атмосферы, хотя и с низким содержанием кислорода.

Prasad и Roscoe (1996) изучили петрографический, минералогический состав и валовой состав палеопочв, сформированных в отложениях Гуронской супергруппы в районе озера Элиот (Онтарио, Канада). Почвы под нижнегуронскими отложениями (старше 2,45 Ga) содержат минералы двухвалентного железа (пирит, пирротит, ильменит). В верхнегуронских отложениях представлены красные железистые прослои, а почвы, залегающие выше верхнегуронских отложений (моложе 2,2 Ga) содержат гематит и гётит. Авторы считают, что изученная ими колонка отложений позволяет приурочить обогащение атмосферы кислородом к интервалу 2,45-2,22 Ga, а с учетом времени, необходимого для формирования нижнегуронских отложений, изменение в содержании кислорода скорее всего произошло 2,4 Ga.

Формирование кислородной атмосферы выражается и в смене геохимических результатов почвообразования и выветривания. Так, полосчатые железистые формации (джеспилиты), образовавшиеся при окислении свободно стекавших на мелководья закисных форм железа колониями цианобактерий сменяются широким распространением на континентах красноцветных формаций. Самые древние из известных континентальных красных толщ не старше 2 Ga, широкое распространение эти формации получили в палеозое.

Древнейшие латеритные коры выветривания (палеопочвы Nekroort), формировавшиеся в интервале 2,22 – 2,06 Ga на базальтовых лавах широко распространены в южной Африке во всем ареале Трансваальской супергруппы (Evans et al., 2002). Формирование латеритного профиля аналогично современным латеритным корам выветривания на базальтах, в профиле которых выделяются сверху вниз латерит, пятнистая зона, обесцвеченная зона и горизонт, обогащенный железом. Палеопочвы формировались под воздействием кислородной атмосферы и при активном участии бактериальных сообществ, осуществляющих процессы восстановления-окисления железа в условиях переменного-влажного климата (Yamaguchi et al., 2007). Во влажные сезоны под воздействием органических кислот и железоредуцирующих бактерий происходит восстановление железа. Это определяет соотношение изотопов железа (отрицательные значения  $-\delta^{56}\text{Fe}$ ). Повторяющиеся циклы приводят к формированию в средней части профиля обесцвеченного горизонта, обедненного железом. Циркулирующие грунтовые воды обогащены закисными формами железа. В сухие сезоны под воздействием атмосферного кислорода на опускающейся границе горизонта грунтовых вод происходит окисление железа и его осаждение на опре-

деленной глубине. В этом горизонте отмечается высокое изотопное соотношение  $\delta^{56}\text{Fe}$ .

Итак, накопление в атмосфере кислорода благодаря фотосинтезу регистрируется по окисленным соединениям железа в палеопочвах на рубеже около 2,4 Ga. Увеличение содержания кислорода вызвало появление многоклеточных организмов, усложнение форм жизни и сопровождалось усложнением древних почвенных покровов. Начался синтез заметных количеств органического вещества и расширение биологического цикла кислорода, водорода, азота, углерода, серы и ряда других элементов зольного питания. Образовывались значительные массы биогенного мелкозема.

Во всю последующую историю Земли палеопочвы, сформированные на богатых железом породах, характеризуются наличием красных горизонтов, обогащенных окисленными соединениями железа. Палеопочвы Flin Flon (Саскачеван, Канада), формировавшиеся на базальтах в интервале 1,9-1,8 Ga, по морфологии и свойствам близки к современным хорошо дренированным аналогам (Holland et al., 1989). Профиль представлен серией горизонтов, в которых снизу вверх убывает количество обломочного материала. Верхний горизонт обогащен окисленными формами железа (гематит). Содержание FeO снижается от нижних горизонтов к верхним, что свидетельствует о его окислении в процессе почвообразования. В верхних горизонтах также наблюдается снижение содержания CaO и MgO и увеличение содержания  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{TiO}_2$ . Очевидно, что окисление железа произошло в процессе выветривания под воздействием кислородной атмосферы. Аналогичными свойствами характеризуются и почвы Staca (на амфиболитах) и Sheigra (на гранито-гнейсах) в Шотландии возрастом 810 Ma (Retallack, 2001).

Наряду с уровнем содержания кислорода палеопочвы отражают и уровень содержания другого важнейшего компонента атмосферы – углекислого газа. Известно, что содержание  $\text{CO}_2$  заметно различалось в различные геологические эпохи, отражая, прежде всего уровень вулканической активности. Так, в архейской атмосфере уровень содержания  $\text{CO}_2$  был в  $10^2$ - $10^3$  раза выше современного (Kasting, 1993). Повышение атмосферного  $\text{CO}_2$  вызывает усиление процессов углекислотного выветривания, и в конечном счете приводит к усилению континентального карбонатного осадконакопления (Добровольский, с соавт., 2010). Интенсивность выветривания магматических пород и формирование континентальных карбонатных отложений в докембрии также регулировались содержанием  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Расчеты для почвы возрастом 2,2 Ga показали, что в палеопротерозое  $p\text{CO}_2$  был заметно выше и составлял  $\sim 23 \text{ PAL}^1$  (Sheldon, 2006). Это находит независимое подтверждение в особенностях выветривания палео-

---

<sup>1</sup> Балансовые расчеты позволяют рассчитать  $p\text{CO}_2$  (парциальное давление атмосферного  $\text{CO}_2$  - partial pressure of atmospheric  $\text{CO}_2$ ) по отношению к уровню  $p\text{CO}_2$  в современную (доиндустриальную) эпоху (PAL - pre-industrial atmospheric level).

протерозойских почв. Так, в почвах серии Pronto описано практически полное растворение апатита, хлорита и биотита в верхних горизонтах, а также частичная потеря Al и Si (Nedachi et al., 2005). В почвообразующей породе железо представлено в составе мафических минералов, таких как роговая обманка, биотит и хлорит. В верхних горизонтах эти минералы были полностью разрушены. Это позволяет предполагать, что выветривание проходило под воздействием почвенных растворов более кислых, чем в настоящее время. Единственной причиной высокой кислотности почвенных растворов в докембрии мог быть высокий уровень  $pCO_2$ .

В то же время, расчеты по почвам Sturgeon Falls и Good Harbor Bay, сформированных на продуктах выветривания базальтов в рифтовой зоне Канадского щита в интервале 1108-1060 Ma (Mitchell, Sheldon, 2009, 2010) дали  $pCO_2$  в пределах 4-6хPAL. Это согласуется с расчетами для более молодой (980 Ma) палеопочвы в Шотландии (Sheigra paleosol, 6,89 PAL, Sheldon, 2006) и показывает, что в мезопротерозое уровень  $CO_2$  в атмосфере снизился по сравнению с палеопротерозоем.

В настоящее время почвы докембрия изучены довольно полно практически в пределах всех кратонов. Как уже упоминалось, по их свойствам определяется состав древней атмосферы (Retallack, 1986; Zbinden et al., 1988; Sheldon, 2006), степень преобразования исходной породы в процессе почвообразования (Maynard, 1992; Driese et al., 2007; Mitchell and Sheldon, 2009). Изучение палеопочв позволяет реконструировать палеоландшафтную обстановку (Kalliokoski, 1986). Многие почвы докембрия чрезвычайно близки к современным аналогам.

Так, в Восточной Индии описана Вертисоль (по Soil Survey Staff..., 1998<sup>2</sup>) возрастом около 2200 Ma, практически не отличимая от Вертисолей палеозоя или голоцена (Vandopadhyaya et al., 2010). Почва сформирована на сланцах кварц-мусковит-пирофилитового состава и представлена мощным профилем с полным набором диагностических горизонтов, кроме верхнего органогенного. Горизонт Bss с обильными сликенсайдами и призматической и ореховатой структурой с четкими угловатыми структурными отдельностями. Для этого горизонта характерно изотропно-плазменное микростроение и сильное оглинивание. В минеральной матрице представлены как малоизмененные обломки гранита, сохранившие кристаллическую текстуру и набор минералов, так и обломки сапролитов с реликтовой кристаллической текстурой, зернами серицитизированных полевых шпатов и корродированными зернами кварца в матрице вторичных глинистых минералов (иллит-мусковит). Наряду с этими признаками, определяемыми процессами усыхания-набухания, удалось обнаружить также погребенный гильгайный микрорельеф. Все эти свойства свидетельствуют

---

<sup>2</sup> Здесь и далее в начале обзора материалов конкретной статьи дается указание на классификационную систему, которую использовал(и) автор(ы).

о том, что почва формировалась при переменном-влажном климате в хорошо дренированных условиях, типичных для слитых почв.

Близкая по возрасту (2,2 Ga) и по свойствам глинистая палеопочва Waterval Onder (палеовертисоль) была описана в Трансваале, Южная Африка (Retallack, 1986, Retallack, Krinsley, 1993). Синседиментационная палеопочва сформирована в слоистой пачке песчаников, алевролитов и глинистых сланцев. Для древней поверхности характерен гильгайный микро-рельеф. Профиль характеризуется структурной организацией, типичной для современных Вертисолей (сликенсайды, четкие угловатые педы). Четкая слоистость позволяет предполагать, что палеопочва формировалась в течение короткого времени (менее 7000 лет по оценкам автора). Наличие мощных даек с песчаным заполнением из вышележащей пачки отложений, свидетельствует об интенсивном сезонном иссушении профиля до глубины около 2 метров. В то же время, для микростроения подповерхностных горизонтов характерны глинистые аржилланы и наличие зон с высоким двупреломлением плазмы. Эти признаки свидетельствуют о промывном водном режиме. Бледная окраска нижележащих отложений позволяет предполагать, что на этом уровне располагался горизонт грунтовых вод. Марганцево-железистые аржилланы на границе породных слоев и глинистых гранул в верхнем горизонте, свидетельствуют об активном воздействии микроорганизмов. В то же время, преобладание в валовом составе окисных форм железа над закисными свидетельствует как об отсутствии восстановительных условий в верхнем горизонте, так и о наличии кислородной атмосферы во время формирования почв. Интересно, что верхние горизонты характеризуются уменьшением суммы обменных оснований, аналогично современным почвам, формирующимся под воздействием сосудистых растений. Предполагается, углекислотное выветривание могло осуществляться при повышенном содержании CO<sub>2</sub> в атмосфере. Как и современные слитые почвы, палеовертисоли Waterval Onder формировались в условиях субгумидного-семиаридного умеренного климата с выраженной сезонной контрастностью.

Представление о почвообразовании в мезопротерозое можно составить по палеопочвам Sturgeon Falls, и близким к ним почвам Good Harbor Bay, формировавшимся в интервале 1108-1060 Ma на смешанных отложениях (продукты выветривания базальтов и кварцсодержащих песчаников) в пределах древней рифтовой зоны (район озера Верхнее, штат Мичиган, США, Mitchell, Taylor, 2009, 2010). Почвы характеризуются интенсивным выветриванием. Зерна полевых шпатов в шлифах заметно изменены. Характерно формирование вторичных карбонатных новообразований, плазма также с карбонатным цементом, занимающим до 25% от площади шлифа. Описаны также карбонатные заполнения межпедных трещин. Наряду с этим в профиле почв выделяются и пятна оглеения и железистые конкреции. Все это свидетельствует о том, что влияние микробных сообществ

распространялось в почвах на рыхлых отложениях на подповерхностные горизонты почвенного профиля.

### *Основные черты почвообразования в раннем палеозое*

Эволюция геобиоферных циклов в палеозое изучена гораздо полнее, чем в докембрии, за счет большей полноты геологической и палеонтологической записи. В масштабе геологических периодов факторами, определявшими эволюцию педосферы и биосферы были тектоника плит, циклы горообразования и вулканической активности. Тектоника плит и горообразование определяли многообразие типов климата и, в конечном итоге, чередование холодных и теплых биосфер (по Чумакову, 2001), а также чередование аридных и гумидных эпох. Выделяются эпохи с четкой и сглаженной структурой климатической зональности. Так, эпохи расширения площади суши сопровождались усилением климатической контрастности, вплоть до ледниковых циклов, и усилением аридизации. На протяжении большей части фанерозоя климат был заметно теплее современного. Периоды «холодных» биосфер составляли лишь 4% от общей продолжительности фанерозоя. Поэтому, основными почвообразующими породами были продукты, прошедшие через древнее тропическое почвообразование. Заметное влияние на эволюцию биогеосферных циклов оказывали и масштабные биосферные кризисы (массовые вымирания живых организмов).

Наряду с увеличением разнообразия форм жизни растет и разнообразие типов почвообразования. Соответственно увеличивается биологическая составляющая в биогеосферных циклах. В палеозое особенно очевидна сопряженная эволюция форм жизни и палеопочв, описанная выше для самых начальных этапов биогеосферных циклов докембрия (Глинка, 1904; Польшов, 1917, 1948; Роде, 1947; Герасимов, Глазовская, 1960; Yaalon, 1971; Ковда, 1973; Фридланд, Буяновский, 1977; Global Soil Change..., 1990; Retallack, 2001; Добровольский, 2006 и др., Добровольский, Макеев, 2009). Начало палеозоя ознаменовалось появлением большого разнообразия новых форм жизни, получившее название «кембрийский взрыв». Первые многоклеточные морские организмы датированы возрастом 510 Ма. У живых организмов стали формироваться минеральные скелеты, что определило улучшение палеонтологической записи. Однако эти изменения касались жизни в океане. Наземная жизнь на суше (во всяком случае, в нижнем кембрии) была по-прежнему представлена только микроорганизмами.

Принципиальные факты, раскрывающие роль сообществ микроорганизмов в почвообразовании, получены при исследовании палеопочв, формировавшихся в условиях субтропического переменного-влажного семиаридного климата в нижнекембрийское время в северной Испании в чередующихся пойменных и дельтовых отложениях эстуариев (Alvaro et al., 2003). При динамичной смене условий осадконакопления глинистые палеопочвы (аргиллитовая фация пойменных отложений) формировались в

непродолжительные отрезки времени (по расчетам авторов порядка  $10^2$  лет). Профили мощностью 120 см отвечают всем критериям современных почв - sulfidic Ustifluvents (по Soil Survey Staff, 1998) и подразделяются на три горизонта (рис. 3). Сезонная контрастность (чередование сухих и влажных периодов) проявилась в верхнем горизонте, где представлены признаки набухания-усыхания почвенной массы. Ниже залегает плитниковый горизонт с обильными железистыми конкрециями и метатубулами. Нижний пятнистый горизонт отражает уровень периодического стояния верховодки. Детальный микроморфологический, геохимический и минералогический анализ позволил выявить следы деятельности микробных колоний в формировании всех горизонтов профиля. Так, в верхнем горизонте представлены железисто-марганцевые пятна и диффузные железистые хлопья на аржилланах бактериальной природы. Особенно ярко участие микроорганизмов проявилось в формировании железистых конкреций и метатубул, нодулярных скоплений гетита, а также биогенной пористости в среднем горизонте. Тубулярные текстуры гидроокислов железа, возможно, указывают на участие в их формировании цианобактерий. Биогенные признаки в нижнекембрийских палеопочвах оказались идентичными аналогичным признакам в почвах эстуариев неоген-четвертичного времени в южной Бретани, Франция. Рассматриваемые, а также приведенные нами ранее данные позволяют выполнить переоценку роли микроорганизмов в почвообразовании. Еще до появления высших растений микроорганизмы формировали сложные сообщества, распространяя свое влияние в почвах на рыхлых породах фактически в пределах всей вадозной зоны, и определяли заметные преобразования почвенной массы и свойств горизонтов даже при незначительной длительности почвообразования.

Подведем итоги рассмотрения основных закономерностей почвообразования в условиях бактериальной биосферы. Этот период охватывает докембрий и нижний палеозой. Формирование почвенного покрова, погребение почв, а также снос и переотложение разрушенных почв - постоянное звено геологического круговорота начиная с докембрия. Уже в самые начальные этапы, вслед за образованием земной коры и формированием протоконтинентов (кратонов) мы обнаруживаем древнейшие континентальные осадочные и метаморфические породы с признаками влияния жизни. Рыхлых пород без признаков обитания практически не обнаружено. Это означает, что обитание и обитаемость на суше возникли практически одновременно. Древнейшие докембрийские палеопочвы на рыхлых осадочных породах и корках выветривания обладали мощным профилем. Почвы обладали породной и климатической сенсорностью. Докембрийские палеопочвы характеризуются глубоким выветриванием первичных минералов и стадийными преобразованиями вторичных минералов (оглиниванием), проходившими с участием микроорганизмов. Почвы имеют горизонтное строение профиля с развитой структурой и наличием кутан. Изотопный

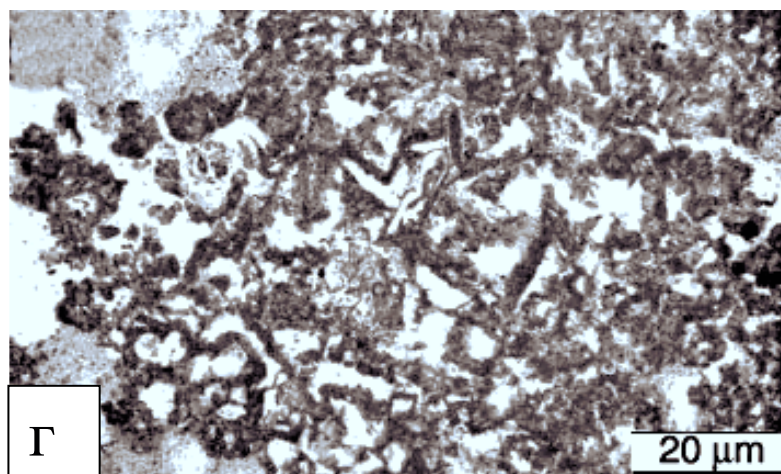
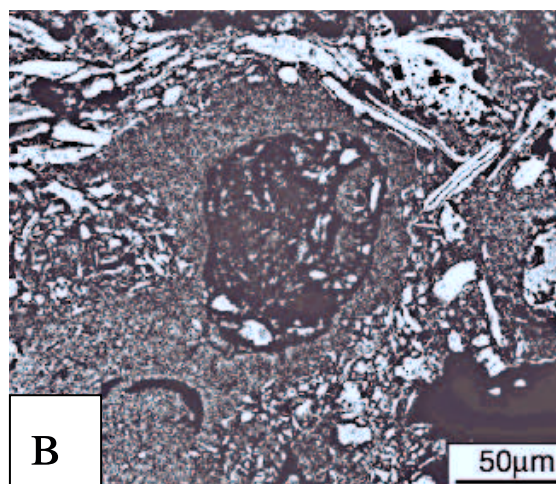
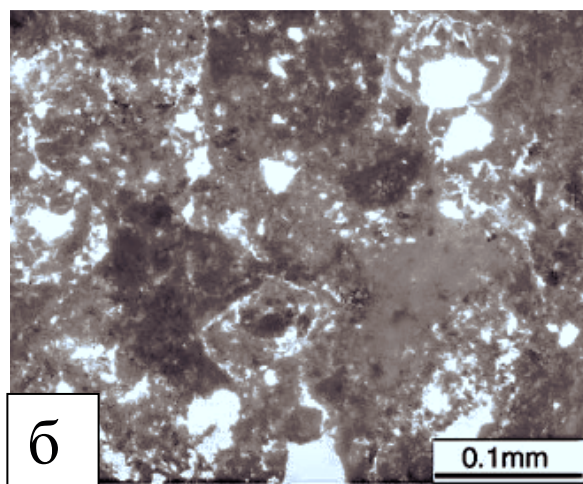
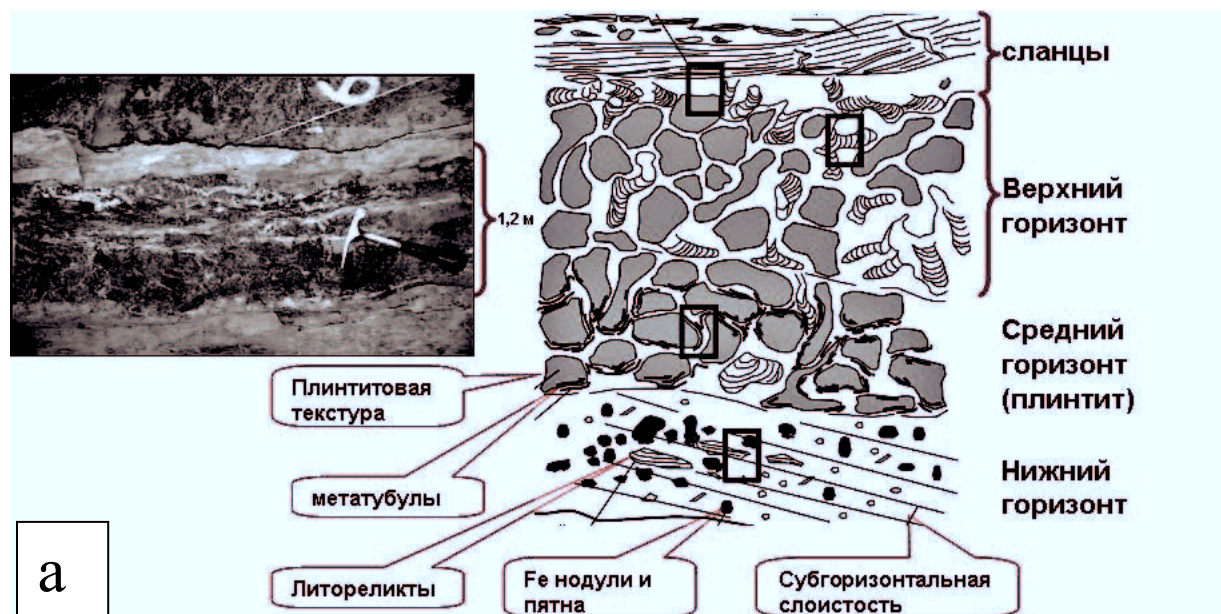


Рис. 3. Профиль нижнекембрийской пойменной палеопочвы (sulfidic Ustifluvents, Alvaro et al., 2003). а) строение профиля; б) гетитовая конкреция, средний горизонт; в) заполнение глиной биогенной поры, средний горизонт; г) биогенная микроагрегация плазмы, средний горизонт

анализ, а также микроскопические исследования обнаруживают признаки накопления органического вещества. При близости свойств докембрийских палеопочв и их современных аналогов, они близки и по экологическим функциям. Древние почвы формировались как компоненты существовавшего тогда биогеоценоза (сложно построенного сообщества микроорганизмов). Хотя возможно, в отсутствие сложных органоминеральных комплексов почвы не могли обладать высокой буферностью. Очевидно, что эти почвы не могли определять и современный гидрологический цикл с вовлечением подпочвенных вод, что стало характерным для биогеоценозов при появлении древесной растительности, а также травянистой растительности с развитой корневой системой.

Подчеркнем, что все эти свойства сформировались при участии только микроорганизмов в отсутствие высших растений. Было ли это почвообразование в «классическом» виде? С прокариотами (бактериальной биосферой) связывается наличие только абиогенных и слабобиогенных кор выветривания (Заварзин, Рожнов, 2010). Возникновение собственно почв связывается с появлением сосудистых растений в конце силура - девоне, когда стало возможным формирование сложных гумусовых соединений (Заварзина, 2010).

Согласно другим подходам, коры выветривания, в том числе и абиогенные, часто рассматриваются как почвы (Retallack, 2001). В последнее время приходит понимание, что докучаевская парадигма во многом приложима к более широкому набору объектов, чем собственно почвы - экзонам (Таргульян, 1983; Targulian et al., 2010). Так, экзоны, наряду с почвами включают в себя и абиогенные коры выветривания, в том числе и на других планетах. Получаемые в последнее время материалы показывают, что все же докембрийские почвы сильнее отличаются от экзонов Марса, Венеры, Луны, чем от современных почвенных аналогов.

Формирование мощных профилей в условиях бактериальной биосферы определяет необходимость пересмотра понятия «бактериальные пленки». В этом смысле интересен подход, согласно которому почвенные пленки (soil crusts) представляют собой сложные экосистемы (Grazhdankin, 2007). Сообщества древнейших микроорганизмов обладали сложными функциональными связями (Заварзин, 2003). Выше описана сложная структура микробных матов, реконструированная для почв, формировавшихся 2,7-2,6 Ga в Южной Африке (Watanabe, et al., 2000, 2004). Признаки охвата сообществами микроорганизмов верхних горизонтов почвенного профиля установлены уже для почв палеопротерозоя (например, описанные выше железисто-марганцевые пленки в почве Waterval Onder). К сожалению, признаки, обусловленные деятельностью микроорганизмов (структурные особенности, микробио-турбации, новообразования и т.п.) в



палеопочвах плохо сохраняются, а иногда просто не замечаются. До настоящего времени отсутствуют и четкие критерии для их диагностики. При дальнейшем изучении параэлювиальных кор выветривания как палеопедолитосфер, мы, по-видимому, получим более определенный ответ о функциональных возможностях древнейших микробных сообществ.

Отдельный вопрос о том, как осуществлялось глубокое преобразование минеральной матрицы. В современных почвах при совместном воздействии различных агентов (микроорганизмы, корневые выделения, гумусовые кислоты) возникает синергетический эффект, усиливающий преобразование минеральной матрицы (Соколова, 2011). Однако изучение палеопочв бактериальной биосферы показывает, что и сами микроорганизмы способны приводить к существенным изменениям минеральной матрицы почвенных горизонтов. Примитивные микробные сообщества могли способствовать образованию филосиликатных глинистых минералов в докембрии, а также в раннем палеозое (Álvarez et al., 2003).

Основным агентом выветривания в докембрии была углекислота. При повышении содержания в атмосфере  $\text{CO}_2$  активизировались процессы выветривания. Можно указать еще на одну важную особенность докембрийских палеопочв, сближающих их с почвами более поздних эпох, формировавшихся под воздействием высших растений – зависимость накопления почвенных карбонатов от содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере и участие сообществ микроорганизмов и дыхания почвы в бикарбонатном метаболизме. Карбонатное осадконакопление на суше связывается с высоким давлением углекислого газа ( $p\text{CO}_2$ ). Считается, что формирование таких условий в почвах было невозможно до появления сосудистых растений. В то же время накопление карбонатов документировано уже в почвах архея, протерозоя, кембрия, ордовика и силура. Таким образом, изучение палеопочв показывает, что сообщества микроорганизмов даже в отсутствие высших растений могли регулировать в зависимости от климатических параметров и содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере, накопление карбонатных горизонтов почв и карбонатных отложений на суше. При этом петрографические характеристики карбонатных новообразований последевонских почв, образованных в богатых органикой почвах при участии высших растений, отличаются от таковых до-девонских почв (Brasier, 2011).

Нам представляется, что новые данные о палеопочвах бактериальной биосферы позволяют внести коррективы и в выделение главного стратиграфического рубежа – границы протерозоя и палеозоя. Важнейшие изменения в эволюции наземной жизни и палеопочв приурочены к последующим этапам – силуру и девону и связаны с появлением высших растений.

В палеозое экосистемы не только отражают глобальные климатические циклы, но могут в значительной степени определять их. Ранний палеозой был периодом с мягким климатом без выраженной сезонной контрастности и невыраженной климатической поясностью. Уровень содер-

жания CO<sub>2</sub> в атмосфере кембрия был выше современного. «Кембрийский взрыв» вызвал заметное снижение уровня содержания CO<sub>2</sub>. В ордовике концентрация CO<sub>2</sub> уменьшилась до 4400 ppm, что привело к снижению парникового эффекта и развитию оледенений.

В ордовикском периоде, так же как и в кембрии, господствовали бактерии. Продолжали развиваться сине-зелёные водоросли. К среднему ордовику (450 Ma) относят и появление первых наземных многоклеточных организмов. К ордовикскому периоду относятся свидетельства о существовании наземной растительности: остатки спор и редкие находки отпечатков стеблей, вероятно, принадлежавших сосудистым растениям. С большой достоверностью можно полагать, что в ордовике - силуре лишайники колонизировали сушу (488–416 Ma).

Палеопочвы в палеозое также дают наиболее определенные ответы на главные вопросы эволюции биосферных циклов. Так, именно палеопочвы сохранили древнейшие свидетельства существования наземных животных. Известно, что животные (причем, только обитатели морей) появились в силуре. Однако уже в позднеордовикских палеопочвах центральной Пенсильвании обнаружены следы вертикальных норок, прорытых какими-то достаточно крупными животными. Ходы размером от 2 до 21 мм в диаметре оставлены животными с твердой оболочкой (видимо, членистоногими или олигохетами) 438-448 Ma. В этих почвах нет следов корней, но есть своеобразные трубчатые тельца, которые интерпретируются как остатки несосудистых растений и/или наземных зеленых водорослей (Retallack, 2001). Таким образом, находки в палеопочвах ископаемых следов наземных животных, а также находки спор наземных растений, предположительно мохообразных, указывают на существование в позднем ордовике гораздо более сложных экосистем, чем предполагалось ранее. Ранее подобная находка, датированная 414 Ma (граница силура и девона), была сделана в Шотландии и Южном Уэльсе. В несколько более поздних, силурийских, палеопочвах найдены окаменевшие копролиты животных; пищей им, судя по всему, служили гифы грибов, составляющие заметную долю вещества копролитов (впрочем, не исключено, что грибы могли и вторично развиваться на органике, содержащейся в копролитах). Таким образом, животные (беспозвоночные) существовали на суше, по меньшей мере, с ордовика, т.е. задолго до появления высших растений (чьи достоверные следы по-прежнему остаются неизвестными до позднего силура). Средой обитания и пищей этим беспозвоночным могли служить водорослевые корки; при этом сами животные неизбежно становились мощным почвообразующим фактором.

### *Почвы и завоевание суши высшими растениями*

Ярким примером коэволюции биоты и палеопочв, повлиявшей, в конечном счете, и на остальные геосферы, явилось распространение высших

растений. Известно, что сосудистые растения появились в наземных местообитаниях, а океан заселен высшими растениями вторично (Заварзин, 2009). Начиная с силура в красных глинистых карбонатных палеопочвах (Земля Королевы Виктории, Антарктида) наблюдается увеличение объема корней (Retallack, 1997a). Сложные процессы гумусообразования могли осуществляться только при разложении сосудистых растений, хотя не исключено, что первые гумусовые вещества могли образовываться при разложении лишайников. Поэтому высказывается мнение, что настоящие почвы могли формироваться лишь с появлением условий для формирования гумусовых веществ, способных образовывать органоминеральные комплексы (Заварзина, 2010). Поэтому силур, и особенно девон принимается за начало формирования «настоящих» гумусированных почв. Именно к ордовику-силуру относит начало «интерсивного педогенеза» и Н.М. Чумаков (2001). Мы несколько не умаляем важную роль органоминеральных комплексов в усилении роли почв в биогеосферных циклах. Однако, как мы видели, уже в докембрии в условиях бактериальной биосферы могли формироваться мощные глубоко выветрелые почвенные профили, по своим свойствам и основным экологическим функциям близкие к современным аналогам.

Появление сосудистых растений вызвало усиление биохимического выветривания. Папоротники и плауны обладают низкой зольностью (4-6%), однако, в золе содержится много К (до 30%) и Cl (до 10%). Хвои же отличаются высокой зольностью (до 20%), в золе много Si (до 28%). Наряду с высшими растениями идет активное заселение суши многоклеточными водорослями (зелеными, багряными, бурыми), распространение грибов. Заселение литофильных организмов (лишайников) ускорило и наскальный почвообразовательный процесс. Лишайники расширили биокруговорот Ca, Fe, Si, а грибы – P и K (Ковда, 1973). Усиление выветривания повлияло на формирование наземных карбонатных отложений (начиная с девона). Эвапотранспирация сосудистых растений повлияла на атмосферный гидрологический цикл вовлечением подземных вод и определила изменения в ходе выветривания подповерхностных горизонтов почв. Изменение гидрологического цикла сопровождалось усилением эвапотранспирации, что, в свою очередь, привело к увеличению количества осадков и повышению гумидности. Это, однако, не сказалось на увеличении эрозионных процессов. Обобщение большого числа данных по аллювиальным отложениям США и Европы от кембрия до девона позволило прийти к выводу о глобальной роли наземной растительности в изменении характера аллювиальных процессов (Davies & Gibling, 2010). Так в отложениях додевонских речных долин представлены преимущественно грубодисперсные отложения с небольшим участием глинистых осадков. Строение отложений указывает на неразвитые долины с блуждающими руслами. В отложениях силура – девона ясно прослеживается эволюция осадков в сторону большего распро-

странения глинистых фаций, что, в свою очередь вызвало закрепление берегов и формирование зрелых долинных комплексов с меандрирующими руслами, прирусловыми валами и старицами, развитым комплексом террас и зрелыми палеопочвами. Остатки биоты свидетельствуют о распространении древесной растительности. Появление высших растений, особенно древесной флоры с развитой корневой системой привело к заметному повышению устойчивости поверхности к эрозии. Начиная с позднего силура в аллювиальных отложениях, параллельно с появлением остатков сосудистых растений, часто встречаются педогенные карбонаты, углистые частицы и признаки биотурбаций. Изменился и характер эоловых отложений. До появления растительного покрова, стабилизирующего поверхность, эоловые отложения характеризуются высокой степенью окатанности частиц, свидетельствующей о многократном перевевании.

Почвообразование принимает развитой характер. Дернового процесса в отсутствие травянистой растительности быть, однако не могло. Тем не менее, разложение органических остатков с участием высших растений приводило к накоплению гумусовых веществ и формированию органоминеральных комплексов.

Усиление выветривания первичных силикатов, связанное с развитием ризосферы, в свою очередь, отразилось на уменьшении содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Падение уровня  $\text{CO}_2$  регистрируется по изотопным соотношениям углерода в упомянутой выше серии палеопочв Земли Королевы Виктории в Антарктиде. Уменьшение содержания  $\text{CO}_2$  не было следствием масштабных эндогенных причин. В среднем и верхнем фанерозое уровень вулканической активности оставался стабильным. По-видимому, главным фактором снижения парникового эффекта было появление высших растений, определившее изменение интенсивности выветривания. Другим фактором было широкое распространение древесной растительности. В дальнейшем, в каменноугольный и пермский периоды захоронение обогащенных лигнином остатков растений, устойчивых к микробному разложению, привело к дальнейшему снижению уровня  $\text{CO}_2$  и повышению уровня кислорода в атмосфере. Глобальный эффект захоронения древесной растительности определялся тем, что в дополнение к океаническому углеродному пулу добавился континентальный, связанный с палеопочвами. В конечном счете, именно уменьшение парникового эффекта вызвало развитие в карбоне и перми самых масштабных ледниковых циклов за весь фанерозой (Bernier, 2003).

Как упоминалось выше, ранний и средний палеозой характеризовались теплыми климатическими условиями. В нижнем девоне во влажных теплых областях широкое распространение получают кислые каолинитовые, аллитные, бокситовые почвы и гидроморфные почвы, обогащенные железом. Были распространены красные тропические почвы. Большие площади занимали пустыни с засоленными почвами. В дальнейшем теплые

условия раннего и среднего палеозоя с выраженным парниковым эффектом сменяются более контрастными холодными условиями позднего палеозоя. Переход к более холодным условиям позднего девона находит отражение в характере почвообразования. Начиная с позднего девона и раннего карбона известны Альфисоли (по Soil Survey Staff, 1998) и Ультисоли. В девоне образовалась четкая зональность при господстве тропического и субтропического климата. Формировались мощные коры выветривания аллитного и каолинитового типа, а также латериты и органические залежи – каменный уголь.

Изучение нижнедевонских аллювиальных комплексов (Old Red Sandstones) в южном Уэльсе показывает возможности палеогеографических реконструкций на основе сопряженного анализа эволюции палеопочв и динамики осадконакопления (Hillier et al., 2007). Кальциковые Вертисоли (по Soil Survey Staff, 1998) с мощными трещинами усыхания, приуроченные к глинистым прослоям, являются единственным указанием на теплые семиаридные условия с выраженной сезонной контрастностью. Вверх по разрезу степень зрелости Вертисолей уменьшается, глинистые прослои замещаются песчаными, что свидетельствует об изменении климата в сторону повышения его гумидности. Интересно подчеркнуть, что палеопочвы позволяют провести палеогеографические реконструкции в отсутствие палеонтологических останков. Так, в описанном случае, в аллювиальных комплексах не сохранилось растительных остатков.

Повышение гумидности и прогрессивное похолодание носило, по видимому, глобальный характер. Так, сходные климатические изменения зафиксированы в сериях верхнедевонских палеопочв, сформированных в аллювиальных отложениях (песчаники, сланцы Catskill и Hampshire Formation) в Пенсильвании, Мэриленде и западной Вирджинии (Brezinski et al., 2009). В нижней части разреза представлены карбонатные палеопочвы (Вертисоли, по Soil Survey Staff, 1998). Карбонатные горизонты содержат обильные карбонатные нодулы и ризоморфозы размером до 4 см. В верхней части серии палеопочвы представлены бескарбонатными Вертисолями. Обилие обугленных древесных остатков (стволы, корни) свидетельствует о высокой биопродуктивности ландшафта. В перекрывающих аллювиальную свиту отложениях (Kopf formation) представлены ледниковые отложения Гондванского оледенения.

По мнению многих исследователей, завоевание растительным и животным миром суши было переломным моментом в истории развития жизни на Земле. И в этом нельзя не видеть важной роли почв. Освоение почвы как среды обитания обеспечило сухопутным беспозвоночным возможность прогрессивной эволюции, сопровождавшейся активной дивергенцией форм и развитием разнообразных алломорфных приспособлений к питанию, локомоции и ориентации в почве (Стриганова, 1996).

### ***Основные черты почвообразования в карбоне***

Начало карбона было в основном теплым временем, с господством тропического климата. Формировались аллитные и каолиновые коры выветривания, латериты. Низкий уровень океана определил широкое распространение низменностей, аллювиальных равнин и дельтовых пространств, в пределах которых формировались обширные болота. К началу карбона на суше сформировался сплошной растительный покров, и растительность стала мощным фактором земной жизни (Комаров, 1961). Важнейшим аспектом было формирование к этому времени многоярусных растительных сообществ, по структуре и функциям близким к современным (Dunn, 2004). Вторая половина девона и часть карбона – постепенное исчезновение псилофитов и господство палеофитовой флоры. В течение 100 млн. лет (карбон и часть перми) господствовала антракофитовая флора, представленная папоротниками, хвощами, плаунами и голосеменными. Эта растительность образовывала мощный органический опад, приводивший к формированию лесной подстилки с обилием перегноя и минеральных веществ. В хорошо дренированных тропических почвах Миссисипского субпериода Аппалачского бассейна представлены остатки мощной корневой системы, образованной древесными сообществами (Kahmann & Driese, 2008).

На суше была выражена климатическая зональность. В тропических областях сформировался сплошной пояс тропических дождевых (угольных) лесов, приуроченный к плоским низменным областям с блуждающими речками, откладывающими илистые осадки (дополнительный фактор захоронения углерода). Это ландшафты лесов и болот типа современных плайя с сочетанием лесного и болотного почвообразовательного процесса. В богатых каолинитом глинистых сланцах пенсильванской подсистемы в Миссури описаны палеопочвы с остатками обильных корневых систем древесной растительности, глубоко проникающей в нижние горизонты почвенного профиля. Описаны также следы лесных подстилок, образованных переплетением корней (Retallack & Germán-Heins, 1994). Характер распределения корней, а также глубоковыветрелый субстрат с низким содержанием обменных оснований аналогичен современным почвам дождевых лесов. Таким образом, палеопочвы подтверждают, что олиготрофные растительные сообщества на глинистых субстратах в гумидном климате появились, по крайней мере, 305 млн. лет назад.

На обширных пространствах формировались торфяно-болотные низинные почвы. Накопление органики происходило за счет разложения лесной растительности. Накопление толщ органического вещества привело в дальнейшем к формированию крупнейших залежей каменного угля. Поэтому карбон называют «угольным веком». Помимо ландшафтно-климатических условий, образованию угля способствовал характер растительности, а именно тот факт, что захоронению подвергались древесные

остатки с устойчивыми к разложению частями. Прежде всего, это кора, содержащая устойчивый к разложению и токсичный для бактерий лигнин (до 38-58%). Соотношение коры к древесине составляло 8:1, достигая даже 20:1, в то время как у современных деревьев это соотношение составляет всего лишь 1:4. Отмершая кора могла сохраняться на поверхности почв в течение тысяч лет и даже задерживать разложение другой органики. Высказывается также гипотеза, что бактерии, способные эффективно разлагать лигнин еще отсутствовали. Так или иначе, торфяные залежи активно накапливались как в болотах, так и на хорошо дренируемых участках.

Представления о ландшафтно-климатических условиях карбона получены, прежде всего, по угольным пластам. Сами по себе, каменноугольные пласты, являющиеся продуктом диагенеза торфяных почв, определенно свидетельствуют о влажном теплом климате с годовым количеством осадков и превышением осадков над испаряемостью в течение 10-12 месяцев. Промышленные залежи каменного угля представлены отдельными пластами, со средней мощностью 1-2 м, редко больше. Например, Кузбасский угольный бассейн имеет среднюю мощность пласта 1,85 м, Печорский – 1,53 м, с наибольшей мощностью до 12 м. Метровый пласт каменного угля образуется из торфяной толщи мощностью 20 м, что подтверждает длительность существования заболоченных лесов. Угольные пласты прекрасно консервируют растительные остатки. Их реконструкция подтверждает наличие влажных условий. Особенно ярко угленакопление проявилось во второй половине карбона, в пенсильванский субпериод на протяжении 15-20 млн. лет. По периферии болот Гистосоли замещались Сподосолями, Ультисолями и Оксисолями.

В то же время, угольные пласты, как правило, приурочены к циклотемам (cyclothemes или coal measures), широко распространенным в областях угленакопления. Циклотемы это слоистые толщи, образованные чередованием морских и терригенных осадков (прослой известняков, песчаников и углей). Как правило, прослой песчаников в циклотемах сменяются глинистыми, а затем угольными прослоями. Время формирования осадочных слоев измерялось периодами  $10^4$  –  $10^5$  лет. Циклотемы являлись результатом чередования трансгрессий-регрессий, связанных с динамикой оледенений, циклами Миланковича и пр. Одним из факторов образования циклотем было существование в карбоне обширных плоских низменностей, заполненных морскими осадками в предшествующие периоды высокого уровня мирового океана. Эти низменности реагировали даже на небольшие колебания уровня океана. Чередование угольных пластов с толщами терригенных и морских осадков свидетельствует прежде всего о динамичной ландшафтно-климатической обстановке карбона. Однако на слою осадков, разделяющие угольные пласты как на источник палеогеографической информации стали обращать внимание лишь в последнее время. Подстилающие прослой получили название coal seats или coal earth. Сохранность рас-

тительных остатков в условиях аэрации гораздо хуже. Однако в этих породных слоях представлены прекрасно сохранившиеся профили палеопочв. Палеопочвы показатели разнообразных условий, климатической зональности и климатических изменений в угольный век. Их изучение дает нам детальную запись динамики ландшафтно-климатических условий. По детальности записи, а также с учетом того, что формирование циклотем является климатически обусловленным процессом, они могут быть сопоставлены с лёссово-палеопочвенными сериями. На их основе возможно выполнение межрегиональных корреляций почвенных горизонтов и вмещающих отложений в пределах тропического пояса Пангеи. Разнообразие природных условий подтверждается сосуществованием различных флор. Ранее было принято считать, что понятия палеофитная и мезофитная флора это стратиграфические реперы. Однако они сосуществовали благодаря разнообразию ландшафтно-климатических условий. Так, в угленосных бассейнах представлены палеофитные флоры, а для более дренированных местообитаний характерно обилие покрытосеменных.

Почвы карбона и перми также подтверждают разнообразие природных условий. В гумидные периоды в тропическом поясе в пределах угленосных бассейнов активно формировались торфяные почвы (Histosols, по Soil Survey Staff, 1998). Петрографический анализ углей, а также палинологические спектры свидетельствуют о динамике условий угленакопления. Так, выделяются периоды распада торфов, затопления торфяников, пожары и пр. (DiMihele et al., 2010). Угольные прослои подстилаются палеопочвами, формировавшимися непосредственно перед заболачиванием угольного бассейна. Для среднего карбона описаны подзолы (Spodosols, по Soil Survey Staff, 1998), кислые тропические почвы (Ultisols) Вертисоли, текстурно-дифференцированные почвы (Argillisols, по Mack et al., 1993), то есть почвы, формирующиеся во влажном климате в условиях хорошего дренажа. Профили этих почв, как правило, диагенетически оглеены во время существования болота. В случае, когда профиль палеопочвы полностью сохранился, отмечается постепенный переход от гумусовых горизонтов почв к торфяному (угольному пласту), что свидетельствует о прогрессивном заболачивании.

Характер осадконакопления, почвообразования и сохранившиеся растительные остатки свидетельствуют о существовании семигумидных и даже семиаридных условий между периодами угленакопления. Так, для юго-западной Пангеи в пределах тропического пояса палеопочвенные индикаторы позволяют реконструировать годовое количество осадков на уровне >1200 мм в год (Tabor, Poulsen, 2008). Наряду с этим, наличие кальциковых Вертисолей (по Soil Survey Staff, 1998) и Кальцисолей указывает на существование на северо-западе Пангеи экосистем с годовым количеством осадков менее 900 мм в год и наличием сезонного дефицита влаги (Royer, 1999; Tabor, Poulsen, 2008, Joeckel, 1999; Tabor and Montañez,



2004; Falcon-Lang, 2003). Особенно характерно существование климата с выраженной сезонной контрастностью. Сопряженное чередование аридно - гумидных циклов, колебания уровня моря и изменение характера растительности скорей всего соответствовало динамике ледниковых циклов.

В семиаридные периоды влаголюбивая растительность сохранялась лишь в пониженных местообитаниях. В это время накапливались толщи континентальных карбонатных отложений и эвапоритов. Формировались кальциковые Вертисоли (по Soil Survey Staff, 1998), свидетельствующие о сезонном дефиците влаги. В то же время во влажные периоды болотные почвы занимали достаточно высокие уровни в ландшафте.

Изучение палеопочв, связанных с чередованием гумидных и аридных циклов (Гистосоли, Энтисоли, Инсептисоли, Альфисоли и Оксисоли, по Soil Survey Staff, 1998) в циклотемах Аппалачского бассейна позволило выявить очень подробную картину ландшафтно-климатических изменений в конце первой половины карбона (Kahmann & Driese, 2008). Аппалачский бассейн в это время располагался между  $5^{\circ}$  и  $10^{\circ}$  ю. п-ш<sup>3</sup>. вблизи границы между влажным экваториальным поясом и аридным поясом циркуляции пассатов. Незначительные колебания климата приводили к подвижкам границы климатического раздела, так, что Аппалачский бассейн попадал то в условия влажного экваториального, то субаридного тропического климата. В аридные периоды с высокой сезонной контрастностью формировались слитые почвы (Vertisols, по Soil Survey Staff, 1998). Ряд Вертисолей (Round pedotype) формировался в условиях хорошего дренажа, о чем свидетельствует наличие горизонтов Вк, глинистых кутан, и пр. В других профилях (Pine Mountain pedotype) отсутствуют горизонты Вк и глинистые кутаны, слитые горизонты обладают сероватой окраской и содержат обильные Fe-Mn нодули, что свидетельствует о наличии застойных периодов. Часть описанных Вертисолей имеет полигенетичный профиль, обусловленный мелкими повторяющимися колебаниями климата. Так, в горизонтах Вк наряду с карбонатными новообразования представлены железистые пятна и нодули. Анализ микростроения позволяет выявить стадии формирования железистых новообразований. Наблюдается также железистая пропитка карбонатных нодулей. Во влажные периоды формировались торфяные почвы. Прогрессивному заболачиванию способствовал тот факт, что в основании торфяников залежали глинистые слитые почвы. Оксисоли формировались во влажном тропическом климате под лесной растительностью в условиях хорошего дренажа. Годовое количество осадков, рассчитанное на основании палеопочвенных индикаторов, варьировало от 519 до 1361 мм. Отдельные профили палеопочв формировались в течение сотен/первых тысяч лет (Driese et al., 2003). Эти колебания климата связываются с изменением границ области пассатов, таким образом, что Аппалач-

---

<sup>3</sup>Здесь и далее п-ш. – палеоширота(ы)

ский бассейн попадал то во влажную экваториальную область, то в семиаридную тропическую область циркуляции пассатов.

Активное захоронение биогенного углерода привело к повышению уровня кислорода в атмосфере с 21% до 35%. Это определило увеличение лесных пожаров. Палеопочвы (Гистосоли, по Soil Survey Staff, 1998) содержат свидетельства лесных пожаров. В середине карбона происходит похолодание и аридизация. Активное захоронение углерода вызвало понижение  $p\text{CO}_2$ , то есть парникового эффекта и привело к развитию оледенений (Montanez et al., 2007). Наряду с дальнейшим падением уровня океана это привело к биосферному кризису, получившему название карбонный коллапс дождевых лесов (Carboniferous Rainforest Collapse, CRC). В результате этого биосферного кризиса сплошной пояс тропических дождевых лесов распался, и они сохранились только отдельными массивами. В результате прогрессивного похолодания и аридизации в циклотемах стали преобладать слои, связанные с седиментацией в семиаридных условиях с выраженной сезонной контрастностью (Bishop et al., 2009). При этом в составе палеопочв начинают преобладать кальциковые Вертисоли, что свидетельствует о существенном дефиците влаги в течение года и о годовом количестве осадков менее 1400 мм.

Наличие семиаридных условий с выраженной сезонностью во второй половине карбона подтверждается и для других регионов материка Пангея. Так, в пределах Московской синеклизы вне области угленакопления в несогласиях, связанных с изменением базиса в различных свитах пенсильванской подсистемы, формировались щелочные, богатые Mg, карбонатные почвы (Алексеева с соавт., 2010). Подробно изучена Сенницеручейская палеопочва (рендзина, кальциковая литосоли) в кровле васькинской свиты московского яруса сформированная в чехле палыгорскит-сепиолитовых глин континентального происхождения, перекрывающем толщу раскарстованного известняка. Характер закарстованности поверхности подстилающих известняков (полости и желоба растворения) свидетельствует о семигумидном климате. В то же время, наличие гипса в континентальных глинистых осадках указывает на гиперсоленые условия синтеза. Таким образом, минералогический состав подтверждает условия аридного литогенеза глинистых осадков, возможно в лагунной обстановке. Палеопочвы в глинистых осадках формировались в условиях с преобладанием окислительной обстановки, что подтверждается магнитными свойствами.

В почвах нижнего, среднего и верхнего карбона Московской синеклизы удалось также исследовать древнейший органико-минеральный комплекс. Сохранность гумусовых соединений обусловлена прочными ковалентными связями органических молекул и решеткой палыгорскита. Интересно, что ИК- и ЯМР-спектры гумусовых веществ карбонных палеопочв практически идентичны плейстоценовым и голоценовым аналогам. Содержание органического углерода (1,1-1,5%) также сравнимо с совре-

менными аридными почвами. Гумус изученных почв характеризуется фульватно-гуматным составом (отношение  $C_{гк}/C_{фк}$  составляет 0,55-0,83), что подтверждает их формирование в семиаридной обстановке.

Пальгорскитовый состав описываемой палеопочвы и наличие в ее нижней части гипса позволяет сделать вывод, что величина годовых осадков была ниже 300 мм/год, а величина рН находилась в интервале 6–9. Гумус сходен с гумусом серо-бурых карбонатных пустынных почв по преобладанию фульвокислот, фракция III, глубокой минерализации растительных остатков и высокому содержанию гуминов. Таким образом, изучение почвенных свойств позволило в отсутствие растительных остатков высказать предположение о том, что данная территория была заселена растительностью пустынного типа.

### *Почвы холодных биосфер верхнего палеозоя*

Широкое развитие голосеменных хвойных растений определило характер биологического круговорота в верхнем палеозое. Для растительного опада характерна невысокая зольность (3,8%) высокое содержание Si (16%), Ca (21%), S (6%), K (6,5%). В то же время растительность способствовала расширению в биологическом круговороте роли кальция, серы, фосфора и уменьшению роли кремния, калия, натрия и хлора (Ковда, 1973). Считается, что в перми педосфера сформировалась как непрерывная оболочка (Global Soil Change..., 1990). По-видимому, экологически благоприятные свойства мелкоземистых и обогащенных органическим веществом полнопрофильных почв, обусловили то быстрое распространение, и высокие темпы эволюции жизни на поверхности суши, которые произошли в конце палеозоя. Очевидно, что и дальнейшая эволюция сухопутной жизни в мезозое еще теснее была связана с развитием почвенного покрова.

Огромные размеры Пангеи и формирование вдоль ее окраин протяженных горных систем и постепенная регрессия эпиконтинентальных морей приводили к возрастанию аридности в низких и средних широтах внутриконтинентальных областей и продвижению к полюсам аридных и семиаридных поясов (Жарков, 2004). В целом с середины перми до триаса сухость и похолодание способствовали усилению зонально-климатических особенностей (Криштофович, 1950). Зональная структура была аналогична современной. Так, от экватора к полюсу четко выделялись сухой субтропический, теплый и холодный умеренные пояса (Scotese et al., 1999). Резко очертилась область пустынь. Оформились и холодные приполярные полюса. Оформились северный и южный аридный пояса, расширявшие свою площадь за счет северных и южных границ (Чумаков, 2004). Широкое развитие получили области с недостаточным и сезонным увлажнением также расширявшие свою площадь в направлении северного и южного полюсов. Обширные семиаридные области выделяются в центре Лавразийской части Пангеи в пределах Московской синеклизы и Волго-Уральской области.

Усиление климатической зональности естественно привело к усилению зональной структуры педосферы. В высоких широтах под покровом хвойных формировались кислые подзолистые почвы, а в приполярных областях мерзлотные почвы. В низких широтах ландшафты были представлены как гумидным, так и аридным секторами. В гумидных секторах под покровом вечнозеленых лесов формировались желтоземы, красноземы, бокситы. В аккумулятивных ландшафтах формировались мощные латериты, торфа, болотно-луговые почвы. В аридных областях Пангеи формировались пустынные почвы, почвы пустынных и сухих саванн. В пермских отложениях широко распространены красные и желтые засоленные глины.

Уже в ранней перми аридизация климата повлияла даже на ландшафты влажного экваториального пояса. Так, в северном Техасе, США, находившемся на палеоэкваторе, в пенсильванское время было широко распространены влажные экваториальные леса с ультисолями (по Soil Survey Staff, 1998) и обширные болота с торфяными почвами (DiMichele et al., 2006). В раннепермских отложениях эти почвы сменяются слаборазвитыми Вертисолями и эвапоритами. Угольные пласты сохранились только в отдельных местообитаниях (wet spots) в поймах постоянных водотоков. В средней перми даже эти рефугиумы влаголюбивой растительности исчезли. Соответственно в почвах Техаса меняется состав почвенных глинистых минералов (Tabor et al., 2002). Так, в составе илистой фракции пенсильванских палеопочв преобладает каолинит, в то время как в илистой фракции верхнепермских палеопочв преобладают смектиты и иллиты.

Сходную картину климатических изменений дает изучение характера аллювиальной седиментации и почвообразования в штате Нью-Мехико, США, территория которого в раннепермское время была в экваториальном поясе (Mack et al., 2003). Усиление аридизации в ранней перми привело к снижению годового количества осадков с  $>1200$  мм в год до  $<900$  мм в год. Наличие гипса в палеопочвах показывает, что при дальнейшей аридизации в средней перми годовое количество осадков снизилось до  $<300$  мм в год. Аридизация сопровождалась повышением среднегодовых температур на  $10^{\circ}$ – $13^{\circ}$  °С. Увеличение дефицита влаги, регистрируется также по смене растительных сообществ в пользу выносливых к дефициту влаги растений. Влаголюбивая тропическая флора сохранилась только в пределах низменностей. На повышенных участках стала преобладать мезофитная флора. Хвойные стали преобладать в центральной и западной части экваториального пояса Пангеи в ранней перми. Изучение серий палеопочв пермского времени показывает, что периоды аридизации сменялись короткими плювиальными циклами (DiMichele et al., 2006). Характер аллювиальных отложений свидетельствует об условиях быстрой седиментации во влажные сезоны и о полном высыхании водотоков в сухие периоды. В периоды иссушения пылеватые осадки формировали русловую фацию аллювия. Наличие семиаридных условий с выраженной сезонной контрастностью под-

тверждаются и характером палеопочв (*vertic Calcisols* и *calcic Vertisols* с карбонатными конкреционными горизонтами, по Soil Survey Staff, 1998) формировавшихся на пылевато-глинистых аллювиальных отложениях. Наличие горизонтов *Bk* указывает на то, что стабильные поверхности существовали в течение нескольких тысяч лет (Gile et al., 1981). Интересно, что аллювиальные осадки имеют пылеватый состав. Маловероятно, что их формирование объясняется только отмучиванием водными потоками, так как они представлены равномерно на больших пространствах. Вероятнее всего, имела место эрозия лёссовых массивов, подобно тому, как в настоящее время происходит в долине реки Хуан Хэ в пределах лессового плато Китая. Лёсситы описаны в экваториальном поясе западной Пангеи в верхнекарбонных - нижнепермских отложениях. Не исключено и поступление эоловой пыли в долины и ее последующая переработка водными потоками.

Орографические особенности Пангеи обусловили формирование в пермское время во внутриконтинентальных областях бессточных высоких равнин, представляющих собой обширные бассейны для седиментации осадков, сносимых с окружающих горных систем. В пределах этих бассейнов представлены осадочные толщи, образованные при циклическом чередовании условий осадконакопления (циклотемы). Известно, что циклические флювиально-озерные толщи являются чрезвычайно чувствительными к быстрым изменениям ландшафтных условий и дают детальную запись изменений природной среды (Talbot and Allen, 1996). Особенно продуктивны палеогеографические реконструкции на основе совмещенного анализа палеопочв и флювиальных осадочных систем. Палеопочвы и осадки согласованно реагируют как на изменения климата, так и на изменения модели флювиальной седиментации. Примеры такого анализа рассмотрены ниже для различных участков суши Пангеи. Так, на северо-востоке древней суши Пангеи подробно изучена мощная циклично построенная толща озерно-аллювиальных отложений (хребет Богдо, северо-восток Китая, Yang Wan et al., 2010). Седиментация и почвообразование рассматриваются как единый взаимосвязанный процесс, определяемый как тектоникой, так и климатом. Так, периоды активизации флювиального осадконакопления связываются с началом тектонических циклов Тяньшанской орогенной зоны. Палеопочвы, как правило, венчают толщу отложений определенного седиментационного цикла, характер почвообразования согласуется с типом циклов. Например, циклы меандрирующих потоков как правило служат индикаторами активной фазы флювиальной системы в условиях гумидного климата. Такие циклы венчаются гумидными почвами (Аржиллисоли, Глейсоли, по Mack et al., 1993). Наиболее развитые палеопочвы приурочены к отложениям регрессивных циклов при вялотекущем орогенезе. Сопряженный анализ седиментационной модели и палеопочв позволил установить циклические изменения климата (аридного, семи-

аридного, субгумидного и гумидного с преобладанием семи-аридных климатических условий) на протяжении от верхнего карбона до верхнего триаса в зависимости от параметров седиментационного бассейна и тектонической активности на юго-западе Гондваны (Spaletti et al., 2003). В Канзасе динамика природных условий в циклотемах определялась чередованием трансгрессий – регрессий мелководного моря в ледниково-межледниковые циклы. Аридизация климата обусловила формирование в ранней перми мелов и эвапоритов. К этому времени аридизация привела к тому, что угленосные слои и латериты верхнекарбонных отложений в пределах северо-американской и европейской плит замещаются почвами более аридного климата – Вертисолями, кальциковыми Вертисолями и Кальцисолями (по Soil Survey Staff, 1998, Tabor and Montanez, 2002; 2004; Ziegler et al., 2002). В нижнепермских циклотемах исчезают угольные прослои, характерные для циклотем верхнего карбона (Moore, 1964; Klein & Kupperman, 1992; Aber 1991).

Восточная часть Московской синеклизы в верхнепермское время входила в северную семи-аридную область Пангеи. Почвы здесь имеют давнюю историю изучения (Чалышев, 1968, Якименко и др., 1990, Наугольных, 2004, Иноземцев, Таргульян, 2010). Широко распространенные красноцветные отложения являются стратотипом для ярусов пермской системы. Хорошая сохранность пермских отложений во многом обусловлена существованием здесь обширного седиментационного бассейна, служившего областью аккумуляции осадков активно развивавшегося Уральско-орогена. Это определило интенсивные процессы заполнения восточной части Русской плиты и Предуральского прогиба, компенсировавшие погружение. Палеопочвы в бассейнах рек Сухоны, Сев. Двины и Юга представлены в составе микроциклитов в красноцветных толщах терригенно-карбонатной формации верхней перми и нижнего триаса (Игнатъев, 1962, 1963). Циклическое строение формации определялось позднегерцинским уральским орогенезом, обусловившим динамику развития флювиальной системы (Арефьев, 2010). В периоды вялотекущего орогенеза при низкоэнергетических этапах в развитии флювиальной системы в условиях слабого уклона равнины могли формироваться развитые профили палеопочв. В высокоэнергетические этапы при активизации орогенеза создавались условия для отложения мощных толщ гравелитов. В этих толщах представлены лишь маломощные неразвитые профили почв. Красноцветные толщи Московской синеклизы сформированы в пределах обширного седиментационного бассейна в озерно-аллювиальных толщах. Красная окраска горизонтов почвенного профиля не связана с почвообразованием и диагенезом – почвообразующие породы были исходно красноцветные, и представляли собой продукты разрушения ферраллитных кор выветривания (Иноземцев и Таргульян, 2010). Напротив, в процессе почвообразования произошла трансформация исходной окраски под воздействием огле-

ния. Минералогический состав также говорит в пользу того, что красноцветные осадочные толщи Русской плиты унаследовали цвет и глинистую минералогию ферраллитных кор выветривания. Верхнепермские палеопочвы характеризуются пестрой окраской, карбонатностью, наличием палыгорскита. В развитых профилях фиксируются крупные карбонатные нодулы.

Наиболее развитые почвы приурочены к северодвинскому и вятскому ярусам татарского отдела перми. В этих отложениях сформированы Стрельнинский и Климовский педокомплексы, подробно исследованные в бассейне реки Сухона (Иноземцев, Таргульян, 2010). Педокомплексы маркируют субэдральную фазу формирования верхнепермского Сухонско-Северодвинского осадочного бассейна, когда происходили быстрые, скачкообразные накопления осадков, сменяющиеся более длительными стадиями гидроморфного педогенеза. Для Климовского педокомплекса рассчитана продолжительность формирования циклотем, составившая первые тысячи лет. Педокомплексы представлены почвами карбонатных и бескарбонатных интервалов. Сезонное переувлажнение определило глееструктурный макропроцесс, сопровождавшийся в семиаридные циклы формированием карбонатного профиля, а в семигумидные циклы – текстурных новообразований. Почвы подразделяются на красноцветные бескарбонатные - (хромик, стагник, вертик) палеокамбисоли, и красноцветные карбонатные - (хромик, вертик, стагник кальцик) палеокамбисоли (по World reference base..., 2006). Почвы, отличающиеся более ясными признаками аллювиальных почв классифицированы как палеофлювисоли. Отсутствие в почвах заметных количеств гипса и легкорастворимых солей не согласуется с наличием на Русской равнине пермских пустынь и позволяет предположить, что почвы формировались в условиях переменного-влажного климата. Считается, что палеопочвы являются наиболее ярким индикатором степени сезонной контрастности климата (DiMichele, et al., 2010). О выраженной сезонности свидетельствует повсеместная слитизация почвенной массы, а также специфика глеевых признаков. Наличие карбонатных и бескарбонатных интервалов в составе циклотем указывает на чередование семиаридных и семигумидных циклов. Семиаридные условия в почвах карбонатных интервалов подтверждаются и наличием палыгорскита. Подобная реконструкция согласуется с новейшими данными, полученными по верхнепермским палеопочвам других регионов в низких и средних широтах: юго-запад Пангеи (южные штаты США - Техас, Аризона), Восток Пангеи (Испания, Австрия), Китай. В семиаридные циклы коэффициент увлажнения составлял немногим менее 1, в то время как семигумидные мог несколько превышать 1. В целом верхнепермские палеопочвы московской синеклизы формировались под растительностью саванного типа в условиях слаборасчлененной аллювиальной равнины, под влиянием се-

зонного затопления при сложном взаимоотношении с циклами осадконакопления и частичной эрозии.

Исследования верхнепермских палеопочв прекрасно дополняют описанные в литературе возможности использования палеопочв для реконструкции растительности даже при отсутствии остатков биоты. В изученных почвах практически отсутствуют остатки растений, их даже трудно связать с определенным типом известных растительных ассоциаций. Тем не менее, на основе почвенных свойств удается получить достаточно полную характеристику биоценоза. Несмотря на отсутствие в большей части профилей гумусовых горизонтов интенсивное участие биоты диагностируется по целой совокупности признаков. Это следы корневых систем, гумусовые горизонты, железистые новообразования бактериального происхождения, углистые остатки, замещения растительных тканей, фитоциты и пр. Наличие железистых новообразований и марганцевых микростяжений микробной природы позволяет выявить высокий уровень микробной активности во всех горизонтах палеопочв. Достаточная плотность растительного покрова и освоение поверхности растениями с развитой корневой системой определяется по наличию и частоте встречаемости глеевых прикорневых трубок - наиболее яркому морфологическому признаку всех изученных почв. Эти трубки сформировались вокруг корневых систем растений и повторяют их строение. Трубки позволили определить глубину проникновения развитой корневой системы на 50-100 см.

На протяжении поздней перми и раннего триаса семиаридные условия распространились на обширные области средних и высоких широт Пангеи в обоих полушариях. Преобладающими были аллювиально-озерные обстановки, что позволяет называть пояса их развития "семиаридными аллювиально-озерными" (Жарков, 2004). Семиаридные условия с выраженной сезонной контрастностью в экваториальном поясе Пангеи продолжались до конца перми. Так, почвы на суглинисто-глинистых аллювиальных отложениях в южной части Иберийского хребта представлены аридосолями и вертисолями с нодулярными карбонатными горизонтами (Benito et al., 2005). Наиболее развитые профили имеют глубину до 1,5 м. Сходные почвы семи-аридных местообитаний описаны в верхнепермских отложениях Австрии (Spotl and Burns, 1994). В самых верхних частях пермских отложений и в нижнетриасовых отложениях представлены бескарбонатные кислые палеопочвы, формировавшиеся в условиях с выраженными периодами переувлажнения профиля, о чем свидетельствуют новообразования сидерита (Benito et al., 2005).

### *Дочетвертичные лёссово-почвенные серии*

Циклы оледенений продолжались до конца палеозоя. Поскольку отсутствие стратиграфических маркеров не позволяет провести детальное разделение ледниковых эпох, они получили единое название пермо-



карбоновые оледенения. Наряду с циклотемами в верхнем палеозое представлен еще один важнейший палеогеографический архив – лёссово-палеопочвенные серии. Толщи лёсситов (дочетвертичных лёссов) широко представлены в экваториальном поясе западной Пангеи (юго-запад Северной Америки). Первые лёсситы описаны в верхнедевонских отложениях, однако широкое распространение они получили в верхнем карбоне и перми. Верхний палеозой считается самым «пыльным» периодом в истории Земли (Mask et al., 2003, Tramp et al., 2004, Soreghan et al., 2008).. Например, толщи верхнепермских лёсситов (дочетвертичных лёссов) в бассейне реки Колорадо (юго-западная Пангея) превышают 700 м. Для сравнения, максимальная мощность плейстоценовой лёссовой толщи на лёссовом плато Китая составляет 324 м (An et al., 1991). Лёсситы, как и четвертичные лёссы характеризуются преобладанием крупной пыли и плащеобразным залеганием. Особенно широкое распространение лёссово-почвенные серии получили в верхней перми, в связи с аридизацией и циклами оледенений. Активные области лёссонакопления - это обширные седиментационные равнины, примыкающие к поднимающимся горным сооружениям, служившим источником лёссовой пыли. Развитие лёссовых горизонтов совпадает с максимумами ледниковых циклов, что свидетельствует о мобилизации пыли в ледниковые периоды при усиленной муссонной циркуляции. Источником лёссовой пыли могли быть покрывавшиеся ледниками горные массивы, примыкавшие к областям лёссонакопления в юго-западной Пангее. Широкое распространение лёссов в низких широтах подтверждает наличие здесь семиаридного климата.

Лёсситы стали распознавать сравнительно недавно, и в настоящее время происходит переоценка генезиса многих отложений, считавшихся проблематичными. Связано это с тем, что в силу обширности областей лёссонакопления, эоловая пыль могла отлагаться на самых различных поверхностях, а эоловый осадок мог подвергаться переработке различными процессами – прибойными, аллювиальными и т. д. Так, «эолово-морские сланцы» сохраняют основные черты своего состава, отсутствие характерной для дельтовых отложений слоистости и плащеобразное залегание. Описываются также аллювиальные системы, состоящие почти исключительно из пылеватых осадков. Даже русловые фации блуждающих водотоков представлены пылеватыми отложениями. При этом может ясно угадываться флювиальная переработка эолового материала (Mask et al., 2003). Изучение площадного залегания пермских пылеватых отложений в долинах рек юго-западной Пангеи показало, что чисто аллювиальные процессы не могли создать такое обилие пылеватого материала, заполняющего долины от верховьев до нижних частей долин. В настоящее время подобное явление отмечается только в наиболее обширной области лёссонакопления – на лёссовом плато Китая, где пылеватые осадки забивают даже русловой аллювий реки Янцзы. Описывается и противоположная последователь-

ность. Так, мощные толщи красноцветных алевролитовых сланцев рассматриваются как аллювиальные отложения, в дальнейшем переотложенные эоловыми процессами (Smith, et al., 2002).

Считается, что верхнепермские палеопочвы на востоке Русской равнины формировались на аллювиальных осадках. Об этом свидетельствует зависимость строения педокомплексов от близости предполагаемых временных водотоков, оглеение во всех без исключения почвах, наличие остракод и пр. (Иноземцев, Таргульян, 2010). В то же время, природа цикличности осадков остается не вполне ясной. Так, в них не обнаруживается ясной слоистости, что объясняется режимом спокойных разливов временных водотоков в условиях слабой расчлененности рельефа. Что же определяло цикличное поступление больших порций осадков в относительно короткие интервалы времени? Нам представляется, что возможным объяснением может служить эоловое поступление пыли. Напомним, что рассматриваемые почвы вписываются в типичную для верхнего палеозоя модель активного лёссонакопления. Это обеспечивается соседством обширного седиментационного бассейна с поднимающимися горными сооружениями, служившими источником лёссовой пыли. Таким образом, формирование почвенно-седиментологических серий также как и для западных областей Пангеи может объясняться циклами поступления эоловой пыли. В пользу такого предположения свидетельствует, прежде всего, пылеватый состав осадков (содержание в гранулометрическом составе фракции крупной пыли достигает 58%, в микростроении преобладает пылеватый скелет), отсутствие ясно выраженной аллювиальной слоистости, а также характер цикличности поступления осадков. Эоловая пыль могла поступать за счет мобилизации материала однородных поверхностей, сложенных красноцветными корами выветривания. Вряд ли размыв массивов породисточников и водный транспорт осадка мог дать такой однородный состав. Следует отметить, что имеются и прямые указания на наличие лёсситов в пределах Московской синеклизы. Лёсситы описаны в обнажениях р. Сухоны и в устье р. Мяколицы а также в среднем течении р. Волга в отложениях татарского яруса и уржумского и северодвинского горизонтов (Игнатьев, 1963, Наугольных и др., 2001). Интересно, что толщи пермских лёсситов в экваториальном поясе западной Пангеи также часто представлены красноцветными алевролитами. В то же время эоловая пыль, поступавшая на поверхность слаборасчлененной равнины, подвергалась слабой обработке блуждающими водными потоками, а в определенные периоды и частичной эрозии, определявшей строение педокомплексов.

### ***Почвы и биосферные кризисы***

Начиная с XIX века периодизация геологической истории строится, прежде всего, на основе катастрофических событий. Границы палеозойской, мезозойской и кайнозойской эр были определены по наиболее отчет-

ливо выраженным сокращениям биологического разнообразия. Приуроченность палеопочв в разных районах древней суши к отложениям, маркирующим глобальные биосферные кризисы, позволяет приблизиться к пониманию их загадочной природы. Переход от палеозоя к мезозою маркируется крупнейшим в истории Земли пермо-триасовым биосферным кризисом (~251,4 млн. лет назад), сопровождавшимся вымиранием более 70% наземных видов позвоночных. Предлагаются как эволюционные причины биосферных катастроф, связанные с постепенными изменениями природной среды (критические стадии генетической эволюции, дрейф материков, изменения климата и смена океанических течений, циклы горообразования, изменения химического состава морской воды и атмосферы, в частности дефицит кислорода), так и катастрофические явления (падение крупных метеоритов, пики космического излучения, трапповый вулканизм и долеритовые интрузии в угольные пласты, разломы на океаническом дне, вызвавшие выбросы метана со дна океана). Однако исчезновение большого числа семейств и классов животных и растений к концу каждой эры и появление новых с началом следующей эры до сих пор остается загадкой. Добавим к этому, что при глобальных биосферных кризисах происходила не только фаунистическая, но и экосистемная перестройка (Сенников, 2004). Так, крупнейший биосферный кризис на границе перми и триаса происходил во время существования на Земле суперконтинента Пангея и выразился в смене холодной и теплой биосфер и аридизации Пангеи. Существенные изменения затронули все компоненты экосистем. Очевидно, что они должны были оставить след и в палеопочвах.

В.А. Красилов (2001) предлагает модель, устанавливающую причинно-следственные связи между различными проявлениями двух крупнейших биосферных кризисов – на границе перми и триаса и мела и палеогена. Согласно этой модели, кризисы имеют скрытую фазу, начинающуюся за миллионы лет до проявления на уровне биосферы. При этом предвестники кризисных тенденций, такие как увеличение частоты геомагнитных инверсий, связаны с глубинными процессами на рубеже ядра и мантии Земли. Следующая фаза проявляется в дифференцированных движениях литосферных плит и связанных с ними магматизмом. С регрессиями связана радикальная перестройка циркуляционных процессов в океане, приводящая к снижению  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Практически все биосферные кризисы совпадают с повышением вулканической активности. Мощнейший трапповый вулканизм сопровождал кризис на границе перми и триаса (P/T кризис, сибирские траппы) и кризис на границе мела и палеогена (C/T кризис, деканские траппы). Эмиссией вулканических газов объясняются Океанические Бескислородные Эпизоды (Oceanic Anoxic Event, OAE) в юре и мелу, а также палеоцен-эоценовый термальный максимум (Paleocene–Eocene Thermal Maximum, PETM), который связывается с активностью Центрально-Атлантической магматической провинции (Marzoli et al.,

1999). Последствия вулканических извержений и траппового вулканизма заметно различаются в зависимости от того, задействован ли механизм высвобождения метана, резко усиливающего парниковый эффект. Выброс метана происходит в случае, если лавы изливаются на угленосные или торфяные залежи. Особенно усиливается эффект излияния в случае, когда лавы нагревают органические сланцы и нефтесодержащие толщи эвапоритов до  $275^{\circ}\text{C}$ . Для бассейна Тунгуски показано, что в подобных случаях эффект излияния лав различается на протяжении нескольких км (Svensen et al., 2009). Вулканическая деятельность и трапповый вулканизм сопровождались массивными выбросами пепла и аэрозолей. В составе газовых выбросов велика доля метил-хлоридов и метил-бромидов. Кислотные дожди и поступление в почву тяжелых металлов оказывали ощутимое воздействие на биосферу и приводили к возникновению геохимических аномалий. На уровне биосферы кризис проявляется в заключительную фазу, когда происходит прерывание нормальных сукцессионных рядов и замещение климаксных доминирующих форм пионерными с вытекающими последствиями для биологического разнообразия и других экосистемных параметров.

В палеопочвах на Р/Т границе и С/Т границе действительно обнаруживаются признаки геохимических аномалий  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ,  $\delta^{34}\text{S}$ ,  $\delta^{86}\text{Sr}$ . Следует отметить, что непрерывные стратиграфические колонки для рубежа перми и триаса представлены главным образом для океанических пород. Так, глобальный стратотипический разрез (a Global Stratotype Section and Point, GSSP) морских отложений для Р/Т выбран для Мейшана, Китай (Yang et al., 1996). Для континентальных отложений GSSP до сих пор отсутствует. Тем не менее, достаточно полные разрезы с палеопочвами описаны на Русской равнине (восток московской синеклизы), в Антарктиде, бассейн Weason, на северо-востоке Китая, горы Богдо, в Южно-Африканской республике, бассейн Карру, в Австралии, бассейн Bowen, Южной Америке, бассейн Parana, и восточной Индии, бассейн Raniganj (Sarkar et al., 2003; Tverdokhlebov et al., 2003; Retallack et al., 2007; Retallack, Jahren 2008; Coney et al., 2007, Yang et al., 2010). Следует отметить, что биосферный кризис по различным оценкам растянут на период от ста тысяч до миллиона лет (Botha and Smith, 2006). Очевидно, что отдельные профили палеопочв как правило, дают значительно более узкий временной срез. Поэтому следует ожидать некоторой несогласованности почвенных свойств даже на одном стратиграфическом уровне. Кроме того, все континентальные разрезы на границе Р/Т представлены в пределах обширных седиментационных бассейнов. Палеогеографическая запись отражает не только смену климатических параметров, но и изменения тектонического режима, определявшего и модель флювиальной седиментации, и свойства почв (Newell et al., 1999). При анализе реакции почв на биосферный

кризис мы анализируем только наиболее общие закономерности, проявляющиеся в различных регионах древней суши.

Во всех исследованных палеопочвах Пангеи непосредственно над границей P/T наблюдается снижение изотопных соотношений  $\delta^{13}\text{C}$  в среднем на 9‰, а также серы и стронция (Sarkar, 2003). Так, в юго-восточной части нунатака Coalsack Bluff в Антарктиде в палеопочвах Dolores, сформированных над границей P/T,  $\delta^{13}\text{C}$  достигает значения -27.19‰, при среднем значении для пермских отложений -23.08±0.25‰ (Retallack et al., 2007). На глобальное проявление снижения  $\delta^{13}\text{C}$  указывает и то, что оно повсеместно отмечается и в разрезах морских отложений. Несмотря на безусловную синхронность, снижение проходило в несколько этапов и было растянуто во времени. Поэтому его трудно связать с катастрофическими сценариями, такими, как падение крупного метеорита. К позднему триасу значения  $\delta^{13}\text{C}$  постепенно повышаются до докризисных значений.

Одним из загадочных явлений является обогащение почв на границе биосферных кризисов иридием и другими халькофильными и сидерофильными элементами. Распространено представление о космогенной природе иридиевых аномалий, вследствие падения крупного метеорита, однако, обосновывается и представление об их земном происхождении. Иридиевые аномалии зафиксированы в различных стратиграфических горизонтах вблизи кризисного уровня (Botha & Smith, 2006). При этом во многих граничных слоях, в частности в почвах бассейна Raniganj, Индия, иридиевые аномалии не выражены (Sarkar et al., 2003). В свете рассмотренной выше модели (Красилов, 2001), связывающей кризисные явления разного временного ранга, стратиграфическую невыдержанность кризисных горизонтов, последовательные стадии вымирания видов, наличие переходных форм живых организмов (Benito et al., 2005), обогащение иридием и другими элементами в результате геохимических аномалий, вызванных трапповым вулканизмом, представляется более обоснованной. В то же время, иридиевая аномалия в пограничных слоях проявляется резко. Часто иридиевая аномалия также сопровождается наличием в верхних горизонтах почв сильно корродированных зерен кварца и сферул. Поэтому, большинство авторов считает основной причиной P/T кризиса повышение вулканической активности, а для C/T кризиса – падение крупного метеорита. Заметим, что индикаторы падения метеорита обнаруживаются именно в палеопочвах. С другой стороны, кризису на границе мела и палеогена предшествовало длительное сокращение таксономического разнообразия фауны вследствие похолодания в конце позднего мела (Алексеев, 1998). Ослабление биоты могло подготовить условия для возникновения биотического кризиса, и в этом контексте роль триггера, в том числе и импактного, представляется не такой важной (Чумаков, 2004). Вообще, связь повышенных содержаний иридия только с импактными событиями не очевидна. Во-первых, иридиевые "аномалии" явно тяготеют к регионам развития вулка-

низма, а во-вторых, в ряде разрезов фиксируется несколько последовательных иридиевых аномалий, что требует признания серии последовательных импактных событий. Имеются примеры аномального содержания иридия (выше на два порядка) в костях динозавров, т.е. заведомо в маастрихтских отложениях (Моисеенко и др., 1997).

Выброс парниковых газов вызывает заметное потепление климата, что должно находить отражение в почвах. На P/T границе фиксируется глобальное похолодание, связанное с регрессиями и дрейфом материков, которое быстро сменилось потеплением. Так, почвы Dolores в Антарктиде гораздо более сильно выветрелые, чем позднепермские (Evelyn) почвы, что диагностирует необычно теплые и влажные климатические условия для высоких широт уже в самом раннем триасе (Retallack, Krull, 1999; Sheldon, 2006). Потепление рассматривается как следствие выбросов в атмосферу метана, и потому последнее называют «пост-апокалиптическим парниковым эффектом» (Retallack, 1995). В последнее время именно потепление климата рассматривается в качестве главной причины биосферного кризиса. По-видимому, выветривание усиливалось и под воздействием кислотных дождей, сопровождавших выбросы метана. Возможно, это объясняет удивительный феномен распространения в Австралии и Антарктиде в раннем триасе Ультисолей (по Soil Survey Staff, 1998), никогда больше не формировавшихся в столь высоких широтах. По некоторым оценкам, похолодание сменилось потеплением в период порядка 10000 лет (Sheldon, 2006). Парниковые газы также приводят к заметному снижению содержания в атмосфере озона (Svensen et al., 2009). Палеопочвы в Антарктиде, Австралии и Южной Африке, сформированные непосредственно над границей P/T, являются индикаторами низкого содержания кислорода в посткризисной атмосфере, поскольку в их профиле отмечается высокое содержание неокисленного железа (пирит, сидерит и бертьерин, Sheldon and Retallack, 2002; Huggett et al., 2003). Бертьерин это довольно редкий минерал серпентиновой группы, однако он часто встречается в почвах над границей P/T. Так, в почвах Dolores в Антарктиде бертьерином обогащены железистые нодулы, обильно представленные в профиле, несмотря на песчаный состав.

Другим глобальным проявлением биосферного кризиса является прекращение в почвах Пангеи, расположенных выше P/T границы торфонакопления. Так, торфяные горизонты (теперь прослой угля) представлены в почвах Evelyn, непосредственно под P/T границей (Coalsack Bluff, Антарктида, Retallack, et al., 2007). Уже в почвах Dolores торфонакопление отсутствует, несмотря на явные признаки постоянного переувлажнения. В нижнетриасовых отложениях юго-восточного Китая также полностью отсутствуют угольные прослой, обильно представленные в верхнепермских толщах (Peng & Shi, 2009). Исчезновение угольных прослоев особенно ярко проявилось в крупном угленосном бассейне Bowen на востоке Австра-

лии. Угольные прослои, формировавшиеся на протяжении 9 млн. лет, резко прекращаются выше Р/Т границы без каких либо признаков деградации режима торфонакопления (Michaelsen, 2002). Все эти проявления связываются с загрязнением атмосферы метаном и окислами серы (возможно, за счет траппового вулканизма), вызвавшим гипоксию растительных и животных организмов и приведшую к массовому вымиранию. Так, во время Р/Т кризиса вымерло 95% растений, формирующих торфяные залежи.

Еще одним глобальным явлением являются практически повсеместно выраженные в почвах непосредственно над Р/Т границей признаки резкой смены модели флювиальной седиментации. Так, в почвах Coalsack Bluff, Антарктида, а также в южной части провинции Кару (Квазулу-Наталь, Южноафриканская республика), в Индии и Австралии выражены признаки водной эрозии и размыва на обнаженных поверхностях (Retallack et al., 1998, Sarkar, 2003). Здесь широко представлены брекчии глинистых сланцев, сохранившие микростроение почвенных горизонтов и рассматриваемые авторами как педолиты - переотложенные глинистые палеопочвы. В водных осадках велика доля русловых фаций блуждающих водотоков, в то же время глинистые фации отсутствуют. Все это рассматривается как реакция флювиальной системы на деградацию растительного покрова и эрозию почв.

В бассейне Bowen на востоке Австралии подробно изучена смена флювиальной модели на Р/Т границе (Michaelsen, 2002). Позднепермские флювиальные системы представлены хорошо сформированными руслами с выраженными береговыми комплексами отложений. Считается, что устойчивость русел определялась стабилизирующим влиянием растительного покрова и, в частности, торфяных залежей. В то же время, строение толщи нижнетриасовых песчаников (Sagittarius Sandstone) позволяет реконструировать совершенно другой тип флювиальной седиментации, характеризующийся обилием мелких блуждающих потоков на плоской незащищенной растительным покровом поверхности. В быстро отлагавшейся толще песчаников отсутствуют палеопочвы. Таким образом, растительный покров выступает фактором, в значительной мере определяющим архитектуру флювиальных систем. Это влияние проявляется при биосферных кризисах. Мы уже указывали, что аналогичная смена модели флювиальной седиментации выявляется и при сопоставлении додевонских и последевонских флювиальных отложений, формировавшихся до появления и после появления развитого древесного покрова (Davies & Gibling, 2010).

Изучение спорово-пыльцевых спектров в почвах на Р/Т и С/Р границах подтверждает радикальную смену растительных сообществ – от докризисных сомкнутых ярусных лесных до пионерных травянистых сообществ. Первая кризисная стадия характеризуется глобальной вспышкой сообществ, характеризующихся обилием грибов и водорослей (“глобальный грибной эпизод” – “global fungi event”). Эта вспышка рассматривается

как реакция на обилие мертвой растительной массы, образовавшейся при гибели древесных сообществ (Vajda & McLoughlin, 2007, Peng & Shi, 2009). Сопоставление спорово-пыльцевых спектров посткризисных слоев двух биосферных кризисов показывает, что Р/Т кризис был постепенным, асинхронным в различных регионах Пангеи, в то время как кризис С/Р был синхронным и кратковременным, и восстановление растительности произошло быстро. Так, вспышка грибных сообществ на границе Р/Т отмечается в слоях мощностью 1-3 м, при этом она продолжалась от 25 до 54 тысяч лет. На границе С/Р вспышка грибных сообществ отмечается в слое около 5 мм, при этом она продолжалась несколько месяцев.

При анализе взаимосвязи смен флювиальной модели и биосферного кризиса следует помнить, что континентальные разрезы с Р/Т границей представлены исключительно в пределах седиментационных бассейнов. На флювиальное осадконакопление могли влиять не только климатические изменения, но и тектонический режим самих бассейнов и примыкающих орогенных зон. В описанной выше толще флювиально-озерных отложений на северо-востоке Китая (Yang et al., 2010) периоды активизации флювиальной системы связываются с активными фазами тектонических циклов Тяньшанской орогенной зоны. Наиболее развитые палеопочвы приурочены к отложениям регрессивного цикла. Непосредственно на Р/Т границе характер седиментации и почвообразования не меняется и указывает на гумидные и субгумидные климатические условия. Стабильность климатических условий не позволяет связывать биосферный кризис с климатическими изменениями.

На Русской равнине в восточной части Московской синеклизы на рубеже перми и триаса продолжалось заполнение Сухонско-Северодвинского осадочного бассейна. Накопление мощных толщ конгломератов, обусловленное активизацией Уральского орогенеза, определило непрерывную толщу отложений, фиксирующих пермо-триасовый рубеж. Пограничные пермо-триасовые слои представлены мощными толщами гравелитов с редко встречающимися неразвитыми палеопочвами (Арефьев, 2010). Отсутствие неразвитых палеопочв в самой нижней части триасовых отложений (ранневохминские слои) объясняется активизацией флювиальной седиментации. Этот активный этап сменился поздневохминско-гамским, отличавшимся постепенным падением пиковой энергии речной системы (Арефьев, 2010), уменьшением мощности гравелитов и формированием выраженных профилей палеопочв. Как видим, смена седиментационной модели объясняется активизацией уральской складчатости, определявшей динамику флювиальной системы. Напомним, что в пределах Московской синеклизы подобные фазы активизации флювиального режима, сопровождавшиеся формированием неразвитых палеопочв, фиксируются во всей толще верхнепермских отложений. Таким образом, мы можем заключить, что тектоника по-разному влияла на модель флювиальной седи-



ментации в каждом конкретном бассейне. В то же время, на глобальном уровне смена архитектуры флювиальных систем могла быть связана только с биосферным кризисом. Следует признать, что в настоящее время трудно вычленить вклад региональных тектонических и глобальных биосферных факторов в смену модели флювиальной седиментации на региональном уровне. В то же время, наличие условий для формирования в посткризисное время зрелого почвенного покрова могло способствовать реабилитации растительных и животных организмов, что и отразилось на росте биоразнообразия уже во второй половине индского века (Арефьев, Кузнецова, 2010). Изучение верхнепермских аллювиальных почв Иберийских гор, Испания, позволяет выявить постепенные изменения климата от аридного и семиаридного с выраженной сезонной контрастностью, до гумидного (Venito et al., 2005). В почвах на границе перми и триаса присутствуют минералы группы гуазита/сванбергита (стронций содержащих алюмосульфатов и алюмофосфатов), что подтверждает не только существование гумидного климата, но и свидетельствует о крайне агрессивных кислых условиях.

Таким образом, глобальные биосферные кризисы надежно документированы совокупностью независимых методов. Они затрагивают все компоненты экосистемы – растительность, почвы и характер осадконакопления. В палеопочвах представлена уникальная запись, играющая ключевую роль при реконструкции кризисов.

### ***Почвообразование мезозойской термоэры***

Граница Р/Т обозначает масштабный переход от холодной биосферы верхнего палеозоя (icehouse) с четкой структурой климатической зональности и циклами оледенений, к теплой биосфере (greenhouse) мезозоя со сглаженной зональностью (Preto et al., 2010). Наступившая термоэра охватывала весь мезозой и первую половину палеогена (Чумаков, 2004). Консолидация материков Пангеи, определила распространение континентальных климатических условий с выраженной сезонной контрастностью с резким летним максимумом осадков (мега-муссонный тип циркуляции). Изменение климата было очень быстрым и привело к существенной перестройке климатической зональности. Ледниковый климат на Земле сменился безледниковым. Уже в триасе средние глобальные температуры варьируют в интервале от 18°C до 22°C (Retallack & Alonso Zarza, 1998). Существование теплого климата подтверждается и высоким уровнем концентрации CO<sub>2</sub> в атмосфере триаса. Так, уровень концентрации углекислого газа, реконструированный на основе  $\delta^{13}\text{C}$  педогенных карбонатов составил 2250 ppm (Tanner et al., 2001). Это определило выпадение полярных и умеренно-холодных поясов и распространение субтропических климатов с теплолюбивой флорой в высокие широты. Наряду с потеплением шла прогрессивная аридизация суши. Так, в ранней перми аридные и семиаридные

пояса занимали около 40% суши, в средней перми 55%, а в раннем триасе до 80% (Чумаков, 2004). Семиаридный климат распространился на средние и часть высоких широт. В результате их ширина достигала 40°.

Считается, что климат был однотипен на всем протяжении триаса. Однако последние данные показывают наличие климатических трендов внутри периода. Глобальное потепление, начавшееся на Р/Т границе, продолжалось в раннем триасе. В условиях теплого климата происходило быстрое восстановление биоты. Повсеместное распространение плевромейевой флоры указывает на то, что уже в оленекском веке раннего триаса произошло значительное выравнивание климатических условий (Красилов, 2001).

В почвообразовании и выветривании основной тренд при переходе от палеозоя к мезозою может быть описан как исчезновение угольных прослоев и широкое распространение красноцветов. Красноцветные отложения описаны в Польше, Германии, Дании, Франции, Великобритании, Испании. Большинство исследователей красноцветы раннего триаса рассматривают как индикаторы аридного климата (Retallack et al., 1996). Соседство красноцветов с почвами на других породах позволяет также предполагать, что они формировались в условиях семиаридного климата с выраженной сезонной контрастностью (Linol et al., 2009). Аридные условия подтверждаются также наличием в нижнетриасовых толщах Англии, Франции эоловых отложений (Preto et al., 2010). При анализе материалов по верхнепермским палеопочвам Русской равнины мы рассматривали механизм формирования карбонатных красноцветных толщ при переотложении ферраллитных кор, формировавшихся в условиях гумидного тропического и субтропического климата (Иноземцев, Таргульян, 2010). Нам представляется, что и мезозойские красноцветные толщи - это продукты переотложения ферраллитных кор в условиях семиаридного и аридного климата.

Климатические тренды сглажены уже в раннем триасе. В высоких широтах на месте полярных поясов формируются пояса умеренного гумидного климата. Это подтверждается формированием в Сиднейском бассейне, Австралия, бескарбонатных каолиновых палеопочв (Retallack, 1999, Retallack, Krull, 1999). В области центров верхнепермских оледенений (юго-восточной Австралии и Антарктиды) среднегодовая температура, согласно палеопочвенным индикаторам, возросла на 6-11°C (Retallack, 1999), что могло бы соответствовать перемещению по широте приблизительно на 15°-20°.

В семиаридном поясе на Русской равнине палеопочвы нижнего триаса представлены в верхней части пермо-триасовой терригенно-карбонатной формации, образованной циклическим чередованием слоев песков, алевролитов и глин. Так же как и верхнепермские аналоги, палеопочвы нижнего триаса характеризуются пестрой окраской, связанной с по-

верхностным оглеением красноцветных алевролитов, карбонатностью, наличием палыгорскита (Арефьев, Кузнецова, 2009). В развитых профилях фиксируются крупные карбонатные нодулы. Эти признаки ясно указывают на то, что почвы (кальциковые Глейсоли) формировались в условиях семиаридного климата с выраженной сезонной контрастностью при воздействии паводкового затопления.

Сходные условия почвообразования и выветривания складывались и в южном семиаридном поясе. Так, в бассейне Карру, Южная Африка, формировались кальциковые Аридисоли (по Soil Survey Staff, 1998) с мощными карбонатными конкрециями. В ряде профилей встречается гипс (Turner, 1990). Область гумидного климата в раннем триасе превратилась в узкий приэкваториальный пояс, шириной до  $15^\circ$  (Чумаков, 2004).

Средний триас традиционно рассматривается как время аридного почвообразования. Тем не менее, изучение почвенно-седиментологических серий высокого разрешения позволяет выявить весьма динамичные смены климатических условий. Так, в пределах семиаридного пояса во внутриматериковых областях западной Пангеи (штат Юта, США) исследованы почвы аллювиальных низменностей, располагавшихся между  $5$  и  $15^\circ$  с. п.ш. (формации Moenkopi и Chinle, Prochnow et al., 2006). Кальциковые Аридисоли (по Soil Survey Staff, 1998) формировались при среднегодовом количестве осадков в интервале 300-400 мм и среднегодовых температурах в интервале  $13-23^\circ\text{C}$ . В ряде профилей присутствует гипс. С учетом анализа представленных в почвах остатков корней, реконструируются ландшафты полупустынных кустарниковых пустошей. Средний триас характеризуется наличием гумидных эпизодов (Preto et al., 2010). Самым значительным был глобально выраженный плювиальный эпизод в карнии, регистрируемый как по морским, так и по континентальным отложениям. Этот эпизод нашел отражение и в рассматриваемых палеопочвах. Так, аридные почвы сменяются Вертисолями, а затем бескарбонатными Инсептисолями и Альфисолями. Наличие в профилях почв следов глубокой корневой системы с крупными корнями позволяет заключить, что почвы формировались под сомкнутыми лесами. Ряд профилей оглеен. Расчет на основе глубины залегания карбонатного горизонта<sup>4</sup> регистрирует возрастание годового количе-

---

<sup>4</sup> В последнее время в палеопочвоведении появляется все больше количественных критериев для палеоклиматических реконструкций на основе сопоставления современных почв и палеопочв. Достаточно хорошо обоснованным показателем, разработанным на массовом материале, является функция глубины карбонатного горизонта (depth-to-carbonate function, Retallack, 2005). На основе этого показателя рассчитывается среднегодовое количество осадков по формуле:  $MAP=137.24 - 6.45D-0.013D^2$ ,

где MAP это среднегодовое количество осадков в мм, D – глубина залегания максимума карбонатов в профиле. Этот расчет применим к хорошо дренируемым почвам на легких породах с наиболее зрелым профилем ненарушенным эрозией (полностью представлен гумусовый горизонт).

$\delta^{18}\text{O}$ , определенное в педогенных карбонатах, позволяет рассчитать среднегодовые температуры около  $18^\circ\text{C}$  для периодов семиаридного почвообразования с карбонатными почвами.

ства осадков до 700-900 mm и затем до 1300-1400 mm. Плувиальный эпизод сменился аридным уже в начале верхнего триаса, в нории, когда формировались кальциковые Аридисоли под полупустынными кустарниковыми пустошами.

Почвы южного семиаридного пояса начала среднего триаса описаны в составе почвенно-седиментологических серий формации Denwa бассейна Saptura, Индия, расположенного между 30 и 40<sup>0</sup> ю.п.ш. (Ghosh et al., 2006). Палеопочвы приурочены к прослоям красных глинистых карбонатных сланцев, формирование которых связано с периодами замедления седиментации. Стратиграфическая выдержанность почвенных профилей прослеживается на расстояние до нескольких десятков метров, что позволяет предполагать, что они формировались лишь в определенных позициях аллювиальной равнины с замедленной седиментацией. В пределах одного глинистого слоя выделяется до трех палеопочв, чаще всего представленных кумулятивными и составными профилями и педокомплексами (Paleopedology glossary, 1998). На протяжении всей формации характер почвообразования не меняется. Почвы (кальциковые Вертисоли, по Soil Survey Staff, 1998) подтверждают существование семиаридного климата с выраженной сезонной контрастностью.

В позднем триасе потепление и гумидизация климата сопровождаются глобальным биосферным кризисом на границе триаса и юры, возможно вызванным повышением активности центрально-Атлантической вулканической провинции. В условиях жаркого гумидного климата образовывались каолиновые коры выветривания, широко представленные на северо-западе Европы (Ahlberg, et al., 2003). Являлись ли климатические тренды на границе триаса и юры глобальными, остается не ясным. Так, в бассейне Карру в Южной Африке и в Аргентине формировались аридные почвы. На основе детального анализа флювиально-озерных серий, включающих около 60 палеопочв, аридный и семиаридный климат реконструируется и для внутриматериковых областей западной Пангеи, штат Нью-Мехико, США (Cleveland et al., 2008). Типичные почвы представлены профилем АВ-Вw-Вк-ВС и соответствуют Аридисолям (по Soil Survey Staff, 1998), формировавшимся при преобладании хорошо дренируемых условий аридного и семиаридного климата. В профиле содержится большое количество карбонатных конкреций. На наличие влажных сезонов указывает присутствие в некоторых почвах глинистых кутан. Железисто-марганцевые конкреции указывают на сезонное переувлажнение. Сезонная контрастность климата отражается в наличии сликенсайдов. Среднегодовое количество осадков, рассчитанное на основании функции глубины карбонатного горизонта, варьировало в интервале 200-450 мм/год. С учетом морфологии растительных остатков, можно заключить, что почвы формировались под полупустынной кустарниковой растительностью.

К самому концу триаса вновь стал жарким и засушливым.

В юрском периоде седиментационные обстановки и почвообразование также как и в триасе определялись максимальной агрегацией суши Пангеи, простиравшейся на пространствах от 85° с.п.ш. до 90° ю.п.ш. (Ziegler et al., 1983). Господствовал теплый климат с широкими аридными поясами. Уровень содержания CO<sub>2</sub> в атмосфере в 4 раза превышал современный. Высокие широты обоих полушарий занимали умеренно-прохладные и умеренно-теплые климатические пояса с областями угленакпления. В аридных поясах описаны согласованные процессы почвообразования и седиментации – аридные почвы встречаются в ассоциации с эвапоритами и эоловыми отложениями.

Высокая вулканическая активность обусловила широкое распространение Андосолей (по Soil Survey Staff, 1998), сформированных на вулканических отложениях юрского возраста – базальтовых лавовых потоков, туфов и пр. Вулканические отложения представляют собой прекрасный палеогеографический архив. Цикличность вулканических выбросов обуславливает формирование тефра-палеопочвенных серий. Кроме того, вулканические отложения часто бронируют различные почвенно-седиментологические серии, обеспечивая их сохранность.

Так, базальтовые лавовые потоки обусловили сохранность эоловых песчаных отложений и связанных с ними палеопочв раннеюрского возраста в бассейне Potomac, штат Коннектикут, США. Палеопочвы венчают толщу аллювиально-озерных отложений и сформированы на красноцветных алевролитах (сланцы). Глубоко проникающая корневая система свидетельствует о древесной растительности и семиаридных условиях, в которых формировались почвы. Вверх по разрезу признаки аридизации усиливаются и в верхней части кумулятивного профиля сформирован горизонт с крупными карбонатными нодулями. Палеопочвы погребены под слоем эоловых песков (дюны). Строение толщи отложений свидетельствует о прогрессивной аридизации на фоне выхода из флювиального режима. Эоловые отложения и связанные с ними палеопочвы описаны в различных регионах Пангеи (Канада, Марокко, Аргентина), что подтверждает широкое распространение обстановок аридного и семиаридного почвообразования и седиментогенеза в раннем и среднем мезозое.

В средней и поздней юре сохранялись сходные обстановки седиментации и почвообразования. Так, в северном тропическом поясе палеопочвы, представленные в толще средне- и позднеюрских флювиальных отложений (формация Morrison, плато Колорадо, США) формировались в условиях преобладания семиаридного климата при меняющемся уровне грунтовых вод (Demko et al., 2004). Наиболее развитые почвы представлены Кальцисолями (по Mack et al., 1993). Наличие в ряде профилей пары горизонтов Bk/Bt (аржилликовые Кальцисоли) свидетельствует о чередовании семигумидных/ семиаридных климатических циклов. Считается, что теплый климат юрского периода был без выраженной сезонной контрастно-

сти. Однако признаки слитости (вертикальные Кальцисоли) указывают на наличие периодов с сезонной контрастностью, а мощные гипсовые горизонты – на аридные эпизоды. Эти эпизоды подтверждаются и тем, что профили палеопочв встречаются в ассоциации с эоловыми песками и эвапоритами. В целом, вверх по геологическим разрезам в верхнеюрских палеопочвах фиксируются признаки постепенного повышения гумидности климата.

Характер почвообразования в умеренных широтах северного полушария также противоречит представлению об отсутствии сезонной контрастности климата юрского периода. Так, формирование мощных кумулятивных профилей Вертисолей в толще флювиальных отложений на северо-востоке Германии объясняется чередованием семиаридных и семигумидных циклов (Bailly et al., 2000). Законсервированный гильгайный рельеф представлен куполами высотой до 3 м. В условиях семиаридного климата средиземноморского типа формировались и прекрасно сохранившаяся (Lithomorphic Xero-Rendzina) с профилем AC «Юрского берега» Англии в графстве Дорсет (Francis, 1986). Погребенный гумусовый горизонт отличается обилием хорошо разложенной органики, представленной частицами как бурого, так и каменного угля. Обилие вторичных карбонатных новообразований и характер растительных остатков указывают на семиаридный климат средиземноморского типа. В 2001 году «Юрский берег» получил статус объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО за уникальную запись эволюции природной среды на протяжении 150 млн лет. Особую ценность в формировании палеогеографического архива играли палеопочвы. Согласно палеогеографическим реконструкциям, хвойные леса с неглубокой корневой системой на литоморфных рендзинах формировались прямо на берегах гиперсоленых эвапоритовых бассейнов. Такое парадоксальное соседство объясняется резко выраженной сезонной контрастностью. Чередование сухих и влажных сезонов подтверждается также обилием вторичных карбонатных новообразований. Аналоги подобных ландшафтов найдены в юго-западной Австралии (остров Роттнесс). В трансгрессивную фазу почвы с рендзинами и леса были затоплены гиперсолеными водами и погребены прибойными строматолитовыми отложениями (водорослевыми матами), что обеспечило их уникальную сохранность в виде окремнелых стволов и замещенных карбонатами корней.

Меловой период считается наиболее типичным для теплой биосферы мезозоя (Чумаков, 2004). Однако, климатические условия и обстановки седиментации и почвообразования отличались значительной динамичностью, определявшейся глобальными тектоническими трендами: фрагментацией Пангеи, начавшейся в верхней юре, а также сопутствующим орогенезом и повышением уровня океана. На протяжении всего мелового периода сохранялись высокоширотные гумидные умеренные пояса. Средние широты обоих полушарий занимали гумидные теплые климатические поя-

са. В раннемеловую эпоху до середины мела низкие широты обеих полушарий Земли занимал единый аридный жаркий пояс, охватывающий не только субтропические и тропические области северного и южного полушарий Земли, но и экваториальные зоны. Северная его граница проходила вблизи 30° с.ш., а южная - примерно между 40° и 50° ю.ш.

Раскрытие Южно-Атлантического и Индийского океанов и эпиконтинентальные трансгрессии в альбском веке привели к тому, что суша была представлена сравнительно небольшими разрозненными массивами, единый аридный пояс был разбит, и возник жаркий экваториальный гумидный пояс. Постепенно площадь гумидных поясов на Земле расширялась, и к концу мелового периода климат стал и теплее, и влажнее.

Хорошая сохранность палеогеографических архивов (литологических, изотопных, палеонтологических и др.) определила то, что меловой период является в настоящее время одним из наиболее изученных в геологической истории. Как в седиментационных обстановках, так и в почвообразовании на протяжении всего мелового периода прослеживается четкая зональность. Прежде всего, это касается размещения областей аридного и гумидного терригенного осадконакопления. В высоких широтах вплоть до 85° с. п.ш. выделяется пояс интенсивного угленакопления (Чумаков, 2004), к югу сменявшийся среднеширотным угленосно-бокситоносно-каолинитовым. Теплый климат средних широт обусловил широкое развитие латеритных и каолиновых кор выветривания. Обстановки седиментации в средних широтах чутко реагировали на климатические тренды. Во внутриконтинентальных районах здесь формировались терригенные породы с педокомплексами, указывающими на то, что осадконакопление и почвообразование проходило в условиях переменного-влажного климата (McCarthy et al., 1998). С периодами аридизации связано формирование гипсоносных отложений в замкнутых понижениях рельефа. В аридных поясах формировались эвапориты, карбонатные и гипсоносные красноцветные коры выветривания и золотые отложения. В экваториальном гумидном поясе формировались бассейны угленакопления, здесь также представлены бескарбонатные красноцветные ферраллитные и кислые каолинитовые коры выветривания, а также с продуктами их переотложения - латеритами, бокситами, конгломератами и др. (Ковда, 1973, Жарков, 2004). Эти отложения ассоциированы также с кислыми тропическими почвами - Оксисолями и Ультисолями.

Теплый климат определял высокую продуктивность меловой биоты, особенно в средних и высоких широтах. Крупные биотические события мела включают вымирание цикадовых и гинкговых и расцвет кайнофитовой флоры. В среднем мелу широко распространяются покрытосеменные и появляется травянистая растительность.

Палеопочвы часто позволяют восстановить еще более сложную динамику природных условий, чем та, что выявляется на основе изучения се-

диментационных обстановок и палеонтологических остатков. Примером может послужить анализ палеопочв, формировавшихся в апт-альб-сеноманское время в толще флювиальных отложений на северо-востоке Китая (Xianghui, 2009). Район исследований располагался в аридном тропическо-субтропическом поясе, что согласуется с широким распространением кальцисолей. Однако были представлены и гумидные эпизоды с признаками сезонности климата, в которые формировались бескарбонатные Аржиллисоли (по Mack et al., 1993) с вертикальными признаками (сликенсайды). Наконец, были эпизоды с жарким гумидным климатом, в которые формировались оксисоли.

Изучение палеопочв в пределах мелового субтропического пояса Японии позволяет выявить направленную аридизацию при переходе от раннего к позднему мелу. Палеопочвы описаны в мощной осадочной толще (песчаники, конгломераты, глинистые сланцы) в пределах седиментационного бассейна на острове Кюсю. Формирование почв альб-сеноманского времени проходило при чередовании гумидных и семигумидных климатических циклов с периодами сезонного недостатка влаги. Это подтверждается наличием в бескарбонатных профилях вертикальных Инсептисолей (по Soil Survey staff, 1998) глинистых кутан, признаков сезонного оглеения и сликенсайдов. На протяжении сеноман-туронского времени почвообразование проходило в условиях семиаридного климата, при сохранявшейся сезонной контрастности. В этом интервале представлены кальциковые Вертисоли характеризующиеся наличием карбонатных горизонтов с обилием карбонатных конкреций.

В пределах североамериканского мелового бассейна в средних и низких широтах (25-60° с. п.-ш.) в условиях аридного климата в аллювиальных отложениях альбского яруса сформированы глубоко выветрелые почвы с высоким содержанием карбонатов (Ufnar et al., 2004, 2005; Suarez et al., 2011). Изучение сидеритовых конкреций в палеопочвах позволило лучше понять гидрологический цикл теплых биосфер. На основе соотношения  $\delta^{18}\text{O}$  и  $\delta^{13}\text{C}$  в конкрециях удалось рассчитать, что в условиях теплого климата при высокой концентрации  $\text{CO}_2$  в атмосфере одновременно усиливается как эвапотранспирация, так и выпадение осадков. Активизация гидрологического цикла определила его большую роль в переносе тепла с атмосферной влагой от низких к высоким широтам. Таким образом, наземный гидрологический цикл вносил важный вклад, наряду с океаническими течениями в уменьшение температурного градиента от полюсов к экватору. Кроме того, усиленная эвапотранспирация в низких широтах, по видимому, способствовала поддержанию аридных условий в низких широтах, что подтверждается как седиментационными обстановками, так и характером почвообразования. Наиболее теплым в меловом периоде был климат сеномана. Аналогичные расчеты параметров гидрологического цикла по соотношениям стабильных изотопов кислорода в сидеритовых



конкрециях проводились и в почвах сеномана формировавшихся в низких широтах (25° с. п-ш.) североамериканского мелового бассейна (Ufnar et al., 2008). Результаты исследования подтверждают высокую интенсивность гидрологического цикла, характерную для теплых биосфер, хотя дефицит почвенной влаги и не обнаруживается. Дело в том, что исследуемые почвы формировались в условиях продолжительного сезонного переувлажнения и лучше промывались. Об этом свидетельствует наличие глинистых кутан и плазмы с сильным двупреломлением. В то же время сликенсайды указывают и на сезонную контрастность увлажнения.

Коньяк-маастрихтский этап позднего мела был переходной зоной от мезозойской к кайнозойской глобальной палеогеографической организации на Земле. В пределах аридного тропического пояса выделялись районы муссонного климата, где наряду с гипсоносными красноцветными отложениями формировались каолинитовые и латеритовые коры выветривания. Существование семигумидных переменного влажных климатических условий тропического пояса позднего мела (20-30° с. п-ш) подтверждаются исследованиями палеопочв маастрихтского времени, сформированных в толще аллювиальных отложений в пределах седиментационных бассейнов Трансильванского и Hateg, Румыния (Therrien, 2005, Therrien et al., 2009). Профили палеопочв характеризуются наличием горизонтов с карбонатными конкрециями. Наряду с этим в них представлены признаки сезонного оглеения и сформированы сликенсайды, что согласуется с выводами авторов о том, что почвы формировались в условиях семигумидного климата (до 1000 мм осадков в год) с выраженными сухими периодами.

В пределах южного тропического пояса в позднемеловое время также выделяются районы с преобладанием семиаридного климата. Это подтверждает исследование палеопочв и осадков маастрихтского седиментационного бассейна Vauru, Бразилия (Basiliki, Fuhr Dal Bo, 2010). Сложная динамика природных условий верхнего мела находит отражение в климатически обусловленных циклах почвообразования и осадконакопления пределах седиментационного бассейна. В толще чередующихся эоловых и аллювиальных осадков мощностью до 200 м зрелые палеопочвы террас и эфемерные русловые фации приурочены к относительно гумидным обстановкам. При этом палеопочвы также фиксируют периоды стабилизации поверхностей террас. Незрелые Энтисоли (по Soil Survey staff, 1998), разделяемые фациями эолового песка, часто со следами перевевания, указывают на периоды геоморфологической нестабильности и повышенной аридности климата. Среди зрелых палеопочв Аридисоли соответствуют наиболее аридным стадиям, с годовым количеством осадков в пределах 200-300 мм. Их профиль характеризуется наличием горизонтов Вк с карбонатными конкрециями, в составе глинистых минералов представлен палыгорскит. Вертисоли указывают на периоды с повышенной сезонной контрастностью, а Альфисоли соответствуют наиболее гумидным фазам цик-

лов. Циклическая смена природных обстановок отразилась и на формировании полигенетических признаков в профиле палеопочв. Так, в микростроении горизонтов Btk Аридисолей представлены многослойные глинисто-карбонатные кутаны.

В высоких широтах в позднем мелу преобладали гумидные условия. Так, в пределах североамериканского мелового бассейна (Альберта, Канада, Fanti, Miyashita, 2009) в кампанский век описаны обширные заболоченные пространства с торфяными и минеральными кислыми ненасыщенными почвами. Кислые условия подтверждаются и наличием прослоев болотной руды. Широкое распространение гидроморфных почв в кампанское время подтверждается также и тем, что они представлены и в других частях североамериканского мелового бассейна, например, на современной территории штата Юта, США (Roberts, 2007).

В низких широтах северного полушария на границе мела и палеогена усиливается аридизация климата. Это подтверждается сопряженным изучением обстановок седиментации и почвообразования в отложениях формации Maghra El-Bahari в Египте (Wanas, Abu El-Hassan, 2006). В строении этой формации наблюдается смена аллювиальных отложений верхнего мела на озерные отложения нижнего палеогена. Наряду с этим происходила смена семигумидных климатических условий на семиаридные и аридные. Это обосновывается данными по свойствам палеопочв, представленных в толще изученной формации. Вертисоли с мощными профилями, с выраженными глинистыми кутанами в горизонте В и глубокой корневой системой формировались в условиях семигумидного контрастного климата. Семиаридные и аридные обстановки представлены Кальцисолями и Гипсосолями (по Mack et al., 1993), сопряженными с толщами эвапоритов. В профиле аридных почв встречаются обильные карбонатные конкреции и новообразования гипса.

Сходные климатические тренды на границе мела и палеогена пределах северного тропического пояса описаны и для Сардинии (Vacca et al., 2011). В условиях теплого гумидного климата в маастрихте на различных фациях аллювиальных отложений, представленных толщами песчаников, алевролитов и глинистых сланцев, формировались палеопочвы с ожелезненными горизонтами. Продвинутые стадии выветривания как первичных, так и вторичных минералов указывают на то, что палеопочвы маркируют продолжительные периоды стабилизации поверхности. Ожелезненные горизонты в профиле почв соответствуют диагностике плинтиковых горизонтов (Plinthic horizon, по World Reference Base, 2006). Это подтверждается как морфологическим (включая микроморфологию и электронную микроскопию), так и химическим и минералогическим анализом (кирпично-красный цвет, обилие железа, гематита, гетита, каолинитовый состав глин, и пр.). Известно, что в современных условиях почвы с плинтиковыми горизонтами (Plinthosols, Plinthic Ferralsols) формируются во влажном тропи-

ческом климате (бассейн Конго, юго-восточная Азия). Интенсивное выветривание обеспечивает обильное высвобождение железа, закрепляющееся в профиле в короткие, но четко выраженные сухие сезоны. В результате горизонты приобретают кирпично-красный цвет. При переходе к отложениям нижнего палеогена (датский ярус) плинтиковые горизонты в ожелезненных почвах сменяются петроплинковыми и пизоплинковыми горизонтами (по World Reference Base, 2006). В современных условиях почвы с петроплинковыми и пизоплинковыми горизонтами формируются в более аридных условиях, в полосе, переходной от дождевых лесов к саванне (например, Судано-Сахельская область). Таким образом, изменение характера почвообразования указывает на повышение аридности климата на границе мел/палеоген.

Закономерная смена почвенных горизонтов в мел-палеогеновых толщах устойчиво проявляется на больших пространствах и обнаруживается не только в Сардинии. Почвы с сильно ожелезненными горизонтами, близкими к плинтиковым, петроплинковым и пизоплинковым (сидеролитовые фации – *Siderolithique facies*, пизолитовые кирасы и т.д.) описаны в мел-палеогеновых толщах различных районов южной Европы (Thiri, 2000). В указанное время Сардинско-Корсиканский блок был частью единой Европейской плиты и отделился от нее только в позднем миоцене вследствие спрединга Прованского бассейна. Описанные участки с ожелезненными палеопочвами по-видимому представляют собой разрозненные остатки однотипных почвенных покровов, формировавшихся в пределах единого седиментационного бассейна, объединявшего Корсику, Сардинию и Пиренейско-Прованский регион. Возможно, что сходные почвенные покровы существовали во всей северо-западной прибрежной области океана Тетис. Кроме того, в аллювиальных мел-палеогеновых отложениях Пиренейско-Прованского региона проявляется тренд аридизации, аналогичный тренду, установленному по почвам Сардинии: плинтиковые горизонты в почвах верхнего мела сменяются петроплинковыми и пизоплинковыми горизонтами в палеогеновых почвах. Таким образом, мел-палеогеновые палеопочвы описываемого региона представляют собой важные стратиграфические маркеры и могут использоваться для межрегиональных корреляций. Эти почвы отвечают принятым в североамериканском стратиграфическом кодексе критериям Геосоли (выдержанное стратиграфическое положение и широкое площадное распространение, NACSN, 2005) и названы по наиболее характерному разрезу «Геосоли Monte Maraconis». Таким образом, выполненное исследование представляет собой наиболее полный и успешный опыт использования дочетвертичных палеопочв в качестве педостратиграфических единиц.

### Основные тренды эволюции почвообразования в кайнозое

Палеотемпературная кривая, составленная по соотношению изотопов кислорода в бентосных фораминиферах Северной Атлантики, отражает основные тренды эволюции палеоклимата в кайнозое (рис. 4). Климатические реконструкции по данным палеоботаники в кайнозое также имеют более высокую степень достоверности, чем в предшествующие периоды фанерозоя (Ахметьев, 2004). Согласно этим данным, климатическая зональность в палеоценовую эпоху по сравнению с завершающим этапом меловой истории отличалась большей широтной дифференциацией и контрастностью среднегодовых и сезонных температур, особенно в средних и высоких широтах Земного шара. В северной Евразии в палеоцене и первой половине эоцена фиксируются колебания климата, имеющие небольшую продолжительность (5-10 Ма) и с амплитудами годовых температур 2-4°C (Изменение климата и ландшафтов, 1999). Начало датского века совпадает с глобальным похолоданием, первым наиболее заметным в истории теплой биосферы мезозоя. Тем не менее, глобальный тренд потепления, наметившийся на К/Т границе продолжался и в нижнем палеогене. Это отразилось на широком распространении в экваториальных и тропических областях мощных каолиновых и латеритных кор выветривания в пределах обширных седиментационных бассейнов практически всех континентов (Короновский с соавт., 2008).

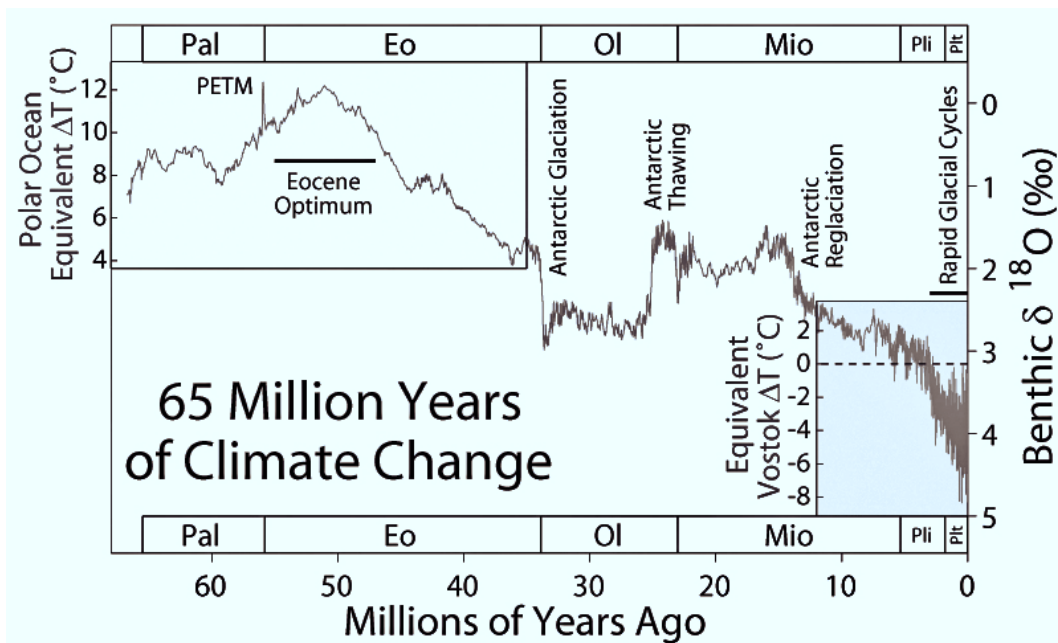


Рис. 4. Кислородно-изотопная характеристика кайнозоя, полученная по раковинам бентосных фораминифер в глубоководных осадках Атлантики, дополненная по ледяным кернам станции Восток, Антарктида (Zachos et al., 2001)

Площади экваториальных, тропических и субтропических поясов заметно расширяются, указывая на глобальный характер потепления климата. В северном полушарии они сдвигаются к северу на 5-10° (Schmitz et

al., 2001). Уже в раннем палеоцене субтропический пояс в Западной Европе распространялся до 43° с. п.-ш. В Центральном Техасе среднегодовые температуры еще в эоцене (59-60 Ma), по данным палеоботаники, были близки к современным (около +19 °С). Однако, уже в раннем танете (57-58 Ma) среднегодовые температуры возросли до +23 - +24 °С и климат стал еще более мягким с перепадом годовых температур не более 9°С (Ахметьев, 2004). К середине танета среднегодовые температуры еще более возросли, годовое количество осадков увеличилось не менее, чем на 500 мм. При этом в более низких широтах, по крайней мере, до 30° с. п.-ш., климат носил признаки экваториального. Вдоль северной окраины прибрежной равнины Мексиканского залива на территории штата Арканзас в это время происходило латеритообразование и формировались бокситы. Глубоководные ветрелые почвы (Оксисоли и Ультисоли, по Soil Survey Staff, 1998) описаны в различных областях высоких широт (Антарктида, Шотландия, Ковда, 1973). Максимум глобального потепления приходится на границу палеоцена и эоцена и описывается как термический максимум палеоцена-эоцена (PETM – Paleocene-Eocene Thermal Maximum; LPTM – Late Paleocene Thermal Maximum; IPTM – Initial Paleocene Thermal Maximum, рис. 4). PETM также называют "углеродным эпизодом", поскольку он сопровождался заметным снижением соотношения изотопов углерода  $\delta^{13}\text{C}$ . Климат Земли в это время был теплее современного на 6°-8° С. Эффект потепления усиливался широкими возможностями осуществления тепло- и влагопереноса из низких в высокие широты, благодаря наличию в раннем палеоцене сквозных морских рукавов, связывающих Тетис с Арктическим бассейном при отсутствии широтных орографических барьеров в Евразии (Ахметьев, 2004). PETM является главным термическим максимумом всего кайнозоя. Глобальное потепление вызвало заметное расширение тропической и субтропической зон Земного шара с их экспансией в более высокие широты. Это в свою очередь сопровождалось сокращением умеренной зоны в приполярных областях и дальнейшим снижением широтного температурного градиента в системе "полюс-экватор". Как мы уже указывали выше, возможной причиной кратковременного эпизода PETM являлась эмиссия вулканических газов, связанная с активностью Центрально-Атлантической магматической провинции (Marzoli et al., 1999). Несмотря на то, что PETM продолжался не более ста тысяч лет, он находит четкое подтверждение в палеопочвах.

Так, палеопочвы времени PETM изучены в аллювиальных отложениях формаций Fort Union и Willwood в пределах седиментационного бассейна Bighorn, Вайоминг, США, расположенного в тропическом поясе на 44° с. п.-ш. (Kraus, Riggins, 2007). Наиболее развитые почвы приурочены к глинистым фациям пойменного аллювия. Основное внимание при исследовании палеопочв было уделено признакам, которые позволяют наиболее точно реконструировать динамику климата в период PETM: строение про-

филя, характер карбонатных новообразований, железистых нодулей, химические показатели степени выветривания. Сходные тренды в изменении характера почвообразования были получены по двум разрезам, расположенным на расстоянии более 100 км друг от друга. Закономерная смена почв отражает чередование более аридных и гумидных эпизодов во время РЕТМ. Наиболее аридные условия были непосредственно перед РЕТМ, что отражается в наличии красных почв с обильными карбонатными аккумуляциями. Начиная с середины и до конца интервала РЕТМ преобладали более гумидные условия, что отражается в преобладании бурых почв с обильными гетитовыми конкрециями. Карбонатные новообразования отсутствуют. Однако детальный анализ позволил выявить наличие четырех кратковременных аридных эпизодов на фоне преобладающих гумидных условий РЕТМ. Эти эпизоды определялись, по-видимому, прецессионными циклами. Выявленная динамика климата подтверждается независимыми методами, например, по анализу морфологии отпечатков листьев. Наличие четырех прецессионных циклов согласуется и с данными по океаническому осадкам.

Одной из специфических особенностей эоценового (в особенности раннеэоценового) климата, было широкое распространение "паратропического" влажного климата, иногда приобретающего черты муссонного (Изменение климата и ландшафтов..., 1999). Это период эоценового термического оптимума (рис. 4). В северной Америке в раннем эоцене бассейн р. Миссисипи попадал в зону влажного тропического и экваториального климата, заходившего вглубь континента вплоть до штатов Кентукки и Теннесси. Климат арктических районов оставался теплым и влажным, что обусловило широкое распространение угленакопление и формирование каолиновых кор выветривания.

Климатический оптимум эоцена явился рубежом, после которого наметился отчетливый тренд к похолоданию, знаменующий начало перехода от теплого климата мезозоя к эпохе позднекайнозойских оледенений. Снижение теплообеспеченности имело колебательный характер. Выделялись периоды потеплений и похолоданий. В целом средний и поздний эоцен оценивается как этап субтропического климата (Изменение климата и ландшафтов, 1999). В среднем эоцене продолжалось усиление дифференциации климатических зон, связанное с постепенным возрастанием температурного градиента в системе "полюс-экватор", произошло начавшееся еще в палеоцене расширение аридных поясов обоих полушарий. Отчетливые признаки аридной зоны в Северном полушарии устанавливаются по распространению эвапоритов (в южных районах Казахстана и Киргизии, Южной Монголии, в Центральных и Южных районах Китая). Происходило заметное сокращение зоны влажного тропического и экваториального климата. Паратропический и субтропический климат высоких широт Северного полушария существовали за счет связи бассейна Тетис с Арктиче-

ским океаном (Изменение климата и ландшафтов..., 1999). С закрытием Западно-сибирского палеопротолива, обеспечивавшего приток теплых вод в высокие широты, климат высоких широт меняется на умеренный. В позднем эоцене сдвиг границ широтных климатических зон в сторону экватора на несколько сотен км сопровождался в обоих полушариях экспансией умеренной флоры в более низкие широты из высоких, что подтверждается палеоботаническими данными по всем континентам. Одновременно происходило резкое усиление континентальности климата с формированием снежного покрова в зимний период не только в высоких, но и в средних широтах (до 50°-60° с. и ю. п-ш.).

Одним из наиболее значимых рубежей в палеогене считается граница эоцена и олигоцена, именно к этому рубежу приурочен наиболее близкий к нам по времени переход от теплой биосферы к холодной (Sheldon, 2009). Это был достаточно быстрый в геологическом масштабе времени период (3-5 Ма). Морские архивы этого периода (например, изотопный состав кислорода в глубоководных осадках) сохранили запись о заметном росте ледяных шапок в Антарктиде (оледенение Oi1). Однако, континентальные записи, и особенно палеопочвенные архивы существенно дополняют морские. Так, подробная запись динамики ландшафтной обстановки в интервале 43-29 Ма содержится в тейфра-палеопочвенных сериях позднеэоценовой формации Clarno и поздне-эоценовой – ранне-олигоценовой формации John Day (Цветные горы, Орегон, США) (Kautz, 2002). Основу формации составляют вулканогенные отложения риолит-дацитового состава. Выдержанность литологического состава позволяет достаточно уверенно связывать различия в свойствах палеопочв с климатическими изменениями. Кроме того, вулканогенные толщи содержат в себе обильные палеонтологические остатки, что дополняет палеоландшафтную реконструкцию. Изученные палеопочвы представлены хорошо сохранившимися профилями, с почти полным набором генетических горизонтов. В них хорошо различимы следы корней, ходы землероев, почвенная структура и пр. Обилие легко выветривающихся минералов позволило использовать показатели минералогического и валового химического состава по 85 профилям палеопочв в качестве палеоклиматических индикаторов.

В позднем эоцене на вулканогенных отложениях в теплых гумидных условиях (при среднегодовых температурах 23-25°C и среднегодовом количестве осадков 900-2000 мм) формировались кислые тропические почвы – Ультисоли и Оксисоли (по Soil Survey Staff..., 1998), богатые железом и с высокой долей каолинита в составе илистой фракции. Это подтверждает интенсивное выветривание во влажных субтропических условиях (рис. 5). В то же время уже в раннем олигоцене формировались Альфисоли – почвы умеренного влажного климата со среднегодовыми температурами 16-18°C и среднегодовым количеством осадков 600-1200 мм. В составе илистой фракции Альфисолей преобладают смектиты. Описанные закономерности

проявляются во всех тонкодисперсных фракциях ( $>0,005$  mm,  $>0,001$  mm,  $>0,0005$  mm). Смена обогащенных каолинитом илистых фракций на смектитовые подтверждается и данными электронной микроскопии, а также по соотношению валовых содержаний окислов. Дальнейшее похолодание и аридизация около 30 Ма выразились в формировании кальциковых Инсептисолей и кальциковых Андисолей, формировавшихся при среднегодовом количестве осадков 400-600 мм. Это похолодание связывается с оледенением Oi2, вызвавшим дальнейший рост ледяных шапок Антарктиды.

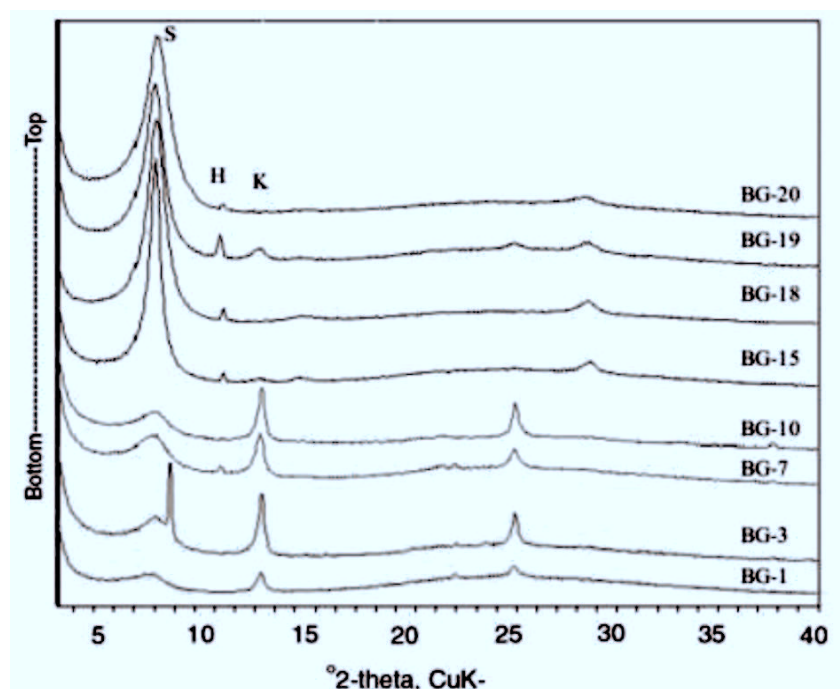


Рис. 5. Рентгендифракто-граммы фракции  $< 0,001$  мм горизонтов эоценовых (BG-1 – BG – 10) и олигоценовых (BG-15 – BG – 20) палеопочв формаций Clarno и John Day, Орегон, США.

S – смектит, H – роговая обманка; K – каолинит (Kautz, 2002)

Между морскими ( $\delta^{18}\text{O}$  в глубоководных осадках) и континентальными (палеопочвы) записями наблюдается хорошая корреляция (Kautz, 2002). Сходные климатические тренды в интервале 43-30 Ма зафиксированы и в палеопочвах Южной Дакоты (Retallack, 1983).

Итак, переход от теплых мезозойских биосфер к холодным в кайнозое проходил в несколько этапов, и проявлялся с одной стороны в глобальном тренде похолодания, а с другой – в усилении региональной климатической контрастности. Эта контрастность выявляется при сопоставлении палеопочв в различных областях умеренного пояса северного полушария, формировавшихся в интервале 36-30 Ма, по свойствам которых (глубина залегания карбонатного горизонта, степень преобразования минеральной части почв и др.) рассчитаны среднегодовые температуры и количество осадков (Sheldon, 2009). В районах, расположенных в дождевой тени поднимающегося Каскадного хребта (Орегон, Монтана, США) фиксируется



направленная аридизация и похолодание. Так, гумидный климат эоцена сменился на семиаридный уже в период с 30,5 Ма. В то же время в Небраске наблюдались кратковременные циклы колебаний среднегодовых температур и осадков при отсутствии долговременного тренда. Неоднозначно проявлялся климатический тренд и в Европе. Так, в Испании не зафиксировано понижение температуры и увеличение аридности. Напротив, остров Уайт (Англия) попал в зону перехвата осадков близлежащими горными сооружениями, вследствие чего возросла гумидность климата.

Седиментационный бассейн Chilga, Эфиопия, формировался в раннем олигоцене (28-27 Ма) в условиях влажного тропического климата с годовым количеством осадков не менее 1100 мм и представлен толщей каолинитовых и смектитовых глинистых сланцев мощностью до 150 м, заполнявших речную долину. Изучение палеопочв и многочисленных остатков растений и животных показывает согласованные изменения почвенного покрова и растительных ассоциаций в зависимости от условий дренажа и стабильности поверхности (Jacobs et al., 2005). На наиболее низких поверхностях вблизи меандрирующих водотоков существовали заболоченные участки с Гистосолями (по Mack et al., 1993) под болотной растительностью с участием древесных пород. К заболоченным участкам примыкают Глейсоли. Минеральные горизонты имеют признаки застойного оглеения (серая окраска), обогащены сидеритом, содержат горизонтальные прослойки органического вещества (бурый уголь), горизонтальные следы корней, расположенные над близко залегающими грунтовыми водами. На более высоких уровнях террас на глинистых фациях аллювия формировались Вертисоли, характеризовавшиеся контрастным водным режимом с чередованием продолжительных периодов переувлажнения и кратковременных периодов иссушения (глеевая пятнистость, сликенсайды). Аржиллисоли формировались на наиболее высоких террасах с глубоко залегающими грунтовыми водами под сомкнутыми лесными ассоциациями.

*В неогене* палеобиогеографическая зональность приближается к современной. Как следствие прогрессивного похолодания сокращается тропическая область и увеличивается ширина умеренных поясов. Как и поздний олигоцен, ранний миоцен был периодом значительных климатических колебаний, связанных с полным оледенением Антарктиды, вплоть до уровня моря (рис. 4). Для неогена характерно возрастание частоты и амплитуды ландшафтно-климатических изменений (Изменение климата и ландшафтов..., 1999). Палеопочвы отражают чередование гумидных и аридных циклов. Так, в почвах формации John Day, Орегон, США, периоды аридизации фиксируются на рубеже 25,8 Ма и на границе палеогена и неогена (23,8 Ма, Retallack, 2004b). Эти данные согласуются с изменением изотопного состава кислорода в фораминиферах. Напротив, начиная с 19 Ма выделяется гумидный цикл, при котором в почвах не формируются крупные карбонатные нодулы. В среднем миоцене выделяется глобальный

термический максимум (16 Ma), подтверждением которого является распространение латеритных почв не только во влажных экваториальных областях, но и в умеренных широтах (Южная Австралия, Япония, Германия, Орегон, США). При этом теплолюбивая древесная растительность распространялась до вплоть северной Аляски и южной оконечности Новой Зеландии. Поздний миоцен, напротив, представляет собой период глобального похолодания и аридизации (около 7,2 Ma).

На этом изменчивом климатическом фоне происходило одно из наиболее значимых событий в кайнозое - процесс «великого остепнения» равнин умеренных широт (Марков, 1951). Травянистые биомы представляют собой экосистемы нового типа, с дерновыми почвами, уникальным углеродным пулом, водным балансом и альбедо. Появление разнотравья это важнейший этап в развитии почвообразования, связанный с воздействием на осадочные породы корневой системы трав и биологическим круговоротом, свойственным травянистой растительности. Это определило глубокое изменение условий выветривания, поэтому миоцен оценивается как рубеж между древними эпохами и новейшим этапом гипергенеза (Добровольский, 1969). Гумусово-аккумулятивные почвы (Mollisols, черноземы) появились достаточно поздно, первые находки обнаружены в эоцене. Широкое развитие черноземы получили в миоцене в связи распространением травянистой растительности.

Появление травянистых биомов отражает и глобальный климатический тренд похолодания и аридизации, и определенный этап в эволюции наземной биоты, а также является ярким примером коэволюции или когерентной эволюции различных компонентов экосистем, при которой ход эволюции отдельных видов контролируется биогеоценозом. Впервые идея коэволюции была высказана в 1886 году Ковалевским (1956), отметившим взаимообусловленность появления трав с развитой корневой системой, устойчивых к поеданию, и травоядных млекопитающих. Считается, что когерентность эволюции является тем самым механизмом, который предотвращает развал ценоза при каждом эволюционном изменении любого из его компонентов (Жерихин, 1986). И только в стрессовых ситуациях происходит некогерентная эволюция, когда популяционно-генетические механизмы, высвобождаясь из-под ценотического контроля, действительно становятся определяющими. По-видимому, роль таких стрессовых изменений и определялась глобальной климатической перестройкой, происшедшей в палеогене и неогене. Появление покрытосеменных растений вызвало некогерентную эволюцию, определившую возможность очень быстрых изменений, открытия новых экологических ниш и ликвидацию старых. Однако в дальнейшем происходило восстановление биоценотического контроля и коэволюция трав и травоядных. Палеонтологические находки позволяют восстановить картину коэволюции трав и травоядных в палеогене и неогене. Первые короткотравные растительные сообщества поя-

вились около 55 Ma (первые признаки 65 Ma). Параллельно с их эволюцией наблюдается эволюция травоядных млекопитающих, их приспособление к разнообразию травянистой растительности. Считается, что появление гипсодонтов связано с истирающим воздействием травяной пищи, а появление беговых млекопитающих - это приспособление к обитанию на открытых пространствах степей (прерий). Таким образом, подтверждается положение о том, что роль пускового механизма вызвало появление покрытосеменных растений. Согласно Жерихину (1994), травянистые биомы формировались независимо и в разное время в нескольких центрах (Южная Америка, Австралия, Северная Америка), отражая, тем не менее, глобальные климатические тренды. Первые травянистые луговые сообщества, представленные кочкарниковыми травами (осоки и др.) известны с позднего олигоцена (30 Ma). В олигоцене же появляются первые травоядные копытные. Первые свидетельства формирования злаковых биомов относятся к среднему эоцену Южной Америки, где впервые обнаруживаются палиноспектры с высоким содержанием пыльцы злаков. Позднее, в олигоцене и, особенно в позднем миоцене, формируется своеобразный комплекс пастбищных травоядных и крупных грызунов, развивавшийся в условиях изоляции до установления в плиоцене прямой сухопутной связи с Северной Америкой. На Восточно-Европейской равнине (район нижнего Дона) фиксируется возрастание доли трав в пыльцевых спектрах: до 25% во второй половине раннего миоцена, до 50% во второй половине среднего миоцена, и до 60-70% в конце позднего миоцена. В северном Причерноморье травянистые растительные сообщества распространились в период 9,0 – 6,8 Ma вследствие аридизации климата. Однако обособление зоны степей в этом регионе происходит в позднем миоцене (6 – 5,5 Ma, Изменение климата и ландшафтов..., 1999). Таким образом, появление степной зоны как нового компонента ландшафтной оболочки Земли носило глобальный характер. При этом различные компоненты травянистых экосистем появлялись в разное время (Retallack, 2004b).

В данной картине когерентной эволюции, восстановленной на основе палеонтологических находок, явно не хватает почвенной компоненты. Ведь целостностью обладает экосистема в целом, а не только биоценоз. Применение принципа когерентности требует рассмотрения стабилизирующей роли почв в биогеоценозе. В настоящее время роль почв в становлении и развитии травянистых экосистем хорошо установлена. Первые карбонатные палеопочвы с дерновыми горизонтами описаны в раннем миоцене (19 Ma) в районах с засушливым климатом. Глубина залегания карбонатов позволяет рассчитать, что годовое количество осадков не превышало 400 мм в год. В палеопочвах этого времени представлены следы как глубоких ствольных корней, аналогичных древесным, так и тонких извилистых корней, типичных для трав (Retallack, 2004b). Характер следов корней указывает на то, что почвы формировались под короткотравными

сообществами. Гумусовые горизонты имеют комковатую структуру. Существование открытых пространств подтверждается останками пастбищных млекопитающих. Однако, развитие почв с дерновыми горизонтами с зернистой структурой с глубокими карбонатными горизонтами за пределами засушливых районов связано с развитием высокотравных злаковых сообществ в позднем миоцене (7,2 Ма).

Поздний миоцен считается поворотной точкой глобального изменения климата на холодный, сухой, а в высоких широтах гляциальный. К этому времени приурочен и мессинский кризис (осушение Средиземного моря). Именно с поздним миоценом связан расцвет пастбищных млекопитающих, а также широкое распространение высокотравных злаковых прерий. Первые дерновые почвы под высокотравной травянистой растительностью, отвечающие критериям Моллисолей (по Soil Survey Staff, 1998) описаны в пойменных отложениях формации Rattlesnake (конгломераты и алевролиты риолит-дацитового состава) в Орегоне начиная с позднего миоцена (Retallack et al., 2002a). Их появление связано с направленным трендом аридизации. Так, в интервале 7,5-7,3 Ма на надпойменных террасах в условиях семигумидного климата (800–1000 мм осадков в год) формировались палеопочвы под луговой травянистой растительностью с разреженным древесным покровом. Влажные условия подтверждаются наличием в профиле глинистых кутан и признаков переувлажнения. Палеопочвы, формировавшиеся в отложениях возрастом 7,3-7,2 Ма фиксируют заметное изменение характера почвообразования. Эти почвы отличаются мощными дерновыми и карбонатными горизонтами с крупными нодулями (Calciudoll), формировавшимися в условиях семи-аридного климата (500-850 мм осадков в год). На травянистый характер растительности указывают обильные тонкие ризоконкреции, а также фитоциты. Гумусовые горизонты характеризуются зернистой структурой, типичной для почв, формирующихся под дерновыми злаками, содержат обильные копролиты. Смена характера почвообразования сопровождалась согласованными изменениями в останках млекопитающих (травоядные обитатели открытых пространств – лошади и носороги, а также травоядные гиппопотамы и пекари прибрежных местообитаний). В гумусовых горизонтах степных позднемиоценовых палеопочв Южной Америки сохранились фоссилизированные навозные шары, принадлежащие жукам-навозникам.

Таким образом, многочисленные исследования последних лет подтверждают идею В.О. Ковалевского, высказанную еще в XIX веке, о коэволюции трав и травоядных. Однако теперь мы можем показать, что в процессе коэволюции раскрывается и роль палеопочв. Дерновые горизонты являются продуктом воздействия корневой системы трав, в то же время они выступают как компонент необходимый для поддержания травянистой биомассы. Травяной покров, в отличие от древесного, не может аккумулировать в своей биомассе значительные запасы углерода. Для поддержания

устойчивости экосистемы травы накапливают углерод в мощных гумусовых горизонтах степных почв. Помимо этого, значительную долю запаса гумуса в степных почвах составляет фоссилизированный фонд углерода в глубоких горизонтах профиля (Глазовская, 2009). В современных черноземах его запасы в слое 0 - 200 см составляют до 20% от общих запасов органического углерода. Распределение фоссилизированного углерода в профиле коррелирует с распределением корневой массы и обусловлено отмиранием глубоко проникающих корней травянистой растительности. Таким образом, появление и распространение травянистых биомов является ярким примером коэволюции всех компонентов экосистемы: трав – травоядных – дерновых почв, а также других степных обитателей (жуков, змей, птиц, а также плотоядных и др.). Обосновывается положение о том, что распространение открытых пространств обусловило ускоренную эволюцию приматов (Retallack, 2002b). Палеопочвы черноземного облика, формировавшиеся под высокотравными прериями, описаны в широком географическом диапазоне (Великие равнины США, Аргентинская пампа, Индо-Гангская низменность), подтверждая глобальную экологическую перестройку, связанную с распространением травянистой растительности в семи-гумидных – семиаридных областях Земли (Retallack, 1997b). Дальнейшая аридизация отразилась в появлении высококарбонатных почв с маломощными гумусовыми горизонтами (mollic haplocalcid, по Soil Survey Staff, 1998), формировавшимся под сухостепной кочкарниковой травянистой растительностью с участием кустарничков при годовом количестве осадков 200-600 мм. Как уже отмечалось, эволюция травянистых экосистем проходила на фоне глобального процесса похолодания и аридизации. В свою очередь, широкое распространение травянистых биомов не могло не сказаться на изменении глобального теплового баланса (Retallack, 2004b). Именно травянистые экосистемы, обладающие большим альбедо и меньшей транспирацией рассматриваются, как биологический механизм глобального похолодания и аридизации в позднем миоцене. Кроме того, связывание углерода в профиле степных почвах должно было сказаться на снижении парникового эффекта.

*В начале плиоцена* практически завершается становление современного структурного плана Земли (Короновский с соавт., 2008). Это определило усиление климатических трендов, наметившихся в кайнозое: похолодание, аридизация и ландшафтная дифференциация. Сокращались размеры тропической области, и увеличивалась ширина умеренных поясов. Как и в целом в неогене, температуры высоких широт падали, а низких росли. В результате зональная структура суши все более приближалась к современной, и к плиоцену имелся полный набор природно-климатических зон – от полярной и тундровой до экваториальной. Обширные области занимают зоны степей, полупустынь и пустынь. Таким образом, к концу неогена произошла глобальная смена зональной структуры с термогиперзо-

нальной (господство лесной зоны) на полизональную (Изменение климата и ландшафтов, 1999). Эта смена сопровождалась усилением частоты и амплитуды климатическим ритмов (рис. 6). В плиоцене выделяются две климатические фазы: более теплая в раннем плиоцене, и холодная в позднем. В теплые фазы плиоцена теплообеспеченность возрастала и интервал 4,2 – 4,0 Ма рассматривается как климатический оптимум плиоцена (Изменение климата и ландшафтов, 1999). Среднегодовые температуры были гораздо выше современных значений вплоть до 70° с. п-ш.

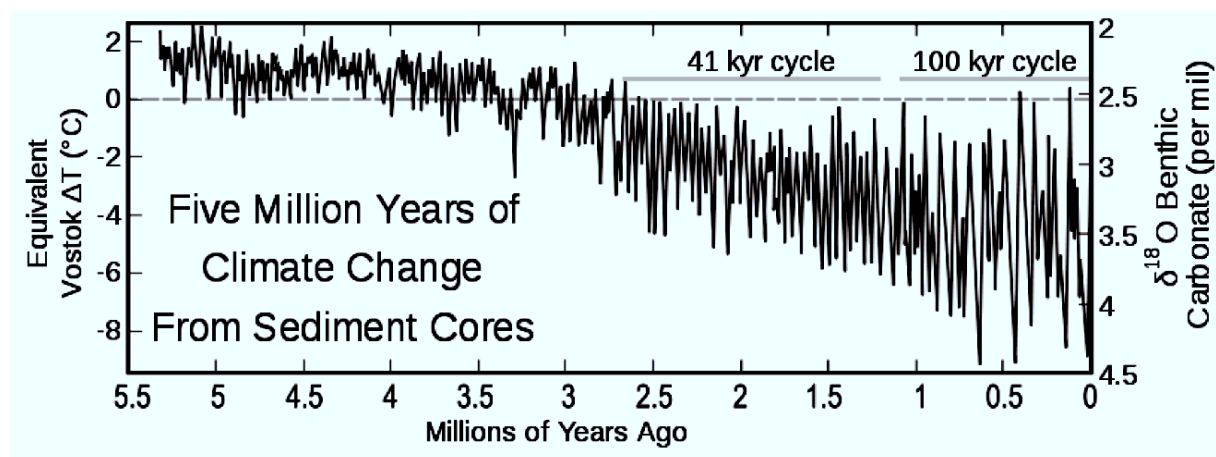


Рис. 6. Климатические тренды за последние 5 Ма по изотопному составу кислорода в бентосных фораминиферах (Zachos et al., 2001)

С теплыми фазами плиоцена в низких и умеренных широтах связано распространение субтропической растительности и формирование Плинтосолей (по World Reference Base, 2006). В провинции Сиена, центральная Италия, в отложениях конусов выноса, представленных серыми глинами и конгломератами, сформированы Плинтосоли с горизонтами плинтик (по World Reference Base, 2006, Costantini et al., 2009). Формирование горизонтов плинтик указывает на то, что почвы формировались в условиях влажного жаркого климата при температурах не ниже 20 °С и среднегодовом количестве осадков >1200 mm. Чередование горизонтов плинтик и петроплинтик подтверждает также сезонную контрастность климата и усиление аридизации. Наличие красноцветных кор выветривания указывает на существование субтропических условий и для центральных районов Русской равнины (Изменение климата и ландшафтов..., 1999).

В начале холодной фазы (начиная с 4 Ма) оледенение Антарктиды становится мощным покровом, Северный Ледовитый океан начинает покрываться льдами, развивается горное оледенение (в Исландии, на юге Анд). Поднимающиеся Гималаи перекрывают доступ летних муссонов к внутренним районам Азии, где усиливается аридизация, и возникают обширные пустыни. Полупустынные и пустынные условия распространяются и в южной половине Западной Сибири. В целом на равнинах Земли широко распространяются степные ландшафты.

Четвертичный период характеризуется дальнейшим усилением частоты и амплитуды климатических циклов. Динамика ландшафтной структуры на фоне продолжающегося снижения теплообеспеченности определяется пульсационным режимом (Изменение климата и ландшафтов..., 1999). Начиная с 1 Ма, этот режим все в большей степени обеспечивается ледниково-межледниковыми циклами продолжительностью 80-120 Ка (Varga, 2011). Осадочный чехол четвертичного времени имеет почти повсеместное распространение на суше. Это определяет широкое распространение разнообразных палеопочвенных архивов (в лёссово-палеопочвенных, тефра-палеопочвенных сериях, отложениях морских террас, толщах ледниковых, водноледниковых, аллювиальных и делювиальных отложений, и т.п.). Эволюция растительности сводится в основном к перераспределению типов. Экологические функции четвертичных палеопочв хорошо установлены как по современным биогеоценозам, так и на основе изучения и сопоставления различных наземных архивов, и не обсуждаются в данной главе.

### ***Основные этапы эволюции педосферы***

Итак, на основе проведенного обзора мы можем убедиться, что палеопочвы - это не экзотика в геологической летописи, и распространены очень широко. Еще шире распространены продукты их вовлечения в геологический круговорот (педолитосферу). Биогеохимическая запись, представленная в педолитосфере, позволяет воспроизвести практически непрерывную картину эволюции ландшафтной оболочки Земли. Это своего рода периодическая система, в клеточки которой предсказанным образом вкладываются находки вновь открываемых палеопочв. Почвообразование – постоянное звено геологического круговорота с самого начала геологической записи. Обитание (признаки жизни) и обитаемость (мелкоземистые субстраты) на суше возникли одновременно. Почвообразование – неизменное звено биосферно-геосферной системы с самого начала геологической записи. В процессе эволюции биосферно-геосферной системы растет многообразие типов климата, связанное со становлением современной суши, горообразованием и др. При этом увеличивается биологическая составляющая геологического круговорота и растет разнообразие форм жизни. Эволюция почв также связана с глобальной эволюцией географической оболочки, в процессе которой растет разнообразие типов почвообразования. Проведенный анализ показывает, что каждый генетический тип почв - это историческая категория, возникшая в определенный исторический этап. Педосфера эволюционировала по принципу аддитивной эволюции типов почвообразования (Заварзин, 2001). При этом возростала внутри типовая и пространственная диверсификация педосферы (Global Soil Change..., 1990). Значительное разнообразие палеопочв связано с докембрием (Retallack, 2001). Мощные профили докембрийских палеопочв позволяют

пересмотреть представления о функциональных возможностях древнейших сообществ микроорганизмов.

Отдельного рассмотрения требует вопрос о «вымерших» палеопочвах. Из палеонтологии хорошо известны вымершие формы жизни и «тупиковые» пути эволюции живых организмов. К.Д. Глинка еще в 1904 году указывал на возможность такого сочетания факторов почвообразования, которые отсутствуют в настоящее время (Глинка, 1904). Эти факторы могут приводить к формированию почв, не имеющих аналогов в современной педосфере. Можно, таким образом, говорить о «вымерших» палеопочвах, и о «вымерших» путях эволюции педосферы в целом (Targulian, Sedov, 2004). Retallack (2001) соглашаясь с принципиальной возможностью существования «вымерших» палеопочв, указывает, что на настоящий момент к ним определенно можно отнести только Зеленые Глины (Green Clays) палеопротерозоя, формировавшиеся при низком содержании в атмосфере кислорода. Но ведь и в палеонтологии, многие ископаемые организмы на ранних этапах их изучения относили к предкам их современных аналогов. И лишь дальнейшее более глубокое изучение позволило отделить тупиковые направления эволюции от прогрессивных. По аналогии с этим можно предположить, что более глубокое понимание путей эволюции позволит отделить палеопочвы, которые привели к формированию современных аналогов, от тех палеопочв, которые остались в стороне от дальнейшей эволюции современной педосферы. На основании имеющихся в настоящее время данных мы можем выделить ключевые этапы эволюции педосферы Земли:

- Формирование педосферы связано с наиболее древними признаками наземной жизни в раннем докембрии;
- Революционные изменения в характере биохимического выветривания и почвообразования связаны с кислородной катастрофой в палеопротерозое;
- Появление большого разнообразия почвенных типов связано с прокариотной биосферой докембрия;
- Следующий этап революционных изменений в эволюции педосферы связан с появлением растений с развитой корневой системой в девоне. С этим этапом связано появление развитой формы почвообразовательного процесса, сопровождавшейся глубоким проникновением корневой системы, вовлечением подземных вод в атмосферный гидрологический цикл, усилением биохимического выветривания, формированием гумусовых горизонтов на основе органо-минеральных взаимодействий и др.;
- Не менее принципиальные изменения в характере почвообразования в кайнозое связаны с появлением травянистой растительности.

Понимание общей направленности эволюции не дает, тем не менее, возможности реконструировать географические срезы для различных периодов, а также делать определенные заключения о том, когда была сфор-



мирована непрерывная педосфера. Невозможность реконструировать почвенные покровы определяется, прежде всего, спецификой сохранности палеопочв. Еще одно обстоятельство связано с тем, что палеопочвоведение – новый игрок на поле палеогеографических исследований, и долгое время палеопочвы игнорировались при изучении древних пород. Мы можем предположить, что большая часть остатков наземной биоты приурочена к уровням залегания палеопочв, однако дочетвертичные палеопочвы в основном описаны лишь в работах, опубликованных в последние годы.

### *Экзогенез и почвообразование*

Почвообразование является частью более общего процесса экзогенеза (гипергенеза). Последний понимается как взаимообусловленная система процессов выветривания, почвообразования, седиментогенеза, диагенеза и геохимической миграции веществ (Полынов, 1956; Соколов, 1997, 2004). Изучение палеопочв позволяет расширить наши представления о соответствии и взаимной обусловленности почвообразования и седиментации в сходных ландшафтных обстановках, а также о влиянии почвообразования на свойства гипергенной оболочки (экзосферы) в геологической истории Земли. Присутствие палеопочв в геологической летописи обусловлено совокупностью эндогенных и экзогенных факторов и означает перерыв в осадконакоплении и стабилизацию поверхности на относительно продолжительное время (Ruhe, 1965). Специфика палеопочвенной записи заключается в том, что в основном находки погребенных палеопочв связаны либо с геологическими несогласиями (*geological unconformities*), либо с циклами осадконакопления (*sedimentary sequences*, Веклич и др., 1979, Retallack, 2001), когда почвенные покровы, сформировавшиеся в периоды замедления осадконакопления, погребаются при последующем седиментационном цикле. Наличие и степень развития палеопочв определяются морфоструктурой той или иной области суши (Палеопедология, 1974). Так, в геосинклинальных областях на фоне денудации и врезания гидрографической сети почвенные покровы со зрелыми почвами либо не формируются, либо уничтожаются. Чаще всего палеопочвы приурочены к платформенным областям, особенно к областям опускания – седиментационным бассейнам. Чередование циклов осадконакопления и почвообразования тесно связано с эволюцией седиментационного бассейна и определяется динамикой тектонических движений. Скорость седиментации возрастает при погружении бассейна, эрозионные процессы преобладают при циклах поднятий. В результате в толще осадочных пород формируются ярусы погребенных почв. Амплитуды колебательных движений могут достигать нескольких километров. Даже субаэральные отложения, такие как эоловые пески и лёссово-почвенные серии, сохраняются преимущественно в пределах седиментационных бассейнов. Высокая доля гидроморфных почв в палеопочвенной записи, особенно дочетвертичного времени, определяется не

столько биоклиматическими условиями, сколько сохранностью в подчиненных позициях. Биогеохимическая запись во многом лишена этого ограничения в собственно палеопочвенной записи. Особое место занимают вулканические отложения - лавы и тефра. Их отложение определяется эндогенными процессами, а благодаря стадийному выпадению в их толщах могут быть представлены палеопочвы самого различного облика и степени сформированности. Цикличность вулканических выбросов обуславливает формирование тефра-палеопочвенных серий. Уникальность этих серий состоит в том, что они могут представлять запись о мезоморфном почвообразовании, чаще всего выпадающую вследствие денудации. Кроме того, вулканические отложения часто бронируют различные почвенно-седиментологические серии, обеспечивая их сохранность. Маркирующие вулканические отложения, как правило, являются стратиграфическим репером, позволяющим коррелировать осадки и почвы на обширных пространствах.

Рассмотрение материалов по палеопочвам показывает, что подавляющее большинство их находок в дочетвертичных разрезах связано с комплексом флювиальных отложений (речных, озерных, дельтовых, эстуариев и пр.). В этом смысле палеопочвоведение – это в значительной степени наука о флювиальных палеопочвах. Во всем диапазоне природных обстановок именно во флювиальных системах представлена наиболее детальная палеопочвенная запись. Конечно, почвы долин могут значительно отличаться от почв водоразделов. Однако, и в долинных комплексах (на высоких террасах) могут быть представлены зрелые почвы, хорошо отражающие палео-ландшафтную обстановку.

Изучение палеопочв выявляет четкую связь между характером и степенью развитости палеопочв и характером флювиальных отложений. В рассмотренных нами многочисленных примерах к грубозернистым русловым фациям и отложениям низкой поймы, как правило, приурочены слабо развитые профили. А к отложениям высокой поймы и старичных понижений приурочены почвы с развитым профилем. При этом часто наблюдается корреляция между степенью развитости и степенью дренированности профиля (Mack, 1992; Retallack, 1983; Kraus, Gwinn, 1997; Kraus, 2002; Wanas, Abu El-Hassan, 2006). Таким образом, почвообразование согласуется с седиментационными обстановками. В палеогеографических исследованиях палеопочвы следует рассматривать совместно с седиментационными архивами. Именно во взаимоотношении с характером седиментации реализуются различные модели почвообразования и формируются кумулятивные, срезанные, составные профили и педокомплексы (Paleopedology Glossary, 1997). В пределах седиментационного бассейна наблюдается когерентная изменчивость почвообразования и модели седиментации. Так, позднемиоценовые почвенно-эолово-аллювиальные серии бассейна Вауги, Бразилия, рассмотренные выше, подтверждают когерентную изменчивость

фаций в зависимости от климатической обстановки. В этих осадочных толщах палеопочвы и аллювиальные фации фиксируют относительно гумидные циклы. При этом зрелые палеопочвы фиксируют и наиболее стабильные поверхности. И наконец, суглинистые профили палеопочв, оказывают стабилизирующее влияние на поверхность в аридные циклы, сопровождавшиеся эоловыми процессами.

Экзогенез проявляется и в согласованной реакции характера почвообразования и седиментации на климатические тренды. Это соответствие обусловлено климатической сенсорностью не только почв, но и осадков. Например, гумидному/аридному типу седиментации соответствует гумидный/аридный тип почвообразования; кроме того, почвы и осадки смешиваются в повторяющихся циклах почвообразования, эрозии и седиментации. Основные архивы палеопочв – флювиальные системы, морские террасы, эстуарии, циклотемы, лёссово-почвенные серии и др., обладают высокой климатической сенсорностью (по Соколову, 1976).

В древних флювиальных системах когерентная реакция характера почвообразования и флювиальной архитектуры (строения речных долин) на климатические тренды проявляется особенно ярко (Retallack, 2002). В рассмотренных выше верхнемеловых-нижнепалеогеновых почвах формации Maghra El-Bahari в Египте реконструкция палеоландшафтной обстановки основывается на соответствии палеопочвенных, и седиментационных признаков, которые взаимно дополняют друг друга (Wanas, Abu El-Hassan, 2006). Например, наличие сликенсаидов в палеопочвах с одной стороны и трещин усыхания в перекрывающих их флювиальных и озерных осадках с другой согласованно свидетельствуют о наличии климатических условий с засушливыми сезонами. Наличие Кальцисолей (по Mack et al., 1993) в озерных фациях согласуется с обилием карбонатов в эвапоритах и указывает на аридные циклы (Alonso-Zarza et al., 1992). Таким образом, седиментацию и почвообразование следует рассматривать как единый взаимосвязанный процесс, определяемый как тектоникой, так и климатом.

Когерентная изменчивость палеопочв и осадочных пород в пределах седиментационного бассейна как реакция на климатические тренды, их взаимное смешивание в циклах эрозии и переотложения обуславливает формирование продуктов с высокой климатической сенсорностью. Наряду с палеопочвами, к числу наиболее ярких индикаторов палеоклиматической обстановки относятся эвапориты, бокситы, латериты, каолинитовые глины, каменные угли, ледовые отложения и пр. Высокой сенсорностью обладают и эоловые отложения. Так, циклы накопления эоловых песков согласуются с формированием аридных почв. В лёссово-палеопочвенных сериях горизонты лёссов указывают на аридные и/или ледниковые периоды в ледниково-межледниковых циклах. Осадочные породы, палеопочвы и продукты их переотложения представляют собой взаимодополняющие архивы. Так же как и по биогеохимическим индикаторам, мы можем даже предска-

вать свойства неоткрытых палеопочв по седиментационным обстановкам того или иного геологического периода.

Изучение педолитосферы как объекта палеопочвоведения показывает, что субстратом для почвообразования в подавляющем большинстве случаев являются породы, прошедшие (иногда многократно) через биосферные циклы в процессе экзогенеза. Большая часть осадочных и метаморфических пород является продуктами ресайклинга. Так, отложения ледниковой формации (морены, водноледниковые и озерно-ледниковые отложения), а также лёссы, являются продуктами ресайклинга в ледниково-межледниковых циклах (van Loon, 2006). Ресайклинг обуславливает то, что почвообразование утилизирует продукты предшествующих биосферно-геосферных циклов. Соответственно многие особенности состава и свойств почв на осадочных и метаморфических породах являются унаследованными от былых биосфер. Например, глинисто-пылеватые фракции в значительной степени унаследованы от биосфер прошлого. На протяжении геологической истории экзогенез приводит к расширению мелкоземистой базы почвообразования. В геологической истории абсолютно преобладали теплые биосферы. Периоды с холодными биосферами составляют около 4% от продолжительности фанерозоя (Чумаков, 2001). Субстратами для почвообразования являются в основном продукты, прошедшие через древнее тропическое лесное почвообразование (Ковда, 1973). В целом холодные биосферы в основном утилизируют мелкозем теплых биосфер. Четвертичное почвообразование реализуется в обстановке холодной биосферы кайнозоя и в значительной степени на продуктах теплых дочетвертичных биосфер прошедших многократное переотложение в процессе экзогенеза.

Роль ресайклинга ярко проявляется в формировании красноцветных отложений, широко распространенных в различных обстановках фанерозоя как в областях аридной и семиаридной, так и гумидной седиментации. Это часто ставит исследователей в тупик и приводит их к выводу о невозможности использования красноцветов в качестве палеоландшафтного индикатора (Sheldon, 2005). Наибольшая сложность диагностики красноцветов связана тем, что в геологической летописи они чаще всего представлены переотложенными продуктами (Макеев, 2012). Примером этого являются рассмотренные выше верхнепермские педокомплексы востока Московской синеклизы. Красноцветные толщи, сформированы в озерно-аллювиальных толщах в пределах обширного седиментационного бассейна. Красная окраска горизонтов почвенного профиля не связана с почвообразованием и диагенезом – почвообразующие породы были исходно красноцветные, и представляли собой переотложенные продукты разрушения кор выветривания. В процессе почвообразования произошла трансформация исходной окраски под воздействием оглеения. Таким образом, инситные красноцветные коры выветривания являются индикаторами климатических условий на месте их образования, а переотложенные отложения ха-

рактируют ландшафтные условия их переотложения и эпигенетического преобразования. Аналогичным образом объясняется и широкое распространение красноцветных отложений в современных пустынных областях (пустыни США, Аризона, и Австралии). Их красный цвет связан с тем, что это продукты переотложения красноцветных триасовых и миоценовых палеопочв и кор выветривания, сформированных в условиях влажного тропического климата.

Итак, почвообразование в геологической истории реализуется в рамках единого процесса – экзогенеза, включающего взаимообусловленную систему процессов выветривания, почвообразования, седиментогенеза, диагенеза и геохимической миграции веществ. Участие продуктов почвообразования в биогеосферных циклах (ресайклинг) определяет планетарную роль почвообразования, заключающуюся в преобразовании состава верхних слоев литосферы и образовании новых минералов, изменении дисперсности, остаточной или аккумулятивной концентрацией элементов. Форма накопления химических элементов - почвенно-поглощающий комплекс – является в основном результатом почвообразования (Соколов, 1997). Основные компоненты почвенного поглощающего комплекса - гумус и глинистые минералы – это, в основном, продукты внутрпочвенного выветривания. В системе биогеосферных циклов почвы являются связующим звеном между биологическим и геологическим круговоротами. Экзогенез определяет взаимную обусловленность свойств почв и осадочных пород, а также расширение мелкоземистой базы почвообразования на протяжении геологической истории.

### ***Палеопочвы как архив палеогеографической информации***

По образному выражению Г.А. Заварзина эволюция педосферы – это информационный процесс записи информации о былых ландшафтных оболочках (Заварзин, 2003). Ценность палеопочв как палеогеографического архива определяется их способностью аккумулировать в себе запись о многочисленных параметрах природной среды, в том числе и в изменившихся ландшафтных условиях. Эту способность принято называть почвенной памятью. По своей сути, понятие почвенная память – это эволюция крылатого Докучаевского выражения: «Почва – зеркало ландшафта». При работе с палеопочвами в ряду меняющихся ландшафтных обстановок на первый план выступает другая сторона способности почв отражать существующие ландшафтные условия: «Почва – память ландшафта». Основу памяти составляет практически весь набор известных почвенных свойств, поскольку все они формировались под воздействием ландшафтных условий. Это набор генетических почвенных горизонтов, гранулометрический, минералогический и валовой химический состав, цвет, структура на разных уровнях организации, новообразования и т.д. В настоящее время учение о почвенной памяти хорошо разработано, что избавляет нас от задачи

проводить подробный анализ свойств палеопочв как палеоландшафтных индикаторов (Таргульян, 2008). Большинство свойств используется для качественной оценки ландшафтных условий. Например, наличие кутан в Вертисолях указывает на преобладание гумидных циклов (Wanas, Abu El-Hassan, 2006; Mack, 1992; Nordt et al., 2006; Demko et al., 2004). Наличие карбонатных конкреций служит индикатором аридных-семиаридных условий (Retallack, 1983; Gustavson, 1991; Mack, 1992; Lee et al., 2003).

Однако, при комплексных палеогеографических реконструкциях перед палеопочвоведением часто ставятся задачи определить конкретные количественные параметры. Количественные показатели активно развиваются, и число их постоянно растет (Sheldon, Tabor, 2009). Мы рассмотрели целый ряд примеров использования количественных показателей для оценки ландшафтных условий от докембрия до кайнозоя. Это среднегодовые количества осадков и температуры (MAP и MAT), содержание кислорода и углекислого газа в атмосфере ( $pCO_2$ ) (Mack, 1992; Alonso Zarza et al., 1992; Driese, Mora, 2002). Эти количественные индикаторы основываются на сопоставлении палеопочв с современными аналогами. Ранее, при описании педосферы мелового периода мы указывали, что изучение почв позволяет выявить количественные параметры гидрологического цикла и показать его значительную роль в выравнивании температурного градиента от экватора к полюсам. Понимание гидрологического цикла теплых биосфер, формирующегося при высоких концентрациях  $CO_2$  в атмосфере, имеет большое значение не только для палеогеографических реконструкций, но и для построения сценариев глобальных изменений климата. Дело в том, что уже достигнутый в настоящее время уровень концентрации  $CO_2$  превышает таковой в термические максимумы как голоцена, так и плейстоцена (Ruddiman, 2005). По этому параметру аналогом могут служить только теплые биосферы дочетвертичного времени.

Расширяющиеся задачи палеогеографических реконструкций приводят к пониманию особенностей записи информации в различных архивах. Данные по палеопочвам пока заметно уступают другим палеогеографическим архивам, в том числе и наземным. Так, для различных периодов представлены достаточно подробные карты седиментационных обстановок (например, для всех веков мела), реконструкции растительности. Многие архивы неразрывно связаны с палеопочвами. Среди других палеогеографических архивов палеопочвы обладают одним из самых высоких пространственных разрешений (Targulian, Sedov, 2004), что связано с формированием почв *in situ*. В тоже время палеопочвы обладают относительно низким временным разрешением – процессы почвообразования накладываются на одну и ту же толщу. Происходит наложение, маскировка, стирание предшествующих свойств. Таргульян и Седов указывают и на преимущество низкого разрешения – в почвенном профиле записываются основные тренды, снимаются случайные отклонения.

В этой связи интересно сопоставить особенности почвенных и породных архивов. Считается, что в своих центральных идеальных образах почвы и породы представляют собой диаметрально противоположные экзогенные образования (Иноземцев, Таргульян, 2010). У почв в идеале инситный характер записи, накладывающийся на один и тот же объем, а у пород – аллохтонный, так как записывается информация обо всей области мобилизации осадочного материала. Однако, как показано выше, почвообразование и седиментогенез в биосферных циклах эволюционируют согласованно, в рамках единого для педолитосферы процесса экзогенеза. При палеогеографических реконструкциях их следует рассматривать как два взаимно дополняющих способа записи информации о внешней среде. И в почвах и в осадочных породах сложно сочетаются как аллохтонная, так и инситная модели записи информации. Так, свойства осадочных пород могут быть обусловлены инситными процессами (диагенез, гидротермальное воздействие и пр.), а инситная почвенная запись сохраняется не только собственно в почвах, но и в продуктах их переотложения и вовлечения в геологический круговорот. Поэтому палеопочвенная запись представлена не только собственно в палеопочвах (инситных биокосных образованиях), но и в других компонентах педолитосферы (педолитах, инситных и перемещенных корах выветривания, терригенных осадочных, а часто и метаморфических породах, и пр.).

С этой точки зрения память осадочных пород действительно обладает сложной природой, в которой сочетаются оба способа записи информации: аллохтонный (о материале-источнике, механизмах мобилизации осадка, способах и дальности транспорта, условиях отложения) и инситный, сохраняющий информацию о предшествующем седиментации этапе почвообразовании. Иными словами, значительную долю в породной памяти составляет память почвенная. Картина будет раскрыта во всей присущей ей полноте, если мы добавим к этому, что осадочные породы в основном являются продуктами неоднократных циклов осадконакопления, сочетающегося с почвообразованием и эрозией. Таким образом, почвообразование вносит значительный вклад в формирование климатосенсорности осадочных пород. Иллюстрацией к сказанному служат рассмотренные ранее материалы по верхнепермским красноцветным алевролитам Московской синеклизы, которые сохранили инситную запись о предшествующем переотложению цикле почвообразования/выветривания.

К сожалению, палеопочвы до сих пор недостаточно используются для палеогеографических реконструкций, основу которых составляет палеонтологическая запись. Однако почвы и биота неотделимы друг от друга в эволюции географической оболочки. Палеопочвы представляют собой законсервированную среду обитания для большинства наземных ископаемых организмов. В палеопочве представлена ископаемая экосистема в целом, с самым разнообразным набором сохранившихся параметров включая

разнообразные функциональные связи, причем на качественном и количественном уровне.

Почвы и биота обладают различной способностью записывать информацию о прошлых природных обстановках. Если почвенная память отличается низким временным и высоким пространственным разрешением, то для палеобиоты характерно высокое временное и низкое пространственное разрешение. При сопоставлении палеопочвенной и палеонтологической записи мы должны осознавать, что и той и другой присуща принципиальная неполнота. Специфика сохранности палеопочв определяет их приуроченность к седиментационным бассейнам. Следует заметить, что и палеонтологические остатки также сохраняются преимущественно в областях седиментации. Скажем, карбон считался временем влажного климата на основе присутствия залежей углей, в то время как растительность и почвы за пределами седиментационных бассейнов были уничтожены. Помимо этого, сохранность палеонтологических остатков имеет и дополнительные ограничения. В геологической летописи не сохраняются мягкотелые организмы. В большинстве случаев в окаменелости попадают высокоминерализованные части тела, имеющие высокую долю кремния, карбоната кальция, или фосфата кальция. Массовые остатки биоты встречаются, начиная с кембрия. Не случайно ранние этапы эволюции Земли называют криптозоом. Эволюция докембрийской биосферы основывается, по сути, на изучении палеопедолитосферы (профилей древнейших палеопочв и продуктов их переотложения и вовлечения в геологический круговорот) с помощью методов бактериальной палеонтологии.

Итак, изучение палеобиоты невозможно без изучения палеопочв. Дело еще и в том, что почвы формируются продолжительное время ( $10^3 - 10^7$  лет) и представляют главные эпизоды стабилизации земной поверхности – перерывы в осадконакоплении и денудации. В геологических толщах палеопочвы и палеонтологические объекты чаще всего пространственно совпадают, за исключением тех случаев, когда растительные или животные остатки залегают не *in situ*. С точки зрения учения об экологических функциях почв (Добровольский, Никитин, 2006; Добровольский, 2006), среди многочисленных физических, химических и биологических функций, осуществляемых почвой, для палеонтологии особенный интерес представляет функция сохранения памяти о палеоландшафтных условиях, реализуемая в палеопочвенных архивах.

Современные подходы к палеогеографическим реконструкциям по палеопочвенным записям включают в себя разносторонний комплекс палеонтологических, палеопочвенных и геологических параметров. Палеонтологические показатели включают в себя состав пыльцевых спектров, фитолитов, альканы и липиды и их изотопные составы, растительные и животные остатки (включая насекомых, диатомовых водорослей, цианобактерий, и т.п), угли, раковины моллюсков и т.д. Геологический анализ



включает геоморфологические и стратиграфические параметры, анализ эволюции седиментационного бассейна, изучение архитектуры речных долин, динамики береговых линий и пр. Палеопочвенные показатели включают морфологическое строение (включая микростроение и данные электронной микроскопии); следы и глубину проникновения корней и землероев; химические свойства почвенных горизонтов и состав органического вещества; изотопные соотношения углерода и азота; состав первичных и вторичных минералов; магнитные характеристики и изотопный состав почвенных карбонатов; содержание изотопа  $^{10}\text{Be}$  (для регистрации эрозионных циклов), соотношение изотопов свинца и стронция (для оценки степени выветривания) и т.п.

Каждый из перечисленных показателей не дает возможности точно определить палеоклиматические характеристики и может дать лишь представление о диапазоне палеоландшафтных параметров, часто достаточно широком. Так, характер и степень развития почвенного профиля позволяет судить о характере водного и температурного режимов, длительности почвообразования и других ландшафтных параметрах. Признаки литологического перерыва позволяют оценить степень геоморфологической стабильности, наличие водной, ветровой эрозии, склоновых процессов, солифлюкции и т.д. Спектры пыльцы, спор, углей, фитоцитов, наземных моллюсков, жуков и т.п. отражают палеоландшафтные условия. Использование возможно более полного комплекса палеонтологических и палеопочвенных показателей позволяет сузить диапазон реконструируемых палеоландшафтных параметров.

Как видим, палеопочвенные и палеонтологические архивы существенно дополняют друг друга. Однако информация, получаемая от палеопочв, может быть независима от палеонтологической записи и часто встречается там, где палеонтологическая запись отсутствует. Часто палеопочвы являются единственным источником палеоландшафтной информации. Так, представление о наземных биосферах докембрия можно получить только на основании палеопочвенных архивов. Именно в педолитосфере содержатся наиболее определенные свидетельства кислородного взрыва в палеопротерозое, ясно выявляется динамика содержания  $\text{CO}_2$  в атмосфере. Без анализа палеопочв невозможно оценивать причины биосферных кризисов и пр.

Мы рассмотрели ряд примеров, показывающих, что изучение палеопочв является источником информации о биоте в условиях, когда палеонтологические остатки не сохранились. Так, наиболее раннее свидетельство тропических дождевых лесов в карбоне получено по палеопочвам. Исследования верхнепермских палеопочв Московской синеклизы прекрасно дополняют описанные в литературе возможности использования палеопочв для реконструкции растительности даже при отсутствии остатков биоты (Иноземцев, Таргульян, 2010). Тем не менее, на основе почвенных

свойств удастся получить достаточно полную характеристику биоценоза. В силу того, что в большей части профилей гумусовые горизонты отсутствуют, а органическое вещество подверглось диагенетической минерализации, определить биологическую активность по этим наиболее прямым признакам оказывается сложно. Однако интенсивное участие биоты диагностируется по целой совокупности признаков. Это следы корневых систем, гумусовые горизонты, железистые новообразования бактериального происхождения, углистые остатки, замещения растительных тканей, фитолиты и пр. Наличие железистых новообразований и марганцевых микростяжений микробной природы позволяет выявить высокий уровень микробной активности. Плотность растительного покрова и освоение поверхности растениями с развитой корневой системой определяется по наличию и частоте встречаемости глеевых прикорневых трубок - наиболее яркому морфологическому признаку изученных почв. Эти трубки сформировались вокруг корневых систем растений и повторяют их строение. Трубки позволили определить глубину проникновения развитой корневой системы на 50-100 см. Они также являются показателем внутригоризонтного оглеения, в них особенно ярко проявляется стадийность новообразований.

Особо следует провести сопоставление различных палеогеографических архивов в четвертичных отложениях. Наличие разнообразных палеогеографических архивов дает возможность сравнивать их между собой с точки зрения возможностей палеогеографических реконструкций. Каждый из архивов отличается различными пространственными и временными разрешениями:

– Водные архивы содержат наиболее полную запись, и обладают наиболее полным разрешением. Среди водных архивов выделяются глубоководные океанические осадки, позволяющие оценить температуру поверхности океана на протяжении последних 2,5 млн. лет. Причем, данные по глубоководным осадкам легко коррелировать между собой. Прекрасным разрешением обладают и слоистые озерные осадки (ленточные глины и т.п.).

– Ледниковые толщи (Антарктида, Гренландия и др.) также служат одним из наиболее ярких реперов для палеогеографических реконструкций.

– Наземные (terrestrial) архивы выделяются меньшей полнотой и непрерывностью и лишь в отдельных случаях приближаются к водным и ледниковым записям по полноте палеогеографической записи. Это, прежде всего лёссово-палеопочвенные серии. Лёссовые толщи Китая и Таджикистана позволяют проводить палеогеографические реконструкции на протяжении последних 2,4 млн. лет. Важную информацию позволяют получить толщи ледниковых отложений (морены и межморенные осадки и почвы). Песчаные дюны меньше пригодны для межрегиональных корреляций. Однако они ценны как индикаторы аридных циклов. Почвенно-

тефрохронологические серии могут быть достаточно полными, но они раскрывают картину палеогеографических изменений лишь на региональном уровне. Их ценность заключается, однако в том, что они представлены в геосинклинальных областях по периферии материков, там, где лессовые покровы отсутствуют. Еще меньше возможности для корреляций предоставляют аллювиальные серии и озерные отложения, однако на местном уровне они могут выделяться очень высоким разрешением и существенно дополнять представления о динамике ландшафтной обстановки. Важную информацию может содержать и изучение отложений, связанных с динамикой береговых линий - морских террас. Отложения речных террас и дельт широко распространены, прежде всего, в семиаридных областях. Эволюция флювиальных систем не всегда определяется изменением климата и отражает ритмические колебания, связанные с тектонической активностью. Делювиальные шлейфы характеризуют резкие и катастрофические события на локальном уровне, такие как засухи, пожары и т.п. В последнее время формирование этих архивов все больше связывается с климатическими ритмами (Terhorst et al., 2009). Эти отложения широко представлены в регионах с переменным-влажным климатом (субтропики, Средиземноморье). Прослойки каменного угля, погребенные водными осадками – один из основных источников палеогеографической информации древних эпох. Циклы повышения аридности приводят к формированию в составе циклотем разнообразных палеопочв. Археологические объекты содержат палеопочвы и педоседименты, представляющие большую ценность для характеристики ландшафтных изменений в короткие периоды.

Как видим, каждый из перечисленных архивов обладает своими особенностями и степенью пространственно-временного разрешения. Наземные архивы уступают водным по непрерывности записи и по ее временному разрешению. Однако последние предоставляют гораздо более полный набор параметров для реконструкции былых природных обстановок. Основу записей в наземных архивах составляют прежде всего палеопочвы. При работе с разнообразными наземными четвертичными архивами мы часто имеем возможность повышать временное разрешение. Например, дополнять лёссово-палеопочвенные серии аллювиальными. Наиболее полные лёссовые разрезы часто также связаны с отложениями погребенных балок, термокарстовых понижений и пр. (Сычева, 2004; Antoine, 2009).

Итак, палеопочвы представляют собой важнейший палеогеографический архив с присущими ему пространственными и временными разрешениями.

### ***Эволюция педосферы в контексте экосистемной теории эволюции***

Во все периоды геологической истории почвы являлись не только средой обитания и жизнедеятельности подавляющего большинства назем-

ных организмов, но и полифункциональной природной системой, обеспечивающей совместно с процессом фотосинтеза циклический характер воспроизводства жизни на Земле. Экологическая роль почв была очевидна с самого начала становления почвоведения как науки. В последнее время представление об экологических функциях почв получило дальнейшее развитие (Добровольский, Никитин, 2006). Мы постарались рассмотреть проявление экологических функций палеопочв на фоне биологической эволюции. В свете современных научных представлений развиваемых отечественными учеными с XIX века биологическая эволюция происходит путем изменения и развития не отдельных видов, а их сообществ и более того в виде эволюции экосистем (коэволюции). Экосистема определяет граничные рамки эволюции отдельных компонентов биоценоза (когерентная эволюция, или эволюция биоценозов, Жерихин, 1986). Именно эволюцию экосистем Заварзин (1995) назвал новой парадигмой современного естествознания. Экология палеопочв также раскрывается с позиций экосистемной теории эволюции (Ковалевский, 1956; Красилов, 1980; Разумовский, 1981), поскольку почвы играют ключевую роль в биогеоценозе. На протяжении геологической истории, а особенно в фанерозое, наблюдается сопряженная эволюция наземной биоты и палеопочв. Экологическая роль палеопочв проявляется во всех наиболее значимых событиях в эволюции ландшафтной оболочки, почвы также определяли изменение ряда глобальных биогеосферных циклов. Яркими примерами коэволюции «Жизни и Почв», по Retallack (2007) являются: завоевание суши высшими растениями, определившее глубокое проникновение корневой системы и формирование гумусовых горизонтов; формирование травянистых биомов как экосистем нового типа, с дерновыми почвами, уникальным углеродным пулом, водным балансом и альбедо и др.

Однако коэволюция почв и биоты сводится не только к когерентной изменчивости под воздействием условий среды. С точки зрения биологической эволюции почвы представляют собой как бы внешний фенотип сложного строения, являющийся и продуктом, и показателем этой эволюции (Phillips, 2009). Коэволюция включает в себя как воздействие биоты на окружающую среду, так и воздействие ландшафтных условий на биоту. Причем, в обоих случаях включается процесс селективного отбора и эволюции (экосистемное моделирование и создание экологических ниш, Jones et al., 1997; Odling-Smee et al., 1996). Совокупным выражением селективного отбора являются наиболее благоприятные для биоты свойства земной коры: мелкоземистый состав, структура, гумусовые горизонты и другие (van Breemen, 1993).

В последнее время представление о роли коэволюции почв и биоты заметно расширяется и охватывает и другие компоненты экосистем (Retallack, 2007). В несколько вольном стиле описывается ряд событий, в которых проявлялась ключевая роль палеопочв: «признаки участия биоты

в коэволюционном взаимодействии различных сфер, прежде всего педосферы и биосферы, обнаруживаются в формировании на Земле невоспламеняемой атмосферы, жидкой воды, сфероидного выветривания, гранитных пород, выпуклых склонов, карбонатных и глинистых горизонтов почв, черноземных профилей и цивилизаций». Вспомним, что продуктами былых биосфер называли граниты и некоторые отечественные ученые (Вернадский, 1960; Gerasimov, 1971). Несмотря на столь широкие заключения, несколько выходящие за рамки строго научного анализа, многие положения, раскрывающие масштабную роль коэволюции, находят подтверждение в исследованиях последних лет. Мы, по-видимому, до сих пор недооцениваем роль почв в геологической истории Земли. В.И. Вернадский еще в 1927 г. в своей «Биосфере» написал, что «...значение почв в истории планеты гораздо больше, чем это обычно кажется» (Вернадский, 1960, стр. 97). По данным В.И. Вернадского (1965), А.Е. Ферсмана (1937) и других исследователей кларки содержания большинства химических элементов в «живом веществе» наиболее близки к кларкам тех же элементов в почвах и далеки от них в горных породах, мировом океане и атмосфере. Тонкодисперсное вещество, прежде всего глинистые минералы, рассматриваются как продукт почвообразования. В процессе эволюции педосферы происходит расширение мелкоземистой базы почвообразования благодаря многократным биосферно-геосферным циклам (ресайклинг глинисто-пылеватых частиц). Избирательное накопление тонкодисперсного вещества в педолитосфере определяется его большей эрозионной устойчивостью по сравнению с грубодисперсными фракциями. В этом избирательном накоплении сказывается роль почвенной биоты, под воздействием которой мелкозем организован в структурные элементы (биогенная структура).

В разделе о палеопочвах девона мы привели результаты изучения массового материала по отложениям древних речных долин в различных районах Северной Америки и Европы. От кембрия до верхнего девона установлен согласованный тренд изменения аллювиальных отложений и архитектуры речных долин (Davies & Gibling, 2010, 2011). Именно формирование мощных профилей почв, скрепленных глубокопроникающей корневой системой, и обогащенных глинистым веществом изменило характер эрозионных процессов и архитектуру речных долин в девоне. Эти изменения были вызваны появлением высших растений на суше, однако они же явились и базой для дальнейшего завоевания суши разнообразными формами животных и растительных организмов. Формирование педосферы современного типа в среднем палеозое определило изменение атмосферно-гидрологического цикла. С завоеванием суши высшими растениями связано изменение характера эоловых процессов, что можно проследить по изменению степени окатанности пылеватых частиц в дочетвертичных лёссовых отложениях от верхнего протерозоя до верхнего палеозоя. Пермокарбоновые лёссы по характеру окатанности пылеватых частиц уже не от-

личаются от позднекайнозойских. Итак, коэволюция включает и взаимное влияние наземной биоты, почв и геоморфологических процессов.

Таким образом, почвы являются совокупным выражением воздействия биосферы на геосферу. Применение теории коэволюции позволяет проводить комплексный палеоэкосистемный анализ на основе биологических, экологических и седиментационных характеристик, отражающий одновременно эволюцию биосферы и педосферы и ландшафтной оболочки в целом. В настоящее время палеоэкосистемный анализ может дать только приближенное представление об экосистемах прошлого на основе лишь отдельных следов ее существования. Тем не менее, понимание экосистемных связей позволяет в значительной мере восполнять недостающие звенья в геологической летописи. Например, палеоландшафтная реконструкция, основанная на почвенно-литологических данных, позволяет реконструировать даже не сохранившиеся компоненты биоценоза. Запись об эволюции экосистем в значительной степени представлена в педолитосфере, в которой палеонтологическая, палеопочвенная и седиментационная записи дополняют друг друга. Поскольку экологические функции палеопочв проявляются на фоне биологической эволюции, мы можем говорить о новой отрасли знаний – *учении об экологии палеопочв*.

### ***Палеопочвы и стратиграфия***

Стратиграфия и корреляция отложений представляет собой одну из ключевых задач геологии. Известно, что геология приобрела статус науки с возникновением стратиграфии с ее концепцией геоисторизма. Поэтому совершенствование подходов и методов стратиграфии являются актуальными для геологической науки в целом. Уже на самых начальных этапах ископаемые остатки использовались для разделения и корреляции геологических слоев. В основу стратиграфии была положена эволюция биоты. В настоящее время стратиграфия претерпевает качественные изменения за счет расширения числа подходов и методов расчленения и корреляции отложений. Широко используются литостратиграфический, седиментационно-циклостратиграфический, магнитостратиграфический, геохимический и другие методы (Гладенков. 2004). По-прежнему наиболее важным методом остается биостратиграфия, поскольку в ее основе лежит необратимость развития органического мира, а часто и широкое распространение палеосообществ. Кроме того, биота является самым чутким элементом экосистем, и именно она, прежде всего, фиксирует те или иные абиотические изменения. Наряду с выделением крупных стратиграфических подразделений, чувствительность биомаркеров (высокое временное разрешение палеонтологической записи) позволяет использовать их и для выделения микростратиграфических единиц.

Необратимость эволюции в настоящее время очевидна и для педосферы, поэтому и палеопочвенная запись должна занять важнейшее место

в стратиграфии (Global Soil Change..., 1990; Retallack, 2001). Ключевая роль палеопочв в стратиграфическом разделении и корреляции пород основывается на том, что формирование палеопочв связано с перерывами в осадконакоплении. Однако роль палеопочв как стратиграфического репера долгое время недооценивалось в геологии. Как показано в предыдущем разделе, палеопочвенная и палеонтологическая записи прекрасно дополняют друг друга, притом, что как одной, так и другой записи присуща принципиальная неполнота. В геологической летописи остатки биоты часто сохраняются при отсутствии палеопочв. Но широко распространены случаи, когда остатки биоты не сохранились, и стратиграфическими маркерами выступают палеопочвы, которые могут содержать достаточно полную информацию о древних экосистемах.

Накопление систематических данных с использованием методов датирования и осознание значимости палеопочв как палеогеографического архива, привело к становлению педостратиграфического метода. Палеопочвы позволяют различать отложения различного возраста и играют ключевую роль для секвентной стратиграфии. Исследования палеопочв одного стратиграфического положения и их региональные и межрегиональные корреляции привели к разработке одного из фундаментальных понятий палеопочвоведения – Геосоли. Геосоли характеризуется выдержанной стратиграфической приуроченностью и протяженностью в пространстве (Paleopedology Glossary, 1997). В настоящее время геосоли широко используются для межрегиональных корреляций горизонтов плейстоценовых лёссово-почвенных серий (Bronger, 2003; Палеоклиматы и палеоландшафты..., 2009; и многие другие). Важным обстоятельством является и то, что палеопочвы – это индикаторы перерывов в седиментации и стабильности ландшафтов. По ним можно оценить временной интервал между циклами осадконакопления.

Опыт использования дочетвертичных палеопочв для целей стратиграфии и корреляции отложений весьма ограничен. Возможность использования палеопочв для корреляции отложений продемонстрирована при изучении верхнепермских палеопочв Московской синеклизы (Иноземцев, Таргульян, 2010). Успешный опыт использования палеопочв в качестве педостратиграфических единиц приведен нами при описании ожелезненных мел-палеогеновых палеопочв южной Европы (Vacca et al., 2011). Выявление стратиграфической значимости Геосоли Monte Maraconis позволило сделать три важных вывода: 1. Разрозненные находки палеопочв представляют собой части однотипного почвенного покрова, формировавшегося в пределах единого седиментационного бассейна, занимавшего северо-западное побережье океана Тетис; 2. Палеопочвы в пределах этого бассейна формировались в сходных ландшафтных условиях; 3. Характер почвообразования в пределах бассейна закономерно менялся, что отражало аридизацию климата при переходе от мела к палеогену. На фоне однотипного

почвенного покрова авторы также отмечают и наличие пространственных вариаций в свойствах почв, определявшихся различиями почвообразующих пород (глинистые, песчаные и т.д. фации аллювия), условий увлажнения и пр. Это, однако, не противоречит использованию изученных почв как педостратиграфических единиц. Согласно определению международной палеопочвенной комиссии, понятие геосоль это не только определенная почва, а почвенный ландшафт (soilscape), отражающий закономерные пространственные вариации факторов почвообразования (фации геосоли, *Paleopedology Glossary*, 1997).

Современный подход к стратиграфии характеризуется внедрением системного анализа. Все чаще развитие стратиграфии связывается со стратиграфией экосистем. Будущая стратиграфия - это стратиграфия былых биосфер (по Вернадскому), а в региональном масштабе – палеоэкосистем (Гладенков, 2004). Теоретической основой экостратиграфии является экосистемная теория биологической эволюции, рассмотренная выше. Экостратиграфический метод базируется на этапах изменений сообществ организмов и абиотических компонентов внешней среды (Геккер, 1957). Он подразумевает палеоэкосистемный анализ на основе биологических, экологических и седиментационных характеристик, отражающий одновременно эволюцию биосфер и литосфер. С учетом задач развития теории стратиграфии необходимо также осознать роль палеопочв при экостратиграфическом анализе. Новейшие исследования палеопочв, как правило, основываются на комплексной стратиграфии (composite stratigraphy), один из первых примеров системного подхода к стратиграфии на основе педо- и литостратиграфических единиц приведет в работе (Morrison, 1998).

### ***Интеграция палеопочвоведения в системе геосферных и биосферных наук***

Ключевая роль палеопочв в эволюции биосферно-геосферной системы все шире осознается смежными дисциплинами. Это приводит к тому, что исследования палеопочв принимают комплексный характер и становятся в центре новых междисциплинарных вызовов. Это проблемы эволюции биосферы на самых ранних этапах, коэволюция жизни и почв, глобальные изменения климата и др. Палеопочвоведение все шире интегрируется с разнообразными отраслями знаний. Так, для планетарных наук докембрийские палеопедолитосферы (коры выветривания, палеопочвы) – единственные достоверные свидетельства продолжительных континентальных обстановок в докембрии. Для палеоклиматологии палеопочвы позволяют реконструировать динамику содержания кислорода и углекислого газа в атмосфере, чередование аридных и гумидных циклов по циклотемам, лёссово-почвенным сериям и пр.

Тесная связь палеопочвоведения и палеонтологии рассмотрена нами ранее (Добровольский, Макеев, 2009). Во все периоды геологической ис-



тории почвы являлись преимущественной средой обитания для существовавших в то время форм жизни. Именно поэтому палеопочвоведение часто рассматривают как раздел палеонтологии. Значение палеопочв для палеонтологии рассматривается в целом ряде публикаций (Retallack, 2001; Parrish, 1995; Stanley, 1998). С точки зрения палеонтологии палеопочвы могут рассматриваться и как ископаемые тела, содержащие информацию об экосистемах прошлого, и как консервирующая среда для многих видов ископаемых живых организмов. Дальнейший синтез палеонтологии и палеопочвоведения представляется неизбежным с учетом экосистемной теории эволюции. Синтез двух научных дисциплин палеонтологии и палеопочвоведения позволит полнее осознать и планетарную роль живого вещества, в масштабах, о которых говорил В.И. Вернадский еще в 1919 году (Вернадский, 1992). Как для палеопочвоведения, так и для палеонтологии важно то, что геологическая роль живого вещества проявляется при воздействии живых организмов на почвы в экосистемах прошлого. Взаимосвязь между биологическим и геологическим круговоротами неизбежно осуществляется через палеопочвы.

Исследования палеопочв играют ключевую роль в таких традиционных дисциплинах как геология, в том числе и четвертичная геология, палеогеография и озероведение, геoarхеология, и пр. По-видимому, наиболее важным вкладом палеопочвоведения в генетическое почвоведение является обоснование представления о том, что субстратами для современного почвообразования в значительной степени являются продукты предшествующих (часто многократных) биогеосферных циклов. Наряду с этим, успехи палеопочвоведения привели к созданию новых отраслей знаний. Так, произошла интеграция палеопочвоведения и бактериальной палеонтологии в рамках геомикробиологии. Функциональные возможности сообществ микроорганизмов, их появление на суше и зона воздействия связаны с палеопочвами. Фактически биосфера докембрия это в основном проблематика палеопочвоведения. С другой стороны и палеогеохимия, объектом изучения которой является педолитосфера – это тоже часть палеопочвоведения. Расширение идей коэволюции привело к формированию новой комплексной дисциплины изучающей коэволюцию живых организмов и условий среды в биогеоморфологических системах – биогеоморфологии (Corenblit et al., 2011). В представлении о почве как о расширенном (внешнем) фенотипе явно угадывается переключки с учением Вернадского о почвах как биокосных телах, при котором сфера деятельности живого вещества расширяется на почву. Вообще, учение о коэволюции биоты, почв и условий среды созвучно учению о биогеохимии (Вернадский, 1960). Связь палеопочвоведения и этих новых отраслей знаний можно рассматривать как изучение экологии почв в исторической ретроспективе, на фоне эволюции экосистем, включая биологическую эволюцию. Это новое направление можно назвать *историческая экология почв* или *экологическое*

**палеопочвоведение.** Возможности палеопочвоведения в палеоландшафтных реконструкциях все шире используются в археологии, что привело к развитию новых научных дисциплин – археологического почвоведения и геоархеологии (Дёмкин, 1997; Дергачева, 1997).

Благодаря комплексным исследованиям и интеграции со смежными дисциплинами палеопочвоведение в последние годы приобрело новый статус. Этот статус обеспечивается следующими обстоятельствами, рассмотренными в нашем обзоре:

- Палеопочвы – не экзотика в геологической летописи.
- Педолитосфера содержит непрерывную запись о биосферно-геосферных циклах с момента их зарождения.
- Эволюция педосферы – неотъемлемая часть эволюции экосистем (коэволюция Жизни и Почв).
- Современная педосфера – один из бесчисленных временных срезов в эволюции педосфер.

Именно палеопочвоведение делает почвоведение зрелой исторической наукой.

### *Литература*

- Алексеев А.С. Массовые вымирания в фанерозое. М., 1998. 78 с.
- Алексеева Т.В., Алексеев А.О., Кабанов П.Б., Золотарева Б.Н., Алексеева В.А., Губин С.В. Палеопочвы карбона московской синеклизы: гуминовые вещества, минералогические и геохимические свойства // Палеопочвы и индикаторы континентального выветривания в истории биосферы. Серия «Гео-биологические системы в прошлом». М.: ПИН РАН, 2010. С. 76–94. [http://www.paleo.ru/paleosoils\\_and\\_weathering](http://www.paleo.ru/paleosoils_and_weathering).
- Арефьев М.П., 2010. Влияние позднего орогенеза Урала на формирование аллювиального веера Московской синеклизы на рубеже перми и триаса // Актуальные вопросы литологии. Материалы 8-го Уральского литологическо-го совещания. Екатеринбург: ИГТ УрО РАН. С. 23-25.
- Арефьев М.П., Кузнецова А.М. Хронокатена палеопочв рыбинского горизонта нижнего триаса Московской синеклизы // Эволюция почвенного покрова. Пущино: 2009. с. 9-11.
- Арефьев М.П., Кузнецова А.М. Развитие педогенеза Московской синеклизы на рубеже перми и триаса и о стабилизирующей роли почвенного покрова в пермотриасовой эволюционной перестройке // Биосферные функции почвенного покрова. Пущино: SYNCHROBOOK, 2010. с.18-19.
- Астафьева М.М., Розанов А.Ю. Древнейшие коры выветривания (на примере Карелии) и микрофоссилии // Палеопочвы и индикаторы континентального выветривания в истории биосферы. М., ПИН РАН, 2010. с. 1-23.
- Афанасьев С.Л. Геологическое время, циклиты разных типов и классов // Экосистемы в стратиграфии. Владивосток, 1980. с. 57-87.

- Ахметьев М.А. Климат земного шара в палеоцене и эоцене по данным палеоботаники // Климат в эпохи крупных биосферных перестроек М: Наука, 2004, с.10-44.
- Веклич М.Ф., Матвишина Ж.Н., Медведев В.В., Сиренко Н.А., Федоров К.Н. Методика палеопедологических исследований. Киев. «Наукова Думка», 1979. 271 с.
- Вернадский В.И. Избр. соч. т. 5, 1960. с. 97.
- Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М., Наука, 1965. 66 с.
- Вернадский В.И. Об участии живого вещества в создании почв // Труды по биогеохимии и геохимии почв. М., Наука. 1992. 300 с.
- Виноградов А.П. Вступительное слово // Почвоведение. 1974, № 10.
- Герасимов И.П., Глазовская М.А. Основы почвоведения и географии почв. Москва, 1960. 260 с.
- Герасимов И.П., Величко А.А. (ред.). Палеогеография Европы за последние 100 тысяч лет: Атлас-монография. М.: Наука, 1982. 155 с. и 14 карт.
- Геккер Р.Ф. Введение в палеоэкологию. М.: Госгеолтехиздат, 1957. 125 с.
- Гиляров М.С. Особенности почвы как среды обитания и ее значение в эволюции насекомых. М.;Л.; Изд-во АН СССР. 1949. 280 с.
- Гиляров М.С. Зоологический метод диагностики почв. М., Наука. 1965. 269 с.
- Гиляров М.С. Жизнь и почва. М., 1985. С. 187.
- Гладенков Ю.Б. Биосферная стратиграфия (проблемы стратиграфии XXI века). М.: ГЕОС, 2004.120 с.
- Глазовская М.А. Педолитогенез и континентальные циклы углерода. М., 2009. 330 с.
- Глинка К.Д. Задачи исторического почвоведения. Зап. Ново-Александр. Ин-та сел. хоз-ва и лесоводства. т. 16, вып.2. Варшава. 1904. 20 с.
- Глинка К.Д. Ископаемые и древние почвы // Почвоведение. Пятое издание. Сельхозгиз. 1933. С. 464-479.
- Губин С.В., Занина О.Г., Максимович С.В. и др. Реконструкция условий формирования отложений ледового комплекса по результатам изучения позднеплейстоценовых нор грызунов // Криосфера Земли, 2003, т. VII, №3, с. 13–22.
- Демкин В.А. Палеопочвоведение и археология: интеграция в изучении природы и общества. Пушино. 1997. 214 с.
- Дергачева М. И. Археологическое почвоведение. Новосибирск, 1997. 227 с.
- Добровольский В.В. География и палеогеография коры выветривания СССР. М.: Мысль. 1969,146 с.
- Добровольский Г.В. Роль и значение почв в становлении и эволюции жизни на Земле // Эволюция биосферы и биоразнообразия. М., 2006, с. 246-256.

- Добровольский Г.В., Карпачевский Л.О., Криксунов Е.А. Геосферы и педосфера. М., ГЕОС, 2010. 190 с.
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. М., Изд-во Моск. ун-та. 2006. 364 с.
- Добровольский Г.В., Макеев А.О.. Палеопочвоведение и палеонтология // Труды Института экологического почвоведения Московского государственного университета им. М.В.Ломоносова. Выпуск 9, "Географическое разнообразие почв. Оценка и учет почвенных ресурсов. Экологическое образование". 2009, с.18-30.
- Добровольская Т.Г., Лысак Л.В., Звягинцев Д.Г. Почвы и микробное разнообразие // Почвоведение. 1996, №6. С. 699-705.
- Докучаев В.В. Материалы к оценке земель Полтавской губернии // Отчет Полтавскому губ. земству, Спб., 1889. Вып. 1.
- Докучаев В.В. Соч., т. III. АН СССР. 1949. С. 264.
- Жарков М.А. Палеогеографические перестройки и обстановки седиментации в перми и раннем триасе // Климат в эпохи крупных биосферных перестроек М: Наука, 2004, с. 158-181.
- Жарков М.А., Мурдмаа И.О., Филатова Н.И. Палеогеографические перестройки и седиментация мелового периода // Климат в эпохи крупных биосферных перестроек М: Наука, 2004, с. 58-88.
- Жерихин В.В. Биоценотическая регуляция эволюции // Палеонтологический журнал. 1986. № 1. С. 3–12.
- Жерихин В.В. Генезис травяных биомов // Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. Москва, "Недра", 1994. С. 132-137.
- Заварзин Г.А. Смена парадигм в биологии // Вестн. РАН, 1995, №1.
- Заварзин Г. А. Становление биосферы // Вестн. РАН, 2001, т. 71, № 11, с. 988-1001.
- Заварзин Г.А. Становление системы биогеохимических циклов // Палеонтологический журнал, 2003, № 6, с. 16-24.
- Заварзин Г.А., Рожнов С.В. Выветривание и палеопочвы // Палеопочвы и индикаторы континентального выветривания в истории биосферы. М.: ПИН РАН, 2010. с. 4–10.
- Заварзина А.Г. Реконструкция возникновения палеопочв на основе современных процессов гумусообразования // Палеопочвы и индикаторы континентального выветривания в истории биосферы. М.: ПИН РАН, 2010. с. 36–76.
- Звягинцев Д.Г. Некоторые концепции строения и функционирования комплекса почвенных микроорганизмов // Вестн. МГУ. Сер. Почвоведение. 1978, № 4. С. 48-56.
- Игнатьев В.И. Татарский ярус центральных и восточных областей Русской платформы. Ч. 2. Фации и палеогеография. Казань: Изд-во Казан, ун-та, 1963. 337 с.

- Изменение климата и ландшафтов за последние 65 миллионов лет. Ред. Величко А.А.. М. ГЕОС, 1999. 260 с.
- Иноземцев С.А., Таргульян В.О. Верхнепермские палеопочвы: свойства, процессы и условия формирования. М.: ГЕОС, 2010, 186 с.
- Ковалевский В.О. Собрание научных трудов. М.: Изд-во АН СССР, 1956. Т. II. 300 с.
- Ковда В.А. Основы учения о почвах, т.1. М., 1973, 447 с.
- Комаров В.Л. Происхождение растений. М.: Изд-во АН СССР. 1961. 220 с.
- Короновский Н.В., Хаин В.Е., Ясаманов Н.А. Историческая геология. 4-е издание. М.: Издательский центр «Академия», 2008, 464 с.
- Красилов В.А. Дискуссионные проблемы классификации и номенклатуры и экостратиграфии // Экосистемы в стратиграфии. Владивосток, 1980. с. 3–15.
- Красилов В.А. Модель биосферных кризисов // Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. Вып. 4. М.: Издание Палеонтологического института, 2001. с. 9-16.
- Криштофович А.Н. Эволюция растений по данным палеоботаники // Проблемы ботаники. Т. 1 М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1950.
- Макеев А.О. Пермские палеопочвы в свете общей проблематики палеопочвоведения // Почвоведение. 2012, №1, с.115-126.
- Марков К.К. Палеогеография. М.б 1951, 274 с.
- Международный стратиграфический справочник: Сокращенная версия / Под ред. М. Мерфи, А. Сальвадор. М.: ГЕОС, 2002. 37 с.
- Моисеенко В. Г., Сорокин А.П., Болотский Ю.Л. Поздне меловые рептилии Приамурья // Вестн. ДВО РАН.1997, № 3 . с. 7-3 1.
- Наугольных С.В., Якименко Е.Ю., Иноземцев С.А. Палеопочвы в верхнепермских и нижнетриасовых отложениях Русской платформы // Палеоботаника на рубеже веков: Итоги и перспективы: Тез. IV чтений памяти А.Н. Криштофовича. СПб.: Ботан. ин-т РАН, 2001. С. 32-33.
- Наугольных С.В. Палеопочвы перми и раннего триаса // Климат в эпохи крупных биосферных перестроек М: Наука, 2004, с. 221-230.
- Палеоклиматы и палеоландшафты внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен – голоцен. Атлас-монография. Величко А.А. (ред.). Москва, 2009, 120 с.
- Палеопедология. под. ред. Веклич М.Ф. Киев: Наук. думка. 1974. 216 с.
- Перельман А.И., Борисенко Е.Н. Геохимия ландшафтов пустынь пермского периода // Изв. РАН. Сер. Геогр. 1999. № 6. С. 32-38.
- Полынов Б.Б. Время как фактор почвообразования. // Изв. Почв. Ком., 1917, №3-4, С.156-171.
- Полынов Б.Б. К вопросу о роли элементов биосферы в эволюции организмов // Почвоведение, №10, 1948, с. 601.
- Полынов Б.Б. Красноцветная кора выветривания и её почвы // Почвоведение. 1944, №1, с.7-28.

- Полынов Б.Б. Избранные труды. М., АН СССР. 1956. 425 с.
- Полынов Б.Б. Докучаевская школа. Автобиографические рассказы // Природа, 2010, № 8, с. 64-73.
- Разумовский С.М. Закономерности динамики биоценозов. М.: Наука, 1981. 231 с.
- Роде А.А. Почвообразовательный процесс и эволюция почв. Мю, Изд-во АН СССР, 1947. 142 с.
- Розанов А.Ю., Заварзин Г.А. Бактериальная палеонтология // Вестн. РАН. 1997, №3. с. 241-245.
- Розанов А.Ю., Астафьева М.М., Вревский А.Б. и др. Микрофоссилии раннедокембрийских кор выветривания Фенноскандинавского щита // Отеч. геология. 2008. № 3. с. 83–90.
- Садовников Г.Н., Орлова Э.Ф. О пограничных отложениях перми и триаса северной и восточной окраины Сибирской платформы // Стратиграфия. Геол. корреляция. 1997. Т. 5. № 1. с. 14–20.
- Сенников А.Г. Глобальный биотический кризис на границе перми и триаса: его характер и последствия // Доклады Всероссийского совещания "Структура и статус Восточно-Европейской стратиграфической шкалы пермской системы, усовершенствование ярусного расчленения верхнего отдела пермской системы общей стратиграфической шкалы". Казань: Казанский государственный университет, 2004. с. 60-63.
- Соколов И.А. Основные географо-генетические понятия и термины // Почвоведение. 1976. № 12, с. 12-26.
- Соколов И.А. Почвообразование и экзогенез. М., 1997. 244 с.
- Соколов И.А. Теоретические проблемы генетического почвоведения. Новосибирск: «Гуманитарные технологии». 2004. 288 с.
- Соколов Б.А., Федонкин М.А. Ранние этапы развития жизни на Земле // Современная палеонтология. М.: Недра. 1988, т.2, с. 118-142.
- Соколова Т.А. Роль почвенной биоты в выветривании минералов (обзор литературы) // Почвоведение, 2011, № 1, с.56-72.
- Стратиграфический кодекс России. Издание третье. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2006. 96 с.
- Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. М.: Изд-во АН СССР, 1960. Т. 1. 212 с.
- Стриганова Б.Р. Адаптивные стратегии освоения животными почвенного яруса // Почвоведение. 1996, № 6. С. 714-721.
- Сычева С.А., Гунова В.С. Результаты изучения прозднеплейстоценового лёссово-почвенного комплекса в погребенной балочной системе Средне-Русской возвышенности // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 2004, № 65, с. 86-101ю
- Таргульян В.О. Экзогенез и педогенез: расширение теоретической базы почвоведения // Вестн. Моск. Ун-та, серия Почвоведение. 1983, № 1, с.12-19.

- Таргульян В.О. Память почв: формирование, носители, пространственно-временное разнообразие // *Память почв*. М. 2008. С. 24-57.
- Ферсман А.Е. Геохимия. М., ОНТИ. 1937, т.1. 260 с.
- Фридланд В.М., Буяновский Г.А. Просто земля. Москва, 1977. 140 с.
- Чалышев В.И. Открытие ископаемых почв в пермских и триасовых отложениях // *Докл. АН СССР*. 1968, Т. 182. № 2. С. 426-430.
- Чумаков Н.М. Общая направленность климатических изменений на Земле за последние 3 млрд. лет // *Докл. РАН*. 2001. т.381, №5. с. 652-655.
- Чумаков Н.М. Общий обзор позднемелового климата и событий // *Климат в эпохи крупных биосферных перестроек* М: Наука, 2004, с. 44-52.
- Якименко Е.Ю., Таргульян В.О., Чумаков Н.М. и др. Палеопочвы в верхнепермских отложениях, река Сухона (Бассейн Северной Двины) // *Литология и полезные ископаемые*. 1990, № 4. С. 376-390.
- Aber, J.S.. Surficial geology of Butler County // *Kansas Geological Survey, Open-File Report*. 199, 191-48, 31 p.
- Ahlberg, A., Olsson, I., Simkevicius, P., Triassic–Jurassic weathering and clay mineral dispersal in basement areas and sedimentary basins of southern Sweden // *Sedimentary Geology*. 2003, v.161, p.15–29.
- Alonso-Zarza A. M., Wright V. P., Calvo J. P., Garcia del Cura M. A. Soil-landscape and climatic relationships in the middle Miocene of the Madrid Basin // *Sedimentology*. 1992, v. 39, p. 17-35.
- Alvaro J.J., Van Vliet-Lanoe B., Vennin E., Blanc-Valleron M.-M.. Lower Cambrian paleosols from the Cantabrian Mountains (northern Spain): a comparison with Neogene–Quaternary estuarine analogues // *Sedimentary Geology*, 2003, 163, pp. 67–84.
- An Z.S., Kukla G., Porter S.C., Xiao J.L. Late Quaternary dust flow on the Chinese Loess Plateau // *Catena*, 1991, v. 18, p.125–132.
- Antoine P., Rousseau D-D., Moine O., Kunesch S., Hatte C., Lang A., Tissoux H., Zoller L. Rapid and cyclic aeolian deposition during the Last Glacial in European loess: a high-resolution record from Nussloch, Germany // *Quaternary Science Reviews*, 2009. v. 28, pp. 2955–2973.
- Bailly H., Felix-Henningsen P., Klassen H., Stephan S. Synsedimentary Vertisols in Upper Jurassic sequences of the Wiehengebirge mountain range (Northwest-Germany) // *Osnabrücker Naturwissenschaftliche Mitteilungen*, Osnabrueck. 2000, v. 26, p. 15-46, [www.f-by.de/paleo/paleosol.htm](http://www.f-by.de/paleo/paleosol.htm).
- Bandopadhyaya P.C., Eriksson P.G., Roberts R.J. A vertic paleosol at the Archean-Proterozoic contact from the Singhbhum-Orissa craton, eastern India // *Precambrian Research*. 2010, v. 177, pp. 277–290.
- Basilici, G., Führ Dal' Bó, P.F. Anatomy and controlling factors of a Late Cretaceous Aeolian sand sheet: The Marília and the Adamantina formations, NW Bauru Basin, Brazil // *Sedimentary Geology*, 2010, pp. 71-93.
- Benito M.I., de la Horra R., Barrenechea J.F., Lopez-Gomez J., Rodas M, Alonso-Azcarate J., Arche A., Luque J. Late Permian continental sediments in

- the SE Iberian Ranges, eastern Spain: Petrological and mineralogical characteristics and palaeoenvironmental significance // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2005, v.229, pp.24- 39.
- Berner R.A. The rise of trees and their effects on Paleozoic atmospheric CO<sub>2</sub> and O<sub>2</sub> // *C. R. Geoscience*. 2003, v. 335, pp. 1173–1177.
- Bishop J.W., Montañez I.P., Gulbranson E.L., Brenckle P.L. The onset of mid-Carboniferous glacio-eustasy: Sedimentologic and diagenetic constraints, Arrow Canyon, Nevada // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2009, v. 276, Issues 1-4, pp. 217-243.
- Botha J., Smith R.M.H. Rapid vertebrate recuperation in the Karoo Basin of South Africa following the End-Permian extinction // *Journal of African Earth Sciences*. 2006, v.45, p. 502–514.
- Brasier A.T. Searching for travertines, calcretes and speleothems in deep time: Processes, appearances, predictions and the impact of plants // *Earth-Science Reviews*, 2011, v.104, Issue 4, pp.213-239.
- Brezinski D. K., Cecil C. B., Skema V. W., Kertis C. A. Evidence for long-term climate change in Upper Devonian strata of the central Appalachians // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2009, v. 284, pp. 315–325.
- Bronger A. Correlation of loess-paleosol sequences in East and Central Asia with SE Europe: towards a continental Quaternary pedostratigraphy and paleoclimatic history // *Quaternary International*. 2003, V. 106-107. P. 11-32.
- Campbell S.E. Soil stabilization by a prokaryotic desert crust: implications for Precambrian land biota // *Origins of life*. 1979, № 9. P. 335-348.
- Cleveland D. M., Nordt L. C., Atchley S. C. Paleosols, trace fossils, and precipitation estimates of the uppermost Triassic strata in northern New Mexico // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2008, v. 257, p. 421–444.
- Climate Change 2007: Synthesis Report. An Assessment of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. [http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4\\_syr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf).
- Coney L., Reimold W. Uwe, Hancoxa P. John, Maderc D., Koeberl C. , McDonaldd I., Struck U., Vajda V., Kamo Sandra L. Geochemical and mineralogical investigation of the Permian–Triassic boundary in the continental realm of the southern Karoo Basin, South Africa // *Palaeoworld*. 2007, v.16, p. 67–104.
- Corenblit D., Baas A. C.W, Bornette G., Darrozes J., Delmotte S., Francis R. A., Gurnell A. M., Julien F., Naiman R. J., Steiger J. Feedbacks between geomorphology and biota controlling Earth surface processes and landforms: A review of foundation concepts and current understandings // *Earth-Science Reviews*. 2011, v. 106, pp. 307-331.
- Costantini E.A.C., Priori S., Urban B., Hilgers A., Sauer D., Protano G., Trombino L., Hülle D., Nannoni F.. Multidisciplinary characterization of the



- middle Holocene eolian deposits of the Elsa River basin (central Italy) // *Quaternary International*. 2009, V. 209, Issues 1-2, p. 107-130.
- Davies N.S., Gibling M.R. Cambrian to Devonian evolution of alluvial systems: The sedimentological impact of the earliest land plants // *Earth-Science Reviews*. 2010, v.98, p. 171–200.
- Davies, N.S., Gibling, M.R. The co-evolution of fixed-channel alluvial plains and Carboniferous vegetation: *Nature Geoscience*, 2011, DOI:10/1083/NGEO1237.
- Demko T. M., Currie B. S., Nicoll K.A. Regional paleoclimatic and stratigraphic implications of paleosols and fluvial/overbank architecture in the Morrison Formation (Upper Jurassic), Western Interior, USA // *Sedimentary Geology*. 2004, v. 167, pp. 115–135.
- DiMichele W.A., Tabor N.J., Chaney D.S., Nelson W.J. From wetlands to wet spots: Environmental tracking and the fate of Carboniferous elements in Early Permian tropical floras // *Geological Society of America. Special Paper*. 2006, v. 399. pp.223-248.
- DiMichele W.A., Blaine Cecil C., Montanez I.P., Falcon-Lang H.J. Cyclic changes in Pennsylvanian paleoclimate and effects on floristic dynamics in tropical Pangaea // *International J. of Coal Geology*. 2010,v. 83, Issues 2-3, p. 329-344.
- DiMichele W. A., Cecil C.B., Montañez I.P., Falcon-Lang H.J. Cyclic changes in Pennsylvanian paleoclimate and effects on floristic dynamics in tropical Pangaea // *International Journal of Coal Geology*. 2010, v. 83, Issues 2-3, pp. 329-344.
- Dobzhansky Th. *Genetics and the origin of species*. New York, 1953. 364 p.
- Driese S. G., Jacobs J. R., Nordt L.C. Comparison of modern and ancient Vertisols developed on limestone in terms of their geochemistry and parent material // *Sedimentary Geology*. 2003, v.157, pp. 49–69.
- Driese, S.G., Medaris, L.G., Ren, M., Runkel, A.C., Langford, R.P. Differentiating pedogenesis from diagenesis in early terrestrial paleoweathering surfaces formed on granitic composition parent materials. *J. Geol.*, 2007, v. 115, pp. 387–406.
- Driese, S.G., Mora, C.I. Paleopedology and stable-isotope geochemistry of late Triassic paleosols, Durham sub-basin, North Carolina, U.S.A.: implications for paleoclimate and paleoatmospheric CO<sub>2</sub>. *SEPM Spec. Publ.* 2002, v. 73, pp. 207– 218.
- Dunn M.T. The Fayetteville Flora I:Upper Mississippian (middle Chesterian/lower Namurian plant assemblages of permineralized and compression remains from Arkansas, USA // *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2004, v. 132, pp.79–102.
- Ehrlich, H.L., and Newman, D.K., 2009, *Geomicrobiology*, Fifth Edition: Taylor and Francis Group, CRC Press, 606 p.

- Evans D.A.D., Beukes N.J., Kirschvink, J.L. Paleomagnetism of a lateritic paleoweathering horizon and overlying Paleoproterozoic red beds from South Africa: Implications for the Kaapvaal apparent polar wander path and a confirmation of atmospheric oxygen enrichment. // *J. Geophys. Res., Solid Earth* 2002, v.107, № B12, 2326, doi:10.1029/2001JB000432.
- Falcon-Lang, H.J. Response of Late Carboniferous tropical vegetation to transgressive–regressive rhythms at Joggins, Nova Scotia // *Journal of the Geological Society*. 2003, v. 160, pp. 643–648.
- Fanti F., Miyashita T. A high latitude vertebrate fossil assemblage from the Late Cretaceous of west-central Alberta, Canada: evidence for dinosaur nesting and vertebrate latitudinal gradient // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2009, v. 275, pp. 37–53.
- Fossil and recent biofilms. A natural history of life on Earth. 2003 / E.A. Krumbein, D.W. Paterson, G.A. Zavarzin (eds.). Kluwer Ac. Publ.: Dordrecht.
- Francis, J. E. The Calcareous Paleosols of the Basal Purbeck Formation (Upper Jurassic) Southern England // Wright, V.P. (Ed.). *Paleosols: Their Recognition and Interpretation*. Blackwell, Oxford, 1986, p. 112-138.
- Gerasimov I.P. Nature and originality of paleosols // *Paleopedology: origin, nature and dating of paleosols*. Ed. D. Yaalon. Israel University Press, Jerusalem, 1971. pp. 15-29.
- G-Farrow C., Mossman D. J. Geology of precambrian paleosols at the base of the Huronian supergroup, Elliot lake, Ontario, Canada // *Precambrian Research*. 1988, v. 42, Issues 1-2, pp. 107-139.
- Gay A.L., Grandstaff D.E. Chemistry and mineralogy of Precambrian paleosols at Elliot Lake, Ontario, Canada // *Precambrian Res.* 1980, №12, pp. 349-373.
- Gile, L.H., Hawley, J.W., Grossman, R.B. Soils and geomorphology in the Basin and Range area of southern New Mexico // *Guidebook to the Desert Project*. Mem. N. M. Bur. Mines Miner. Resour. 1981, № 39 222 pp.
- Global soil change. Report of an IIASA-IUSS-UNEP Task Force on the Role of Soil in Global Change. Ed.: R.W. Arnold, I. Szabolcs, V.O. Targulian. Budapest, 1990. 110 p.
- Goldshmidt V.M. *Geochemistry*. Oxford, Clarendon Press, 1954. 730 p.
- Ghosh P., Sarkar S., Maulik P. Sedimentology of a muddy alluvial deposit: Triassic Denwa Formation, India // *Sedimentary Geology*. 2006, v. 191, pp. 3–36.
- Grazhdankin, D., Gerdes, G. Ediacaran microbial colonies. *Lethaia*, 2007, v. 40, pp. 201-210.
- Gustavson, T.G. Buried vertisols in lacustrine facies of the Pliocene Fort Hancock Formation, Hueco Bolson, west Texas and Chihuahua, Mexico. *Geol. Soc. Am. Bull.* 1991, v. 103, pp. 448–460.
- Hillier R.D., Marriott S.B., Williams B. P.J., V., Wright P. Possible climate variability in the Lower Old Red Sandstone Conigar Pit Sandstone Member

- (early Devonian), South Wales, UK // *Sedimentary Geology*. 2007, v. 202, pp. 35–57.
- Holland, H.D., Feakes, C.R., Zbinden, E.A. The Flin Flon Paleosol and the composition of the atmosphere 1.8 BYBP // *American Journal of Science*, 1989, v.289, pp.362–389.
- Huggett, R., Hesselbo, S., Sheldon, N.D., Retallack, G.J.. Low oxygen levels in earliest Triassic soils: comment and reply // *Geology*. 2003, v.31, p.20–21.
- Hutton J. *Theory of the Earth with proofs and illustrations*. Edinburgh. 1795 v.1. 620 pp.
- Jacobs B. F., Tabor N., Feseha M., Pan A., Kappelman J., Rasmussen T., Sanders W., Wiemann, M., Crabaugh J., Massini G., Leandro J. Oligocene Terrestrial Strata of Northwestern Ethiopia: a Preliminary Report on Paleoenvironments and Paleontology // *Palaeontologia Electronica*. 2005. v. 8, Issue 1; [http://palaeo-electronica.org/paleo/2005\\_1/jacobs25/issue1\\_05.htm](http://palaeo-electronica.org/paleo/2005_1/jacobs25/issue1_05.htm).
- Joeckel, R.M. Paleosol in Galesburg Formation (Kansas City Group, Upper Pennsylvanian), northern Midcontinent, U.S.A.: evidence for climate change and mechanisms of marine transgression // *J. Sediment. Res.* 1999, v.69, pp.720–737.
- Jones, C.G., Lawton, J.H., Shachak, M. Positive and negative effects of organisms as physical ecosystem engineers // *Ecology*. 1997, v.78, pp.1946–1957.
- Kahmann J. A., Driese S. G. Paleopedology and geochemistry of Late Mississippian (Chesterian) Pennington Formation paleosols at Pound Gap, Kentucky, USA: Implications for high-frequency climate variations // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2008, v.259, pp. 357–381.
- Kalliokoski, J. Calcium carbonate cement (caliche) in Keweenawan sedimentary rocks (1.1 Ga), Upper Peninsula of Michigan // *Precambrian Res.* 1986, v. 32, pp.243–259.
- Kasting J. F. Earth's early atmosphere // *Science*. 1993, v. 259, pp. 920–926.
- Kautz C.Q. The mineralogical record of climate change in the Clarno and John Day Formations, Central Oregon // Unpublished Senior Thesis. Middlebury College. 2002, 90 p.
- Klein G.D., Kupperman J.B. Pennsylvanian cyclothems: methods of distinguishing tectonically induced changes in sea level from climatically induced changes // *Geological Society of America Bulletin*, February. 1992, v. 104, p. 166-175.
- Kraus, M.J. Basin-scale changes in floodplain paleosols: implications for interpreting alluvial architecture. *J. Sediment. Res.* 2002, v.72, pp.500–509.
- Kraus, M.J., Gwinn B.M. Controls on the development of early Eocene avulsion deposits and floodplain paleosols, Willwood Formation, Bighorn Basin // *Sedimentary Geology*, v. 114, p. 33–54.
- Kraus M.J., Riggins S. Transient drying during the Paleocene–Eocene Thermal Maximum (PETM): Analysis of paleosols in the bighorn basin, Wyoming //

- Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 2007, v.245, pp.444–461.
- Kubiena W. Micropedology. Iowa: Ames. 1938. 243 p.
- Lahtinen R., Nironen M. Paleoproterozoic lateritic paleosol–ultra-mature/mature quartzite–meta-arkose successions in southern Fennoscandia—*intra-orogenic stage during the Svecofennian orogeny // Precambrian Research*. 2010, v.183, pp. 770–790.
- Lee, Y.W., Lee, Y.I., Hisada, K. Paleosols in the cretaceous goshoura and Mifune groups, SW Japan and their paleoclimate implications // *Paleogeogr. Paleoclim. Paleoecol.* 2003, v.199, pp.265–282.
- LeTourneau P. M., Huber P. Early Jurassic eolian dune field, Pomperaug basin, Connecticut and related synrift deposits: Stratigraphic framework and paleoclimatic context // *Sedimentary Geology*. 2006, v. 187, p. 63–81.
- Lisiecki L. E. Raymo M. E. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic  $\delta^{18}\text{O}$  records // *Paleoceanography*. 2005, v. 20, 17 p.
- Linol, B., Bercovici, A., Bourquin, S., Diez, J.B., López-Gómez, J., Broutin, J., Durand, M., Villanueva-Amadoz, U. Late Permian to Middle Triassic correlations and palaeogeographical reconstructions in south-western European basins: new sedimentological data from Minorca (Balearic Islands, Spain) // *Sedimentary Geology*. 2009, v. 220 (1–2), p.77–94.
- van Loon A.J. Lost loesses // *Earth-Science Reviews*. 2006, v. 74, pp. 309–316.
- Mack, G.H. Paleosols as an indicator of climatic changes at the early–late Cretaceous boundary, southwestern New Mexico // *J. Sediment. Petrol.* 1992, v. 62, pp.483–494.
- Mack, G.H., James, W.C., Monger, H.C. Classification of paleosols // *Geol. Soc. Am. Bull.* 1993, v. 105, pp.129-136.
- Mack G.H., Leeder M., Perez-Arluceac M., Bailey B. D.J. Early Permian silt-bed fluvial sedimentation in the Orogrande basin of the Ancestral Rocky Mountains, New Mexico, USA // *Sedimentary Geology*. 2003, v.160 pp.159–178.
- Marzoli, A., Renne, P.R., Piccirillo, E.M., Ernesto, M., Bellieni, G., and De Min, A., , Extensive 200-million-year-old continental flood basalts of the Central Atlantic magmatic province // *Science*. 1999, v. 284, p. 616–618.
- Maynard, J.B. Chemistry of modern soils as a guide to interpreting Precambrian paleosols // *J. Geol.* 199, v.100, pp. 279–289.
- McCarthy PJ., Martini IJ., Leckie D.A. Use of micromorphology for palaeoenvironmental interpretation of complex alluvial palaeosols: An example from the Mill Creek formation (Albian), southwestern Alberta, Canada // *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.* 1998. v. 143, N1-3. p. 87-110.
- Michaelsen P. Mass extinction of peat-forming plants and the effect on fluvial styles across the Permian-Triassic boundary, northern Bowen Basin, Australia // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2002, v.179, p. 173-188.

- Mitchell, R.L., Sheldon, N.D. Weathering and paleosol formation in the 1.1 Ga Keweenawan Rift // *Precambrian Res.*, 2009, v. 168, pp. 271–283.
- Mitchell, R.L., Sheldon, N.D. The ~1100Ma Sturgeon Falls paleosol revisited: Implications for Mesoproterozoic weathering environments and atmospheric CO<sub>2</sub> levels // *Precambrian Res.*, 2010, v. 183, pp. 738-748.
- Montanez, I.P., Tabor, N.J., Niemeier, D., DiMichele, W.A., Frank, T.D., Fielding, C.R., Isbell, J.L. CO<sub>2</sub>-forced climate and vegetation instability during Late Paleozoic deglaciation // *Science*. 2007, v.315, pp. 87–91.
- Moore, R.C., , Paleoecological aspects of Kansas Pennsylvanian and Permian cyclothems // Merriam, D.F., ed., *Symposium on Cyclic Sedimentation: Lawrence, Kansas*, Kansas Geological Survey Bulletin. 1964, v.169, pp. 285–380.
- Morrison R.B. How can the treatment of pedostratigraphic units in the North American Stratigraphic Code be improved? // *Quaternary International*. 1998, V. 51/52. P. 30-33.
- Murakami T., Utsunomiya S., Imazu Y., Prasad N. Direct evidence of late Archaean to early Proterozoic anoxic atmosphere from a product of 2.5 Ga old weathering // *Earth and Planetary Science Letters*. 2001, v. 184, pp.523-528.
- NACSN (North American Commission on Stratigraphic Nomenclature). North American stratigraphic Code. American Association of Petroleum Geologists // *Bulletin*. 2005, v.89, pp.1547-1591.
- Nedachi Y., Nedachi M., Bennett G., Ohmoto H. Geochemistry and mineralogy of the 2.45 Ga Pronto paleosols, Ontario, Canada // *Chemical Geology*. 2005, v. 214, p.21– 44.
- Newell, A.J., Tverdokhlebov, V.P., Benton, M.J. Interplay of tectonics and climate on a transverse fluvial system, Upper Permian, Southern Uralian foreland basin, Russia // *Sedimentary Geology*. 1999, v.127, p.11–29.
- Nordt L.C., Orosz M., Driese S.G., Tubbs J. Vertisol carbonate properties in relation to mean annual precipitation; implications for paleoprecipitation estimates // *Journal of Geology*. 2006, v. 114, pp.501–510.
- Odling-Smee, F.J., Laland, K.N., Feldman, M.W.,. Niche construction. *The American Naturalist*. 1996, v. 147, pp.641–648.
- Ohmoto H., Evidence in pre-2.2 Ga paleosols for the early evolution of atmospheric oxygen and terrestrial biota // *Geology*. 1996, v.24, pp.1135–1138.
- Paleopedology Glossary // *Paleopedology Commission Newsletter*. 1997, №14 // <http://paleopedology.msu.ru/newsletters>.
- Parrish, J.T., 1995. Geologic evidence of Permian climate // *The Permian of Northern Pangea*. London, p. 53– 61.
- Peng Y., Shi G.R. Life crises on land across the Permian–Triassic boundary in South China // *Global and Planetary Change*. 2009, v. 65, p.155–165.
- Petit, J.R. et al., 2001. Vostok Ice Core Data for 420,000 Years. IGBP PAGES // World Data Center for Paleoclimatology, Data Contribution Series #2001-

076. NOAA/NGDC Paleoclimatology Program, Boulder CO, USA. [http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/icecore/antarctica/vostok/vostok\\_isotope.html](http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/icecore/antarctica/vostok/vostok_isotope.html).
- Phillips, J.D., 2009. Soils as extended composite phenotypes // *Geoderma*. V. 149, pp.143–151.
- Prasad N., Roscoe S.M. Evidence of anoxic to oxic atmospheric change during 2.45-2.22 Ga from lower and upper sub-Huronian paleosols, Canada // *CATENA*, 1996, v.27, Issue 2, pp. 105-121.
- Preto N., Kustatscher E., Wignall P. B. Triassic climates — State of the art and perspectives // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2010, v.290, Issues 1-4, pp. 1-10.
- Prochnow, S.J., Nordt, L.C., Atchley, S.C., Hudec, M.R.,. Multiproxy paleosol evidence for Middle and Late Triassic climate trends in eastern Utah // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2006, v. 232, p.53–72.
- Rankama K. *Isotope Geology*, Pergamon Press, 1954. 535 pp.
- Retallack, G.J. Late Eocene and Oligocene paleosols from Badlands National Park, South Dakota // *Geological Society of America Special Paper* 193. 1983, 82p.
- Retallack, G.J. Reappraisal of a 2200Ma old paleosol near Waterval Onder, South Africa // *Precambrian Res.* 1986, v. 32, pp.195–232.
- Retallack, G.J. Permian–Triassic life crisis on land // *Science*. 1995, v.267, p.77–80.
- Retallack G. J. Early Forest Soils and Their Role in Devonian Global Change // *Science*. 1997a. v. 25, pp. 583-585.
- Retallack, G.J.,. Neogene expansion of the North American prairie // *Palaios*. 1997b, v. 12, pp.380-390.
- Retallack, G.J. Post-apocalyptic greenhouse paleoclimate revealed by earliest Triassic paleosols in the Sydney Basin Australia // *Geological Society of America Bulletin*. 1999, v. 111, pp. 52–70.
- Retallack G.F. *Soils of the past. An introduction to Paleopedology*. Second edition. Blackwell Science. 2001. 404 p.
- Retallack, G.J. Late Oligocene bunch grassland and Early Miocene sod grassland from central Oregon, USA // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2004a. v. 207, pp.203–237.
- Retallack, G.J. Late Miocene climate and life on land in Oregon within a context of Neogene global change // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2004b, v. 214, pp. 97– 123.
- Retallack, G.J. Pedogenic carbonate proxies for amount and seasonality of precipitation in paleosols // *Geology*, 2005, v.33, p. 333–336.
- Retallack G. *Coevolution of Life and Earth* // *Treatise on Geophysics*. 2007, chapter 9.11, pp. 295-320.
- Retallack G.J., Feakes C.R. Trace Fossil Evidence for Late Ordovician Animals on Land // *Science*. 1987, pp. 61-63.

- Retallack G., Krinsley D. Metamorphic alteration of a Precambrian (2.2 Ga) paleosol from South Africa revealed by backscattered electron imaging // *Precambrian Research*, 1993, v. 63, Issues 1-2, pp. 27-41.
- Retallack G.J. and Germán-Heins J. Evidence from Paleosols for the Geological Antiquity of Rain Forest // *Science*. 1994, v.265, p. 499-502.
- Retallack, G.J., Veevers, J.V., Morante, R., Global coal gap between Permian–Triassic extinction and Middle Triassic recovery of peat-forming plants // *GSA Bulletin*. 1996, v. 108, p.195–207.
- Retallack, G.J., Alonso Zarza A. M. Middle Triassic Paleosols and paleoclimate of Antarctica // *Journal of Sedimentary Research*. 1998, v. 68, pp. 169-184.
- Retallack, G.J., Krull, E.S. Landscape ecological shift at the Permian–Triassic boundary in Antarctica // *Australian Journal of Earth Sciences*. 1999, v. 46, p.786–812.
- Retallack, G.J., Seyedolali, A., Krull, E.S., Holser, W.T., Ambers, C.P., Kyte, F.T., Search for evidence of impact at the Permian–Triassic boundary in Antarctica and Australia. *Geology*. 1998, v.26, p. 979–982.
- Retallack, G.J., Tanaka S., Tate T. Late Miocene advent of tall grassland paleosols in Oregon // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2002a, v.183, pp. 329-354.
- Retallack, G.J., Wynn J. G., Benefit B. R. McCrossin M. L. Paleosols and paleoenvironments of the middle Miocene, Maboko Formation, Kenya // *Journal of Human Evolution*. 2002b, v. 42, pp. 659–703.
- Retallack, G.J., Greaver T., Jahren, A.H. Return to Coalsack Bluff and the Permian–Triassic boundary in Antarctica // *Global and Planetary Change*. 2007, v. 55, pp. 90–108.
- Retallack, G.J., Jahren, A.H. Methane release from igneous intrusion of coal during Late Permian extinction events // *The Journal of Geology*. 2008, m.116, pp.1–20.
- Reuter G. A logical system of paleopedological terms // *Catena*, 2000, Vol.41, P. 93-109.
- Roberts E. M. Facies architecture and depositional environments of the Upper Cretaceous Kaiparowits Formation, southern Utah // *Sedimentary Geology*. 2007, v. 197, pp. 207–233.
- Royer D.L. Depth to pedogenic carbonate horizon as a paleoprecipitation indicator // *Geology*. 1999, v. 27, pp.1123–1126.
- Ruddiman W. F. Cold climate during the closest Stage 11 analog to recent Millennia // *Quaternary Science Reviews*, 2005. V. 24, Issues 10-11, pp. 1111-1121.
- Ruhe, R.V. Quaternary paleopedology. // Wright H.E., Frey D.G. (Eds.). *The Quaternary of the United States*. Princeton Univ.Press, Princeton. 1965, 922 pp.
- Sarkar A., Yoshioka H., Ebihara M., Naraoka H. Geochemical and organic carbon isotope studies across the continental Permo-Triassic boundary of Rani-

- ganj Basin, eastern India // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2003, v.191 p. 1-14.
- Scotese C.R., Boucot, A.J., McKerrow W.S. Gondwanan paleogeography and paleoclimatology // *Journal of African Earth Sciences*. 1999, v. 28, № 1, pp. 99-114.
- Sheldon N. D. Do red beds indicate paleoclimatic conditions?: A Permian case study // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 2005, v.228, pp. 305– 319.
- Sheldon, N.D. Precambrian paleosols and atmospheric CO<sub>2</sub> levels // *Precambrian Res.* 2006, v.147, pp.148–155.
- Sheldon, N.D. Nonmarine records of climatic change across the Eocene-Oligocene transition. // *Geological Society of America Special Paper* 452, 2009, p. 241–248
- Sheldon, N.D., Retallack, G.J. Low oxygen levels in earliest Triassic soils // *Geology*. 2002, v.30, p.919–922.
- Sheldon N.D. Tabor N.J. Quantitative paleoenvironmental and paleoclimatic reconstruction using paleosols // *Earth-Science Reviews*. 2009, v. 95, pp.1–52.
- Schmitz, B., Pujalte, V., Nunez-Betelu, K. Climate and sea-level perturbation during the initial Eocene thermal maximum: evidence from siliciclastic units in the Basque basin (Ermua, Zumaia and Trabakua Pass), northern Spain // *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology*. 2001, v.165, pp.299-320.
- Smith, B.J., Wright, J.S., Whalley, W.B.,. Sources of non-glacial, loess-size quartz silt and the origins of “desert loess”. *Earth-Sci.* 2002, Rev.59, pp.1–26.
- Soil Survey Staff. *Keys to Soil Taxonomy*. Pocahontas Press, Blacksburg, VA, 1998, 600 pp.
- Spalletti L.A., Artabe A.E., Morel E.M. Geological Factors and Evolution of Southwestern Gondwana Triassic Plants // *Gondwana Research*. 2003, V. 6, Issue 1, pp. 119–134.
- Spotl, C., Burns, S.J.,. Magnesite diagenesis in redbeds: a case study from the Permian of the Northern Calcareous Alps (Tyrol, Austria) // *Sedimentology*. 1994, v.41, pp.543-565.
- Staniford, S. Living in the Eemian. <http://www.theoil drum.com/story/2006/2/3/0394/97545>.
- Stanley S.M. *Earth system history*. Freeman, New York. 1998.
- Steno, N., *The Earliest Geological Treatise—1667*, translated by Axel Garboe, MacMillan & Co., London, p. 17, 1958.
- Svensen H., Planke S., Polozov A.G., Schmidbauer N., Corfu F., Podladchikov Y. Y., Jamtveit B. Siberian gas venting and the end-Permian environmental crisis // *Earth and Planetary Science Letters*. 2009, v. 277, p. 490–500.
- Suarez Marina B., González Luis A., Ludvigson Gregory A. Quantification of a greenhouse hydrologic cycle from equatorial to polar latitudes: The mid-Cretaceous water bearer revisited // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2011, v.307, pp. 301–312.



- Tabor, N.J., Montanez, I.P., Southard, R.J. Paleoenvironmental reconstruction from chemical and isotopic compositions of Permo–Pennsylvanian pedogenic minerals // *Geochimica et Cosmochimica Acta* 66. 2002, pp. 3093–3107.
- Tabor, N.J., Montañez, I.P. Permo-Pennsylvanian alluvial paleosols (north-central Texas): high-resolution proxy records of the evolution of early Pan-gean paleoclimate // *Sedimentology*. 2004, v.51, pp. 851–884.
- Tabor, N.J., Poulsen, C.J. Paleoclimate across the Late Pennsylvanian–Early Permian tropical paleolatitudes: a review of climate indicators, their distribution, and relation to paleophysiographic climate factors // *Palaeobiology, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2008, v. 268, pp. 293–310.
- Talbot, M.R., Allen, P.A. Lakes. In: Reading, H.G. (Ed.), *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*. London, 1996, p. 83–124.
- Tanner, L.H., Hubert, J.F., Coffey, B.P., McInerney, D.P. Stability of atmospheric CO<sub>2</sub> levels across the Triassic/Jurassic boundary // *Nature*. 2001, v. 411, p.675–677.
- Targulian, V., Sedov, S. Paleopedology and soil science: theoretical base and perspective for interaction // International Conference and field trip: “Paleosols: memory of ancient landscapes and living bodies of present ecosystems”, Conf. Guide. Florence, 2004. P. 8–9.
- Targulian V., Mergelov N., Gilichinsky D., Sedov S., Demidov N., Goryachkin S., Ivanov A. Dokuchaev’s soil paradigm and extraterrestrial “soils” // 2010 19th World Congress of Soil Science, Soil Solutions for a Changing World. Brisbane, Australia. Published on DVD.
- Terhorst B., Damm B., Peticzka R., Kötritsch E. Reconstruction of Quaternary landscape formation as a tool to understand present geomorphologic processes in the eastern Prealps (Austria) // *Quaternary International*. 2009, v. 209, Issues 1-2, pp. 66-78.
- Therrien F. Palaeoenvironments of the latest Cretaceous (Maastrichtian) dinosaurs of Romania: insights from fluvial deposits and paleosols of the Transylvanian and Hateg basins // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2005, v.218, pp.15– 56.
- Thiry, M. Palaeoclimatic interpretation of clay minerals in marine deposits: an outlook from the continental origin // *Earth-Science Reviews*. 2000, v. 49, pp.201-221.
- Therrien F., Zelenitsky D. K., Weishampel D. B. Palaeoenvironmental reconstruction of the Late Cretaceous Sânpetru Formation (Hațeg Basin, Romania) using paleosols and implications for the “disappearance” of dinosaurs // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2009, v. 272, pp. 37–52.
- Timireva S.N., Velichko A.A. Depositional environments of the Pleistocene loess-soil series inferred from sand grain morphoscopy—A case study of the East European Plain // *Quaternary International*. 2006, V.152–153, p.136–145.

- Tramp K.L., Soreghan G.S., Elmore R.D. Paleoclimatic inferences from paleopedology and magnetism of the Permian Maroon Formation loessite (Colorado, USA). *Geol. Soc. Am. Bull.* 2004, v.116, p. 671–686.
- Turner B.R. Continental sediments in South Africa // *J. Afr. Earth Sci.* 1990. Vol. 10, N 1/2. p. 139-149.
- Tverdokhlebov, V.P., Tverdokhlebova, G.I., Surkov, M.V., Benton, M.J., Tetrapod localities from the Triassic of the SE of European Russia // *Earth Science Reviews*, 2003, v.60, 1–66.
- Ufnar D. F., González L. A., Ludvigson G. A., Brenner R. L., Witzke B. J. Evidence for increased latent heat transport during the Cretaceous (Albian) greenhouse warming // *Geology*, 2004. V. 32, Issue 12, pp. 1049-1052.
- Ufnar D.F., González L.A., Ludvigson G.A., Brenner R. L., Witzke B. J., Leckie D. Reconstructing a Mid-Cretaceous Landscape from Paleosols in Western Canada//*Journal of sedimentary Research*, 2005, v.75(6), pp.984-996.
- Ufnar D. F., Ludvigson G. A., González L., Gröcke D. R. Precipitation rates and atmospheric heat transport during the Cenomanian greenhouse warming in North America: Estimates from a stable isotope mass-balance model // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 2008, v. 266, pp. 28-38.
- Vacca A., Ferrara C., Matteucci R., Murru M. Ferruginous paleosols around the Cretaceous-Paleocene boundary in central-southern Sardinia (Italy) and their potential as pedostratigraphic markers // *Quaternary International*. 2011, doi:10.1016/j.quaint. 2011.07.036.
- Vajda V., McLoughlin S. Extinction and recovery patterns of the vegetation across the Cretaceous– Palaeogene boundary — a tool for unraveling the causes of the end-Permian mass-extinction // *Review of Palaeobotany and Palynology*. 2007, v. 144, p. 99–112.
- Van Breemen, N. Soils as biotic constructs favouring net primary productivity // *Geoderma*. 1993, v.57, pp.183–211.
- Varga G. Similarities among the Plio-Pleistocene terrestrial aeolian dust deposits in the World and in Hungary//*Quaternary International*.2011,v.234,pp.98-108.
- Walter K.M., Zimov S.A., Chanton J.P., Verbyla D., Chapin III F.S.. Methane bubbling from Siberian thaw lakes as a positive feedback to climate warming // *Nature*. 2006. V. 443. P. 71-75.
- Wacey D. Early life on land. A practical guide. *Topics in Geobiology*, Vol. 31 Springer, 2009. 274 p.
- Wanas H.A., Abu El-Hassan M.M. Paleosols of the Upper Cretaceous–Lower Tertiary Maghra El-Bahari Formation in the northeastern portion of the Eastern Desert, Egypt: Their recognition and geological significance // *Sedimentary Geology*. 2006, v. 183, pp.243–259.
- Watanabe Y., Martini J.E.J., Ohmoto H. Geochemical evidence for terrestrial ecosystems 2.6 billion years ago, *Nature*. 2000, v.408, pp.574–578.

- Watanabe Y., Stewart B.W., Ohmoto H. Organic-and carbonate rich soil formation similar to 2.6 billion years ago at Schagen, East Transvaal district, South Africa // *Geochim. Cosmochim. Acta* 68. 2004, pp. 2129–2151.
- World reference base for soil resources. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2006
- Xianghui L., Sidun C., Ke C., Yunhua C., Baoliang X., Yannan J. Paleosols of the Mid-Cretaceous: A Report from Zhejiang and Fujian, SE China // *Earth Science Frontiers*. 2009, v.16 (5), p. 63–70.
- Yaalon D.H. Soil forming processes in time and space // *Paleopedology: origin, nature and dating of paleosols*. Ed. D. Yaalon. Israel University Press, Jerusalem, 1971. pp. 29-41.
- Yamaguchi Kosei E., Johnson Clark M., Beard Brian L., Beukes Nicolas J., Jens Gutzmer Jens, Ohmoto Hiroshi. Isotopic evidence for iron mobilization during Paleoproterozoic lateritization of the Hekpoort paleosol profile from Gaborone, Botswana // *Earth and Planetary Science Letters*. 2007, v. 256 pp.577–587.
- Yang, Z.Y., Sheng, J.Z., Yin, H.F.,. The Permian–Triassic boundary: global stratotype section and point (GSSP). *Episodes* 18. 1996, p. 49–53.
- Yang Wan, Feng Qiao, Liu Yiqun, Tabor Neil, Miggins Dan, Crowley James L., Lin Jinyan, Thomas Stephanie. Depositional environments and cyclo- and chronostratigraphy of uppermost Carboniferous–Lower Triassic fluvial–lacustrine deposits, southern Bogda Mountains, NW China — A terrestrial paleoclimatic record of mid-latitude NE Pangea // *Global and Planetary Change*. 2010, v.73, Issues 1-2, pp.15-113.
- Zachos J., Pagani M., Sloan L., Thomas E., Billups K. Trends, Rhythms, and Aberrations in Global Climate 65 Ma to Present // *Science* 2001, v. 292 (5517), pp. 686–693.
- Zbinden, E.A., Holland, H.D., Feakes, C.R. The Sturgeon Falls paleosol and the Composition of the Atmosphere 1.1 Ga BP // *Precambrian Res.* 1988, v. 42, pp. 141–163.
- Ziegler, A.M., Scotese, C.R., Barret, S.F. Mesozoic and Cenozoic paleogeographic maps // Brosche, P., Sunderman, J.(Eds.), *Tidal Friction and the Earth's Rotation, II*. Springer-Verlag, Berlin, 1983. pp. 240–252.
- Ziegler A.M., Rees P.M., Naugolnykh S.V. The Early Permian floras of Prince Edward Island, Canada: Differentiating global from local effects of climate change // *Canadian Journal of Earth Sciences*. 2002, v. 39, p. 223–238.

## **Структурная организация почвенных гелей и функционирование почв**

### ***Важность изучения почвенных гелей***

Вся история естествознания убедительно говорит о важности изучения природы на разных уровнях ее организации – от микромира до космоса. Так это было в истории физики, механики, геологии, биологии, и других наук. Так было и в истории почвоведения. Достаточно вспомнить, какое важное значение в развитии почвоведения имели работы К.К. Гедройца (1955), Г. Вигнера (1941), С. Маттсона (1938) по изучению состава, строения и свойств почвенных коллоидов. Особенно в работах К.К. Гедройца было убедительно показано, что, несмотря на незначительное (по массе) содержание почвенных коллоидов, именно эта тонкодисперсная часть играет важнейшую роль в различных видах поглотительной способности почв, в агрохимических, агрофизических и мелиоративных свойствах почв, да и в целом, в выполнении биогеоценологических функций почв (Добровольский Г.В., 1990).

Очень сложным оказался вопрос о природе органического вещества почв, особенно о составе и структуре гуминовых кислот, содержащихся в почвах преимущественно в коллоидных фракциях. По словам И.В. Тюрина (1937), наиболее существенное расхождение, имеющее принципиальное значение для всей проблемы химической природы гумуса, касается того – является ли гумус сложным комплексом различных соединений, известных из химии растительных и животных веществ, или же в составе его присутствуют и являются для него характерными специфические соединения, отсутствующие в списке веществ растительного и животного происхождения.

Обобщая результаты своих исследований по этому вопросу, Тюрин пришел к выводу, что «в составе гумуса, наряду с соединениями известными из химии растительных и животных веществ, присутствуют и специфические соединения, возникающие из первых в результате особой категории процессов, которые характерны для гумуса, и которые нехарактерны для живой природы» (Тюрин, 1937).

Точка зрения И.В. Тюрина получила широкое признание среди исследователей, и гумусовые вещества (ГВ) почв определяли в большинстве научных монографий и учебных руководств как комплекс специфических высокомолекулярных азотсодержащих ароматических соединений кислотной природы. Были разработаны методики выделения ГВ из почв и их разделения по степени растворимости в щелочах и кислотах на гуминовые и фульвокислоты и нерастворимый гумин. Были выполнены обширные химические исследования по характеристике особенностей состава и свойств

гуминовых и фульвокислот в разных типах почв, по элементному составу, оптическим и гидрофильно-гидрофобным (Александрова, 1980; Дергачева, 1984; Кононова, 1963; Милановский, 2009; Орлов, 1990 и 2005; Попов, 2004; Тейт, 1991; Трофимов, 1997; Туев, 1989; Тюрин, 1937; Фокин, 1974 и 1975; Stevenson, 1994) свойствам, моле-кулярным массам и определению фрагментов структурного строения ГВ.

Однако, несмотря на все достижения и огромный накопленный за последние 100 лет экспериментальный материал, можно констатировать, что к настоящему времени в направлении изучения коллоидной составляющей и органического вещества почв сложилась достаточно непростая ситуация.

Связано это с отсутствием общепринятых, однозначных, детальных представлений о строении коллоидной составляющей и органического вещества (ОВ) почв<sup>1</sup> и с многообразием методов выделения коллоидной составляющей и ОВ почв для исследования (Артемьева, 2008; Беседин, 1954; Вадюнина, 1973; Ванюшина, 2003; Вильямс, 1936; Винокуров, 1942; Воронин, 1986; Ганжара, 1997 и 2001; Гедройц, 1922 и 1955; Горбунов, 1963; Ковда, 1988; Когут, 1990; Кононова, 1960, 1961 и 1963; Лактионов, 1974; Лейн, 1940; Лобицкая, 1966; Милановский, 2006 и 2009; Надь, 1957; Овчинникова, 2007; Орлов, 1981, 1990 и 2005; Пономарева, 1968; Соколовский, 1921; Титова, 1989 и 1995; Травникова, 1992 и 2001; Тюлин, 1958; Тюрин, 1937; Федотов, 2006; Хан, 1969; Шеин, 2005; Шинкарев, 2007; Grossman, 1967; Stevenson, 1994).

В течение длительного времени основой существующих представлений о почвах являлась и является физическая модель. В соответствии с ней почвы рассматривают как системы, состоящие из твердой, жидкой и газообразной фаз<sup>2</sup> (Вильямс, 1937; Воронин, 1986; Шеин, 2005). С позиций физической модели твердая фаза почвы состоит из частиц разного размера, а вещество может находиться либо в ионно-молекулярном состоянии в почвенном растворе, либо в состоянии микро- и макрочастиц.

Коллоидная составляющая почв с этих позиций представлена гелями, образованными коллоидными частицами, которые покрывают и связывают почвенные микро- и макрочастицы между собой (Винокуров, 1942; Ганжара, 2001; Ковда, 1988; Тюлин, 1958; Чухров, 1955). Считается, что ОВ либо адсорбировано на неорганических частицах, либо входит в состав почв в виде отдельных частиц, либо в небольших количествах находится в почвенном растворе.

---

<sup>1</sup>Речь идет не о химической структуре молекул ГВ. По этому вопросу высказаны определенные предположения и предложены различные модели фрагментов гуминовых кислот. Однако представления о ГВ в почвах как о физических объектах, об их форме и размерах, о морфологии образований, возникающих при взаимодействии ГВ между собой и с минеральными частицами, к сожалению, практически полностью отсутствуют.

<sup>2</sup>Понятие фазы в используемом контексте имеет смысл агрегатного состояния.

В течение длительного времени вполне естественной выглядела задача разделения частиц, составляющих почвы, на фракции и поиска эмпирических закономерностей между содержанием и составом различных фракций в почвах и свойствами почв. При этом полагали, что основная сложность на пути решения подобной задачи связана с агрегацией частиц, и если найти способ разделения агрегатов до моночастиц, то все проблемы снимутся.

В подобном подходе прослеживается часто встречающаяся в науке попытка понять свойства целого путем изучения его частей. Однако, подобные попытки могут быть успешными только в том случае, если мы имеем дело не с системой<sup>3</sup>, а со смесью, в которой связи между составляющими ее частями практически полностью отсутствуют.

Почва не является смесью из составляющих ее компонентов, это система, функционирующая как единое целое, и целостность этой системы и ее функционирование обеспечиваются почвенными гелями, которые покрывают и связывают почвенные частицы между собой (Винокуров, 1942; Ганжара, 2001; Ковда, 1988; Тюлин, 1958; Чухров, 1955). Фактически почвенные гели являются системообразующим компонентом почвы, превращая смесь частиц в единую систему – почву.

Подобная постановка вопроса требует иного подхода к изучению коллоидной составляющей почв – почвенных гелей. Разрушение и исследование разрушенной коллоидной составляющей почв для того, чтобы понять ее функции и влияние на свойства почв теряет смысл. Необходимо изучать те почвенные гели и в том состоянии, в котором они существуют в почвах. Только такой подход позволит нам приблизиться к пониманию поведения почвенных гелей и установить их влияние на функционирование почв в биосфере.

### *Структура почвенных гелей*

Существуют различные способы неразрушающего выделения гелей из почв. Одним из лучших является выделение гелей при помещении предварительно высушенных капиллярно увлажненных почвенных агрегатов в воду. На поверхность воды из агрегатов выделяются почвенные гели, образуя гелевые пленки (Grossman, 1967). Подобным способом гели легко выделять из почв, наносить на атомно-гладкие подложки и изучать их нано- и микроструктурную организацию.

---

<sup>3</sup>Система – целостность, обусловленная функциональным взаимодействием входящих в нее частей, и свойства системы складываются как из свойств, составляющих ее частей, так и определяются характером взаимодействия между этими частями – связями между ними. Поэтому, познав свойства частей системы, невозможно понять и предсказать ее поведение.

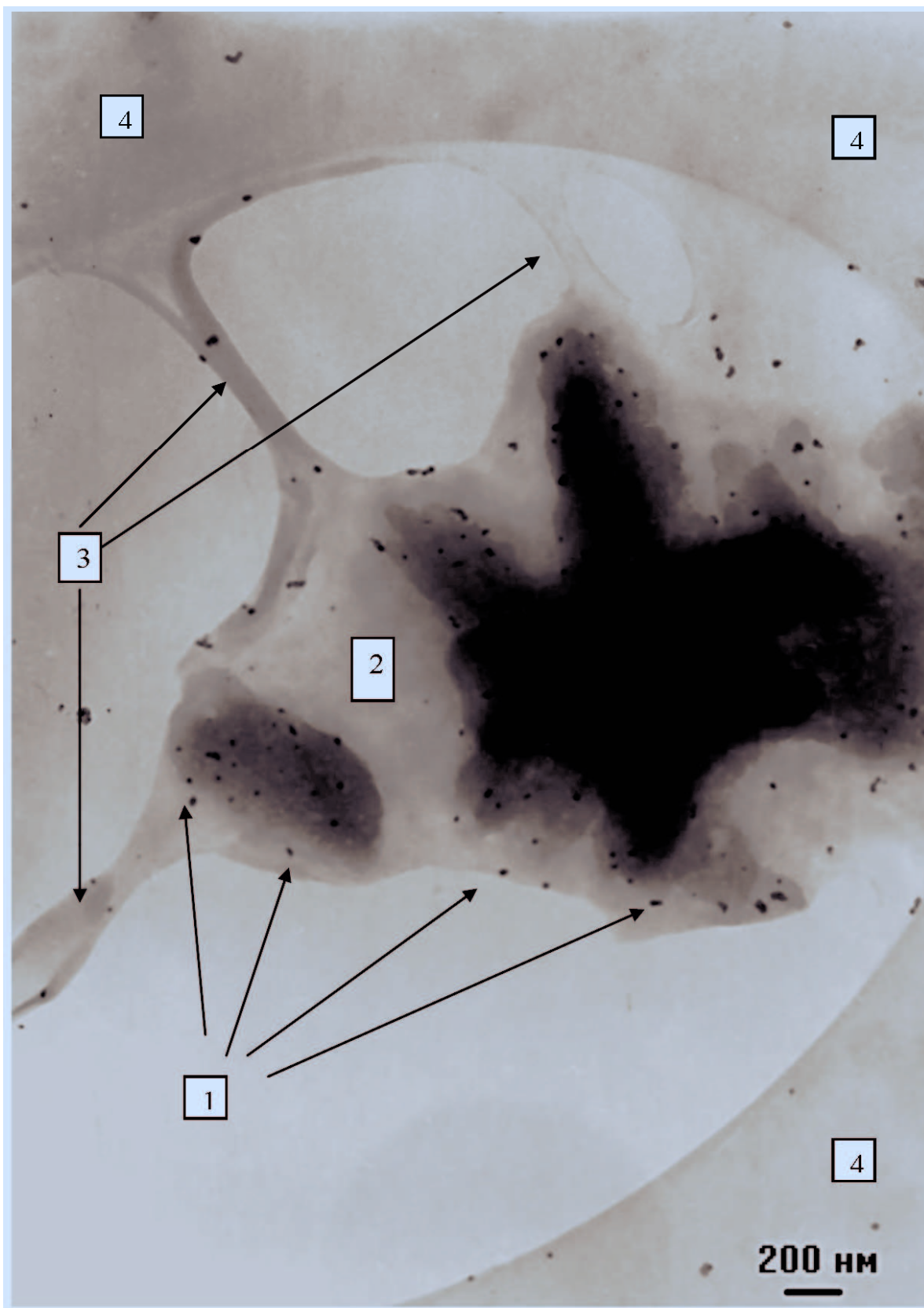


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение частицы илистой фракции дерново-подзолистой почвы. 1 – минеральные частицы; 2 – студнеобразная гумусовая матрица; 3 – полимерные тяжи; 4 – подложка

Электронно-микроскопические исследования почвенных гелей позволили сделать вывод о том, что основой почвенных гелей является гумусовый студень<sup>4</sup>, армированный минеральными частицами (Федотов, 2005 и 2006). Остановимся на некоторых из полученных данных.

Представленная в работе (Федотов, 2005) микрофотография (рис. 1) хорошо иллюстрирует сделанный вывод. При подготовке образца для исследования на просвечивающем электронном микроскопе частичка геля из илистой фракции попала на отверстие полимерной подложки и закрепилась на ее краях. При высушивании произошла усадка геля. На изображении хорошо видно, что в полупрозрачной для электронов органической матрице геля (2) хаотически располагаются непрозрачные для электронов, темные минеральные частички различных размеров (1). Сама органическая матрица при удалении воды изменялась, образуя тяжи (3), связывающие ее с подложкой (4), то есть вела себя как типичный полимерный высушиваемый студень.

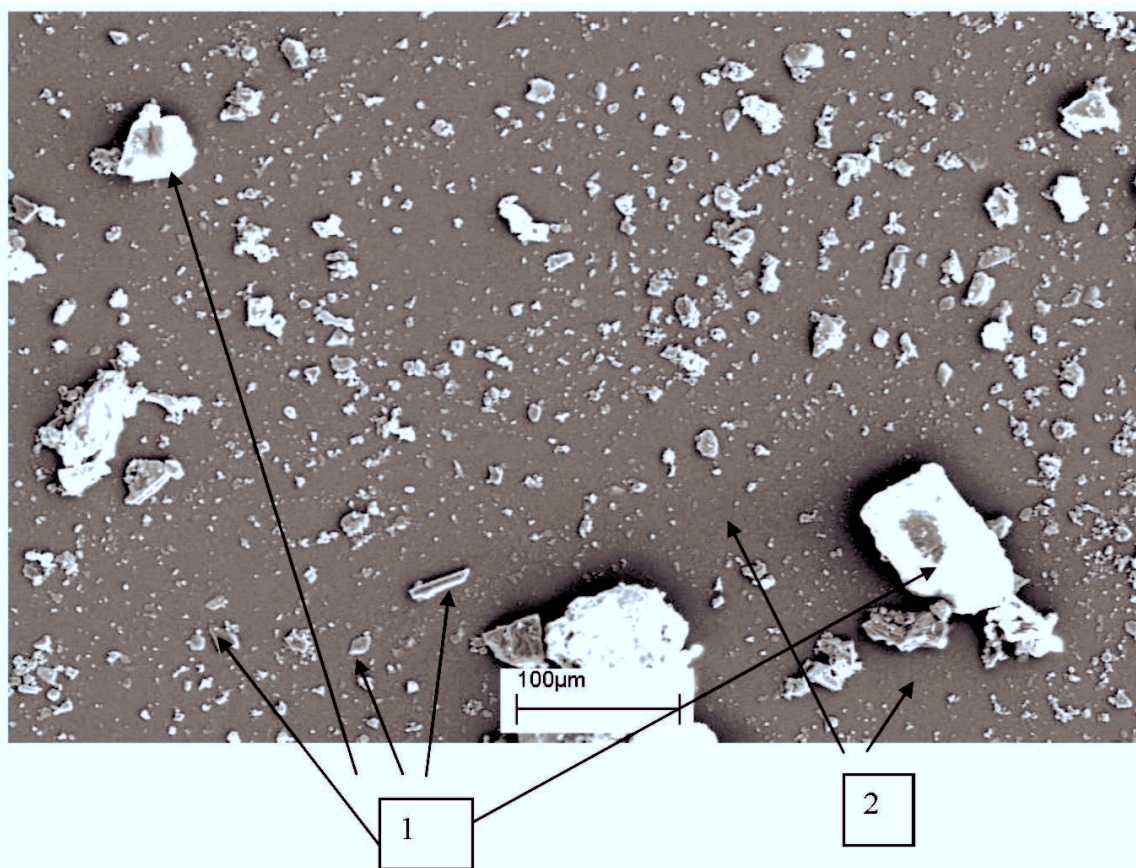


Рис. 2. Электронно-микроскопическая фотография пленки на подложке слюды, выделяющейся с поверхности почвенных агрегатов дерново-подзолистой почвы при увеличении 500х. 1 – минеральные частицы; 2 – невидимая на растровом электронном микроскопе гумусовая матрица

<sup>4</sup>Студни – структурированные (твёрдообразные) системы, состоящие из высокомолекулярных веществ и низкомолекулярных жидкостей.



Исследование почвенных гелей при помощи растрового электронного микроскопа позволило уточнить представления об армирующих почвенные гели минеральных частицах – их размере (Федотов, 2006) и составе (Назарова, 2009), а также подтвердило представления о том, что их основой является гумусовая матрица (рис. 2-3). Сама матрица в большинстве случаев не видна при изучении образцов гелей на растровом электронном микроскопе, но хорошо видны армирующие ее минеральные частицы (рис. 2). Однако в некоторых случаях при нанесении гелей на слюду происходили изгибы и разрывы органической матрицы, и ее удавалось увидеть и даже оценить толщину (рис. 3).

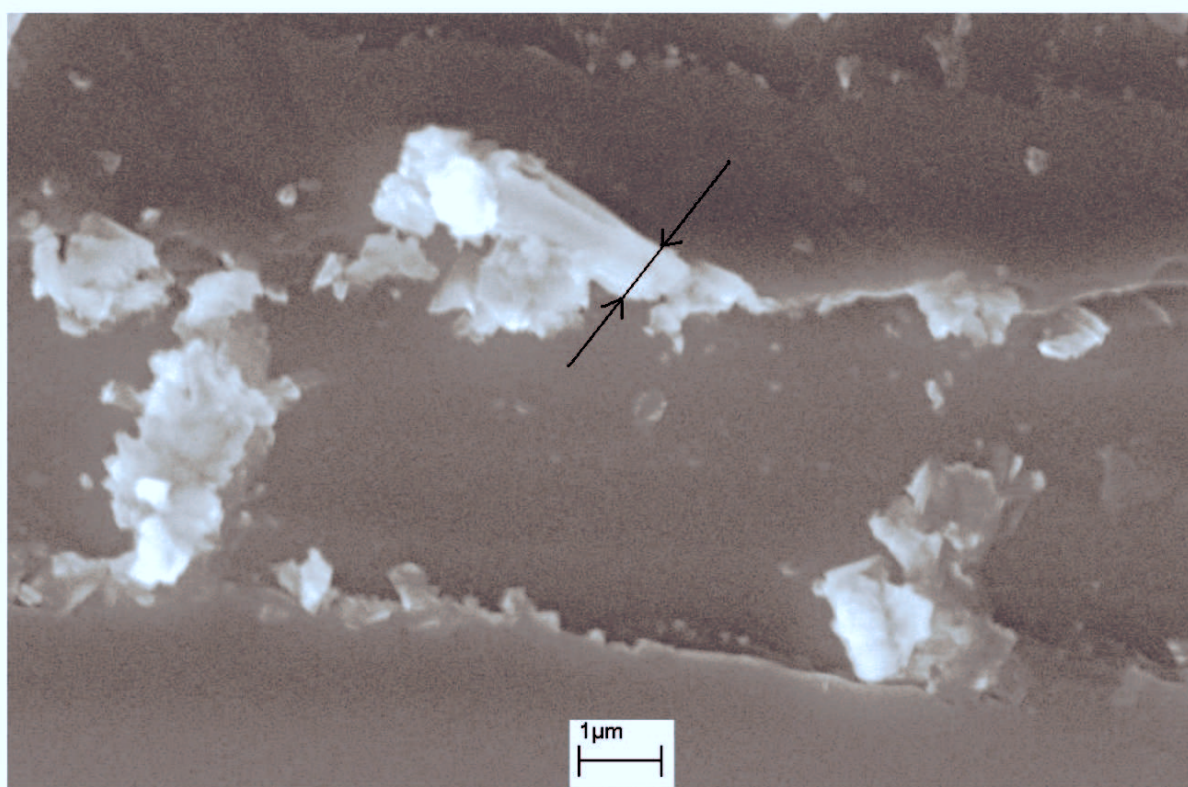


Рис. 3. Электронно-микроскопическая фотография пленки на подложке слюды, выделяющейся с поверхности почвенных агрегатов чернозема при увеличении 25000х

Было установлено, что при взаимодействии с водой армированный гумусовый студень ведет себя подобно многим полимерам – набухает, вбирая в себя воду и увеличиваясь в объеме, при высушивании происходит его усадка. Различные воздействия на почву изменяют состояние армированного гумусового студня, что приводит к изменению свойств почв (Федотов, Добровольский, 2006).

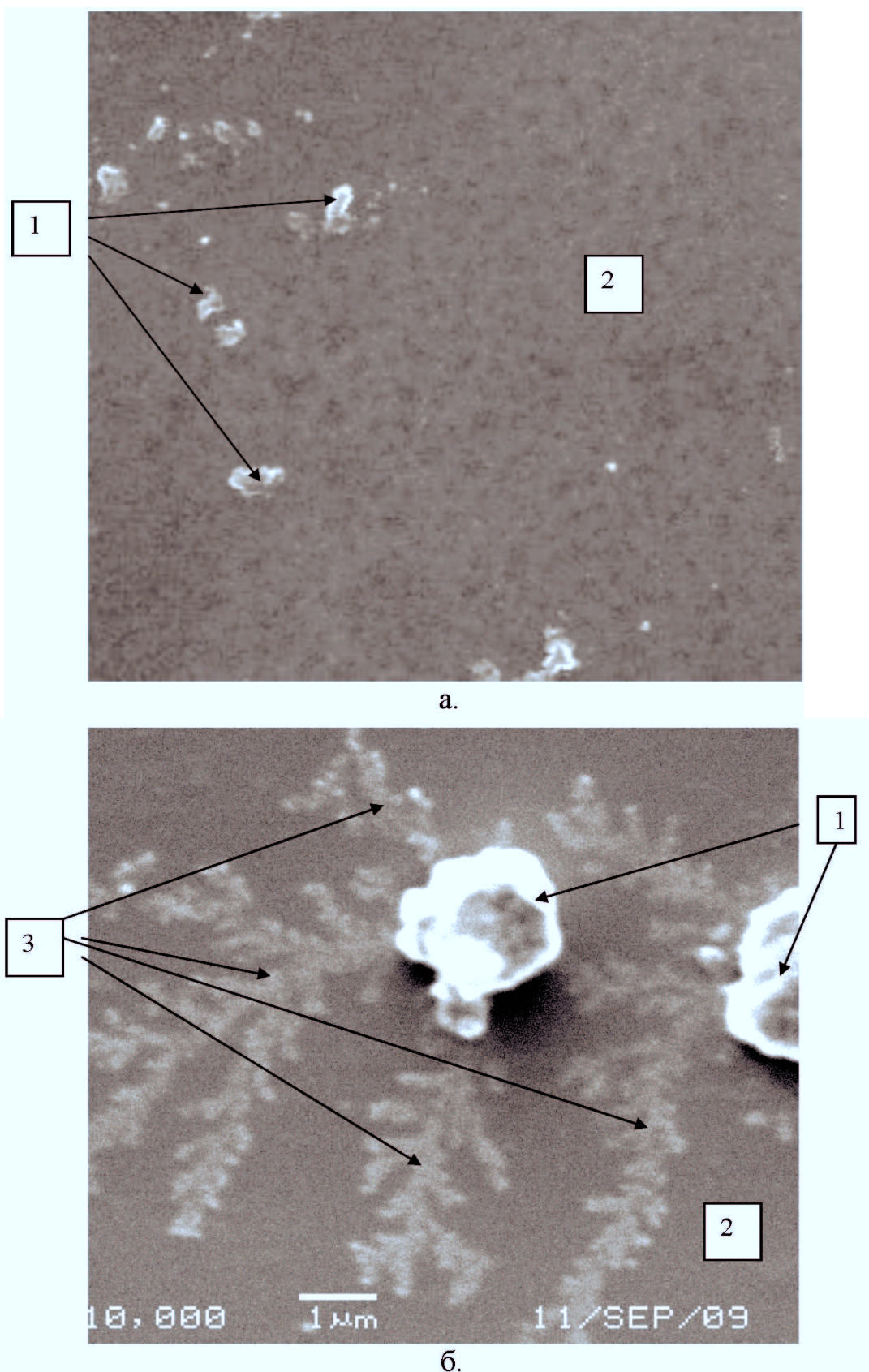
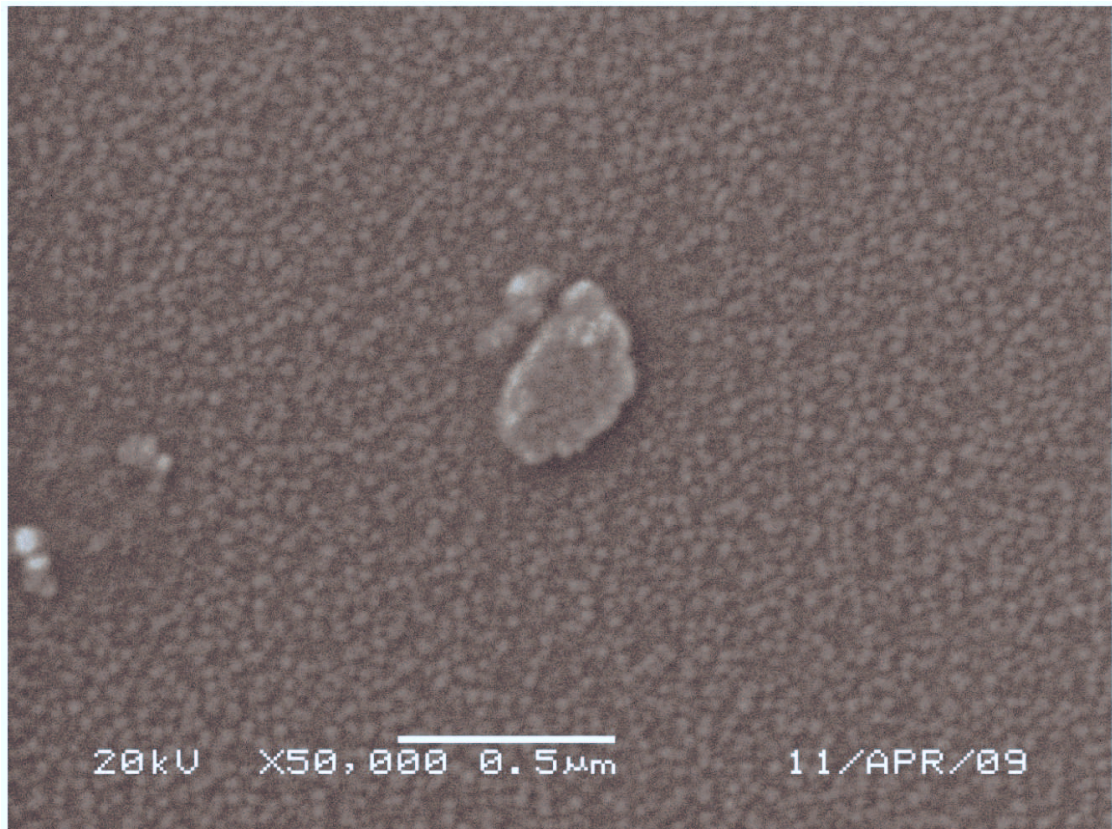
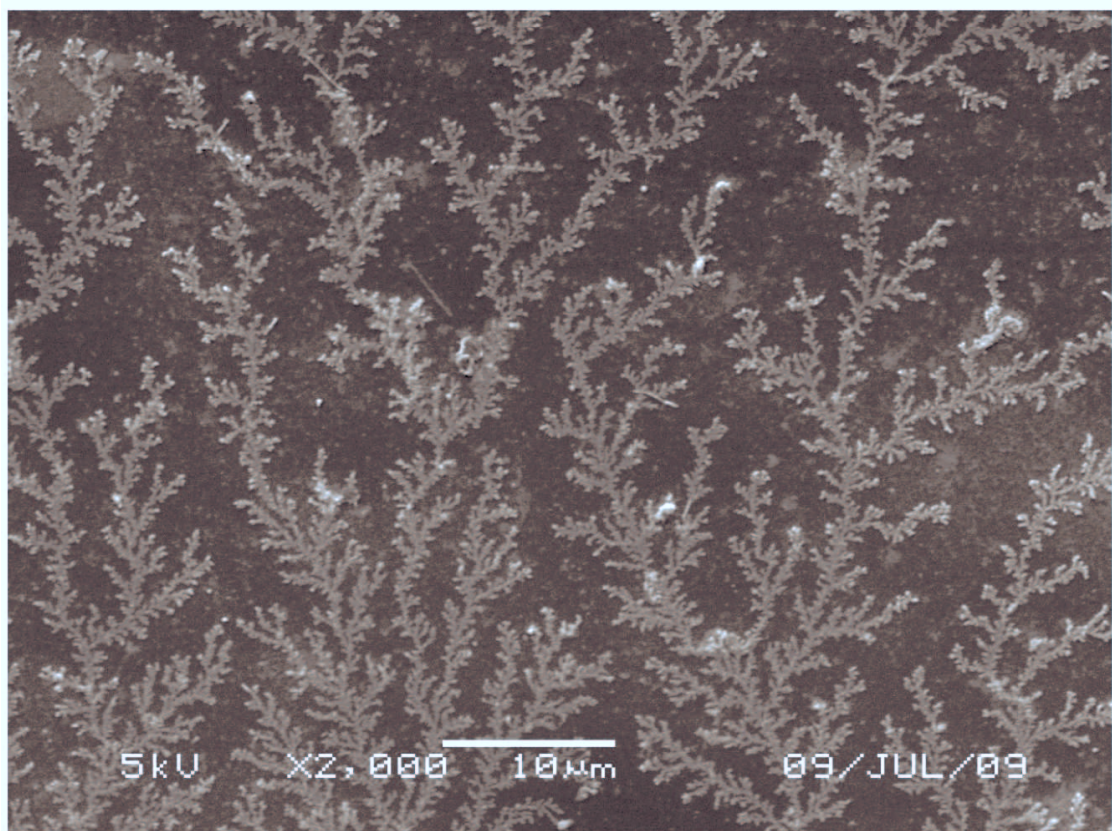


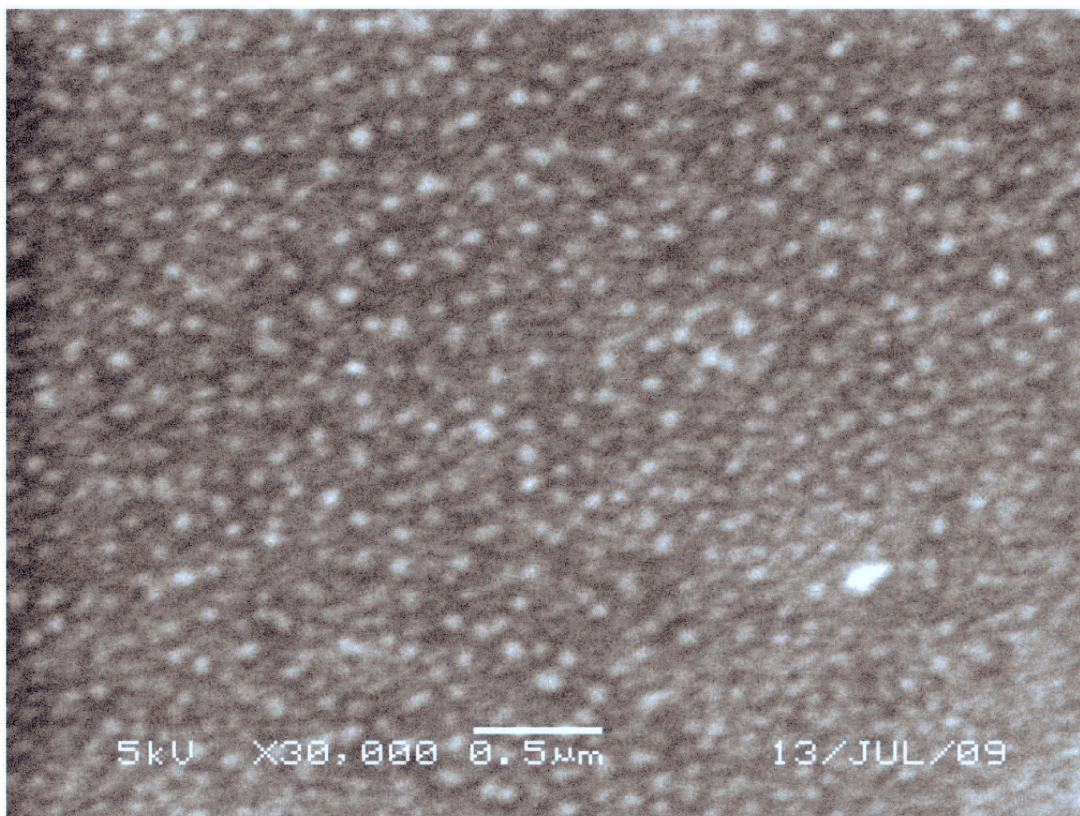
Рис. 4. Электронно-микроскопические фотографии гелевых пленок, самопроизвольно выделяющихся из дерново-подзолистой почвы (а) (область 6×6 мкм) и чернозема (б)



a.



b.

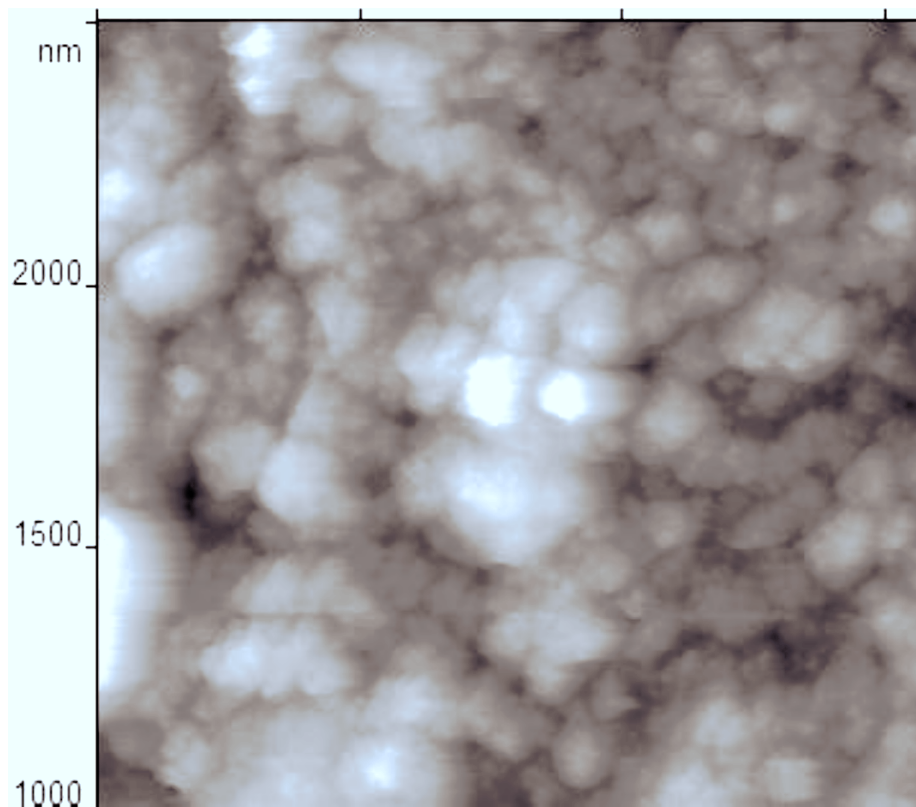


В.

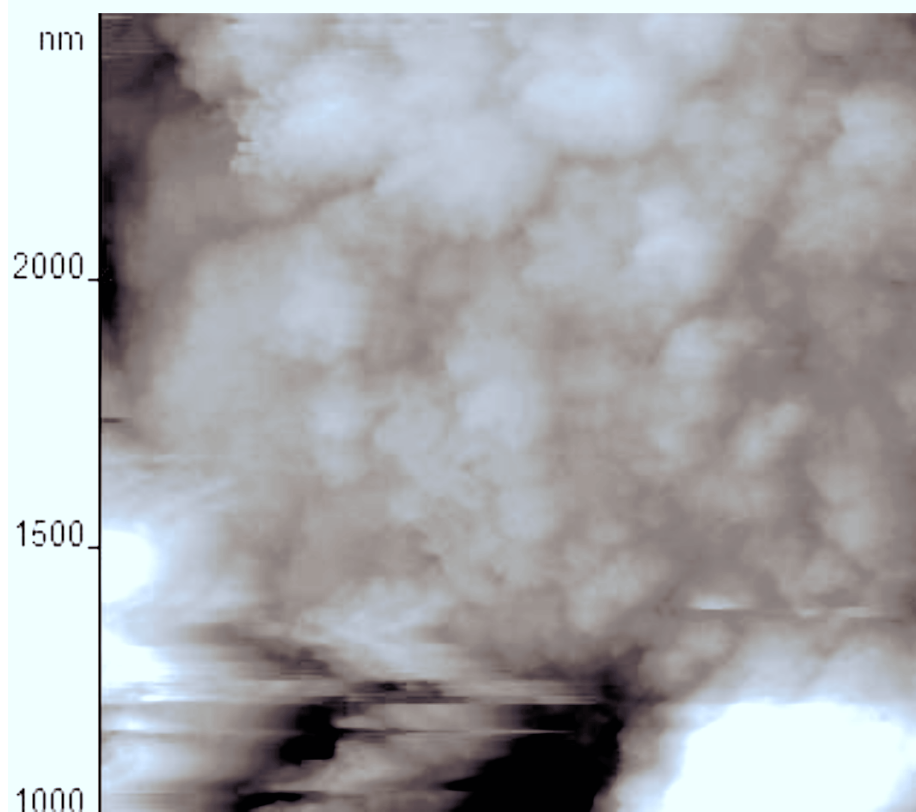
Рис. 5. Микрофотографии щелочной вытяжки из торфа, нейтрализованной катионитом в Н-форме после взаимодействия с каолинитом (а), при добавлении в раствор перед нейтрализацией в виде алюмината калия 3,1% алюминия (б) по отношению к гумусу, 2,5% полиэтиленгликоля (в)

Следует отметить, что при этом подходе гумусовый студень воспринимали как некую однородную субстанцию – органическую матрицу, вмещающую минеральные частицы. Однако подобные модельные представления противоречили современным данным о поведении полимерных систем (Рамбиди, 2008; Халатур, 2001; Хмелевская, 2000; Хохлов, 1997 и 1998) и требовали уточнения.

Дальнейшее изучение почвенных гелей методами электронной микроскопии показало (Федотов, 2010), что органическая матрица часто неоднородна и в ней наблюдается определенная организация (рис. 4). На микрофотографии (рис. 4, а) хорошо различимы не только светлые неорганические частицы, но и пестрота поверхности органической части геля, состоящего из темных и более светлых областей. На другом изображении (рис. 4, б) видно, что более светлые, а значит более плотные и возвышающиеся над поверхностью области образуют дендриты, берущие начало от неорганических частиц, входящих в состав гелей. Подобная организация характерна также и для других систем (рис. 5), основой которых являются гумусовые вещества (Федотов, 2009).



а.



б.

Рис. 6. Изображение, гелей, выделенных из серой лесной почвы (а) и чернозема (б), полученное при помощи туннельного микроскопа

Было очевидно, что для развития наших представлений о почвенных гелях, во многом определяющих их свойства, необходимо понять строение почвенных гелей и выяснить причины и механизм организации их органической составляющей.

В работах (Федотов, 2008; Федотов, Рудометкина, 2010) было проведено исследование почвенных гелей при помощи туннельного и атомно-силового микроскопов. Было показано, что почвенные гели состоят из частиц округлой формы размером от нескольких десятков до нескольких сотен нанометров. Это хорошо видно на изображениях, полученных на образцах серой лесной почвы и чернозема (рис. 6).

Было отмечено (Федотов, 2011), что подобные образования обладают определенной самостоятельностью и переходят из влажных почв на внесенные в них предметы, создавая на них слой геля (рис. 7).

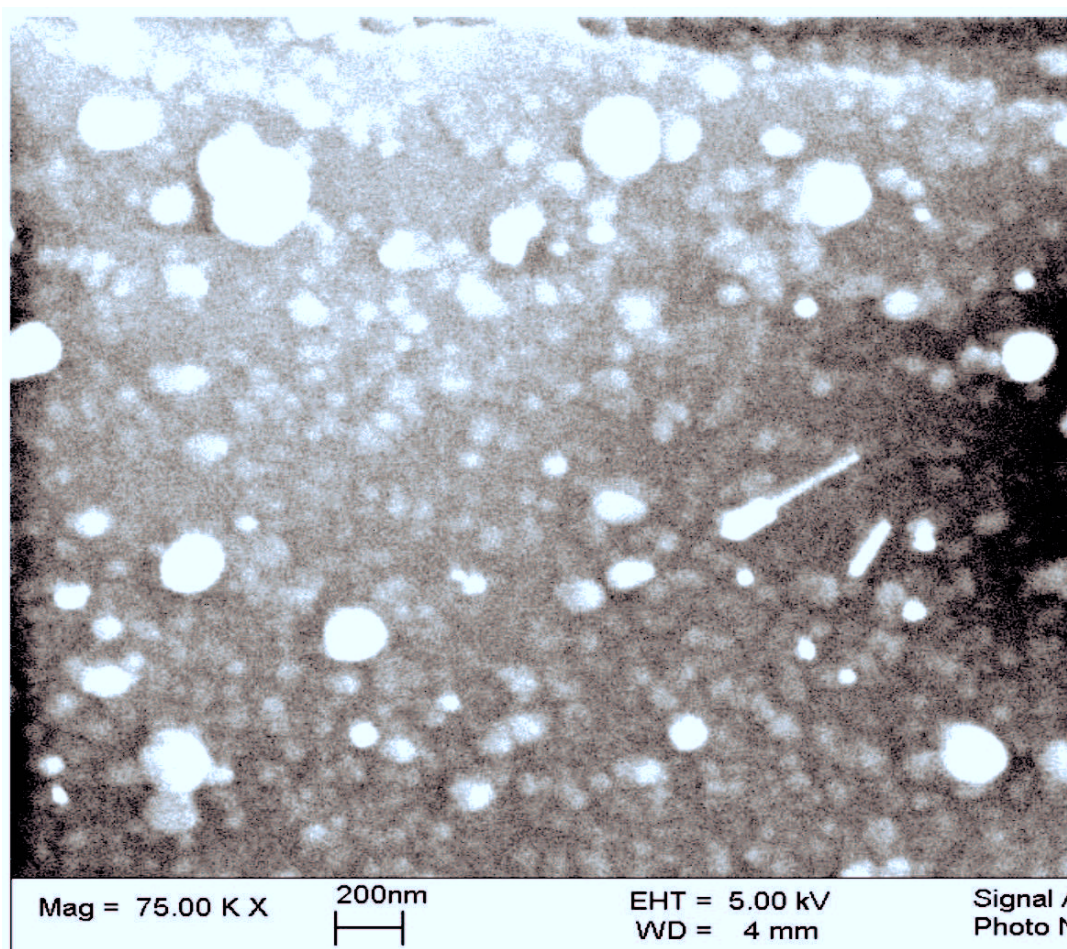


Рис. 7. Полученные при помощи РЭМ изображения гелей, образующихся при самопроизвольном переходе кластеров ГВ из влажного чернозема на слюду

Сравнение этих данных с результатами, полученными при исследовании коллоидной составляющей почв при помощи просвечивающего электронного микроскопа (Федотов, 2005), почвенных гелей при помощи растрового электронного микроскопа (Федотов, 2006), а также обнаружение частиц такого же размера при изучении растворов ГВ методами фотон-

корреляционной спектроскопии (Чеканова, 2008) и малоуглового рассеяния нейтронов (МУРН) (Österberg, 1992; Senesi, 1996 и 1997) позволили сделать вывод об их органической природе.

На изображениях, полученных на туннельном микроскопе (рис. 6) заметно, что наблюдаемые образования состоят из более мелких частиц, размеры которых были ранее определены в работе (Федотов, Рудометкина, 2010-2) и варьируют для почв различных типов, составляя для чернозема, в основном, 8-12 нм и для дерново-подзолистой почвы 2-5 нм.

Эти данные позволяют заключить, что органическая матрица почвенных гелей состоит из частиц размером от многих десятков до нескольких сотен нанометров, которые, в свою очередь, возникают при объединении первичных частиц ГВ размером несколько нанометров.

Представления о структурной организации первичных частиц ГВ в более крупные образования (будем в дальнейшем называть их кластерами<sup>5</sup>) размером от нескольких десятков до нескольких сотен нанометров можно получить, сравнивая данные по изучению растворов ГВ (Österberg, 1992; Senesi, 1996 и 1997) и почв (Федотов, Третьяков, Иванов, 2005 а и б; Федотов, Третьяков, Пахомов, 2006) методом МУРН. В обоих случаях отмечали фрактальную организацию как кластеров ГВ в растворах, так и коллоидной составляющей почв. В почвах фрактальную организацию почвенных гелей (Федотов, Третьяков, Иванов, 2005 а и б; Федотов, Третьяков, Пахомов, 2006) пытались объяснить специфическим расположением в однородной матрице гумусового студня неорганических частиц. Однако ряд полученных данных противоречил подобной трактовке результатов исследования почв методом МУРН. В частности, был совершенно непонятен механизм возникновения фракталов из неорганических частиц. Невозможно также было дать и корректное объяснение изменению фрактальных характеристик почв при термообработках (Федотов, Третьяков, Пахомов, 2006). Сопоставление результатов, полученных при изучении растворов ГВ методом МУРН, с данными о фрактальной организации коллоидной составляющей почв, полученных этим же методом, а также размеров первичных частиц ГВ (Федотов, 2006) с размерами минеральных частиц в почвах<sup>6</sup> (Carlos, Vaz, 2002) позволяет обоснованно предположить, что кластеры из частиц ГВ в почвах тоже организованы фрактально.

---

<sup>5</sup>Кластер - объединение нескольких однородных элементов, которое может рассматриваться как самостоятельная единица, обладающая определёнными свойствами. В химии кластер рассматривается как сложное объединение нескольких атомов или молекул, обладающее определенной структурной организацией.

<sup>6</sup>При изучении объектов методом МУРН регистрируемый сигнал является суммарным сигналом от всех объектов, находящихся в объеме образца, через который проходит пучок нейтронов. Причем вклад каждой составляющей образца пропорционален ее поверхности. Нанометровый размер частиц ГВ предопределяет их основной вклад в суммарный сигнал даже с учетом их небольшого содержания в образце.

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что основой почвенных гелей – их гумусовой матрицы являются фрактальные кластеры, состоящие из первичных частиц ГВ.

### ***Природа первичных частиц гумусовых веществ***

Теперь остановимся на природе первичных частиц ГВ. Гумусовые вещества в течение длительного времени воспринимали как набор макромолекул<sup>7</sup> (Александрова, 1949; Кононова, 1963; Орлов, 1990; Тюрин, 1937; Stevenson, 1994), и с этих позиций почвенные гели надо было бы рассматривать как системы, основой которых являются фрактальные кластеры из макромолекул ГВ. Однако в последнее десятилетие появились новые, принципиально иные подходы к строению ГВ в растворах. Отвергаются существующие традиционные представления о том, что ГВ имеют макромолекулярную природу. На основе экспериментальных данных, полученных с использованием большого числа современных методов, показано, что ГВ – ассоциаты<sup>8</sup> относительно низкомолекулярных компонентов, возникающих при деградации и разложении биологического материала, объединенных и стабилизированных, в основном, слабыми связями (Kerner, 2003; Piccolo, 2001; Schaumann, 2006; Šmejkalova, 2008; Sutton, 2005). Именно это является главным в структуре ГВ. Доказано, что они представляют собой супрамолекулярные структуры<sup>9</sup> (Лен, 1998), построенные по принципу «гость-хозяин», стабилизированные, в основном, нековалентными связями. Гидрофобные, Ван-дер-Ваальсовы,  $\pi$  -  $\pi$ , СН -  $\pi$  и водородные связи ответственны за большой размер молекул ГВ.

Подтверждением супрамолекулярной природы ГВ в почвах являются экспериментальные данные, полученные разными авторами при изучении гумуса почв, которые трудно было объяснить, оставаясь на позициях макромолекулярности (полимерной природы) ГВ:

---

<sup>7</sup>Исторически сложилось, что макромолекулами называют молекулы веществ, имеющих молекулярную массу ориентировочно более 10 тысяч Дальтон, причем все части этих молекул связаны между собой в единую молекулу (макромолекулу) ковалентными связями.

<sup>8</sup>Ассоциация - объединение простых молекул или ионов в более сложные, не вызывающие изменения химической природы вещества.

<sup>9</sup>Необходимо отметить, что в термине «супрамолекулярные соединения» оба слова являются ключевыми. Термин «супрамолекулярный» означает, что соединения возникают за счет нековалентных связей, а термин «соединения» содержит информацию о том, что это не смеси, а образования, имеющие определенные состав и структуру. Как любые соединения они возникают не из всякого набора компонентов, и если в смеси органических веществ возможно образование супрамолекулярных соединений, то они могут образоваться из части органических молекул смеси, а остальные органические молекулы останутся свободными. Супрамолекулярные соединения делятся на две группы – супермолекулы и супрамолекулярные ансамбли. Супермолекулы – соединения, имеющие четкие состав и структуру. Супрамолекулярные ансамбли имеют определенную структуру и соотношение между образующими их молекулами. Размер и соответственно количество образующих их молекул может меняться. Типичным представителем супрамолекулярных ансамблей являются мембраны.



1. Установлено, что происходит отщепление фрагментов гумусовых полимеров и восстановление их строения путем встройки фрагментов, подобных отщепленным, в гумусовую матрицу (Фокин, 1975).
2. Установлено, что при деструкции гуминовых кислот образуются, в том числе и фульвокислоты (Орлов, 2005).
3. Показано, что при замораживании в почвах резко возрастает количество гуминовых кислот (ГК) и гуминов (Дергачева, 1984).
4. Выяснено при изучении состава гумуса дерново-подзолистой супесчаной почвы в годичном цикле, что суммарное содержание фульвокислот (ФК) изменялось в обратном отношении с содержанием ГК (Дергачева, 1984).
5. Установлено существование сезонной динамики гумуса в почвах. При этом в ряде случаев при практически неизменном содержании углерода в почвах отношение  $C_{ГК}/C_{ФК}$  может изменяться в несколько раз за месяц (Дергачева, 1984).
6. При внесении в почву ГК определенной молекулярной массы последующее извлечение гумуса из почвы показывает, что в почве снова находится весь спектр полимеров по молекулярной массе, а обогащения ГК с молекулярной массой, соответствующей внесенным ГК, не наблюдается (Карпачевский, 2005).

Первый из представленных результатов является естественным следствием супрамолекулярной организации ГВ.

Второй из представленных результатов свидетельствует, что из низкомолекулярных органических веществ, образующихся при распаде супермолекул ГК, возможно образование супермолекул ФК. Факт довольно интересный, но с позиций строения супермолекул вполне возможный.

Данные, приведенные в 3, 4 и 5 пунктах говорят о том, что при воздействии замораживания-оттаивания, а также при поступлении в почвы продуктов деструкции биологических веществ или потреблении наиболее активной части органического вещества почв микроорганизмами может происходить перестройка части ГК в ФК и обратно. Вывод достаточно важный, так как свидетельствует о возможности изменения состава и строения супермолекул ГВ в почвенных гелях.

Последний из приведенных результатов говорит о доминирующей роли фрактальных кластеров из супермолекул ГВ над структурой отдельных супермолекул ГВ. Избыточным супермолекулам ГВ в них места нет, и эти образования из супермолекул ГВ (кластеры) заставляют перестраиваться избыточные супермолекулы ГВ в те супермолекулы, которые им нужны. Все это позволяет сделать вывод, что образования из супермолекул ГВ (кластеры) являются Системой, обладают четкой структурной организацией, и в них соотношение и вид супермолекул ГК и ФК является строго определенным.

Таким образом, почвенные гели, которые объединяют и связывают почвенные частицы, определяя большинство свойств почв, возникают при объединении фрактальных кластеров супермолекул ГВ.

Все вышеизложенное позволяет выделить несколько уровней организации ГВ веществ в почвенных гелях и в почвах (табл. 1):

1. Молекулы низкомолекулярных веществ, образующиеся в результате распада поступающих в почвы биологических остатков.
2. Супермолекулы гумусовых веществ.
3. Фрактальные кластеры из супермолекул гумусовых веществ.
4. Почвенные гели, возникающие при объединении фрактальных кластеров супермолекул гумусовых веществ.

Подобный подход позволяет понять, что при проведении экспериментальных исследований изучается не вообще гумус почвенных гелей, а система ГВ на определенном уровне ее организации. Как следствие, становится ясно, какую информацию можно получить при изучении каждого из уровней организации ГВ, а также появляется возможность выбрать методы исследования этих уровней организации ГВ в почвах.

Следует добавить, что предложенный подход позволяет понять структурную организацию ГВ в почвах со статических позиций, так как в нем не рассматриваются концентрационные границы, при которых происходят переходы с одного организационного уровня ГВ на другой. Ответить на все эти вопросы в настоящее время не представляется возможным, так как отсутствует информация о составе и концентрациях низкомолекулярных органических веществ, при которых образуются супермолекулы ГВ.

Объединение фрактальных кластеров из супермолекул ГВ в гели, на наш взгляд, в настоящее время тоже изучено недостаточно, чтобы можно было делать какие-то выводы. Вопрос же об ассоциации супермолекул ГВ и образовании из них кластеров проработан достаточно хорошо.

Значения критических концентраций агрегирования определяют, чаще всего, методами оптических исследований. Из спектров флуоресценции (длина волны возбуждения – 468 нм) для растворов с концентрациями гуминовой кислоты от 1 до 100 мг/л (Евдокимов, 2008; Fasurova, 2006) следует, что при самых малых концентрациях, на монотонном «фоне» спектров отчетливо виден изолированный пик.

С ростом концентрации интенсивность «фона» начинает быстро расти, а высота пика – быстро убывать. Изменения, связанные с самоассоциацией молекул, заметны уже при столь малых концентрациях как 1 мг/л, а завершение данной стадии агрегирования происходит при концентрациях, не превышающих 15-20 мг/л. Агрегирование в растворах гуминовых кислот при концентрациях 10-30 мг/л наблюдали и другие исследователи (Евдокимов, 2008; Palmer, 2001; Reid, 1991). При этом считается, что формирование кластеров из гуминовых кислот происходит посредством неко-

валентных взаимодействий (Евдокимов, 2008; Langford, 2005; Reid, 1991; Sutton, 2005).

Таблица 1. Уровни организации и методы исследования гумусовых веществ

Уровни организации гумусовых веществ		Параметры и свойства ГВ, изменяющиеся на данном уровне организации	Методы, позволяющие изучать ГВ на данном уровне организации
1	Молекулы низкомолекулярных веществ	На этом уровне можно изучать состав и природу низкомолекулярных веществ, из которых образованы супермолекулы ГВ, прочность их закрепления в супермолекулах, способность к обмену на другие низкомолекулярные вещества.	Использование меченых атомов, различные виды хроматографии и электрофореза, масс-спектрометрия, спектральные методы, ЭПР, ЯМР.
2	Супермолекулы ГВ, образующиеся в результате взаимодействия низкомолекулярных веществ за счет нековалентных связей	Их изучение позволяет выяснить структуру, размер, форму и вид супермолекул ГВ, а также их изменение под влиянием различных факторов, распределение в них функциональных групп, характер взаимодействия с различными веществами и между собой, соотношение разных видов супермолекул ГВ в почвах, биологическую активность супермолекул ГВ.	РЭМ, ПЭМ, АСМ, СТМ, другие виды зондовой микроскопии, фотон-корреляционная спектрометрия, различные виды хроматографии и электрофореза, спектральные методы, потенциометрическое титрование, фракционирование ГВ и химические методы анализа, методы оценки различных типов биологической активности.
3	Кластеры из супермолекул ГВ	Изучение ГВ на этом уровне позволяет выяснить структуру, размер, форму и вид кластеров из супермолекул ГВ, тип связей в кластерах, а также их изменение под влиянием различных факторов, характер взаимодействия с различными веществами и их биологическую активность.	РЭМ, ПЭМ, АСМ, СТМ, другие виды зондовой микроскопии, малоугловое рассеяние нейтронов и рентгеновских лучей, фотон-корреляционная спектрометрия, различные виды хроматографии и электрофореза и химические методы анализа, методы оценки различных типов биологической активности.
4	Гели почв, возникающие при объединении кластеров супермолекул ГВ и включающие в свой состав минеральные частицы	Изучение гелей позволяет выяснить их структурную организацию и ее изменения под влиянием различных факторов, химический и минеральный составы гелей, характер объединения частиц ГВ и минералов при образовании гелей.	РЭМ, ПЭМ, зондовый микроанализ, АСМ, СТМ, другие виды зондовой микроскопии, рентгено-фазовый и рентгено-флуоресцентный анализы, химические методы анализа.

Для того, чтобы понять величину движущей силы процесса, его имеет смысл рассмотреть с точки зрения выпадения осадка. Оценка показывает, что движущая сила процесса объединения супермолекул ГВ огромна, так как его произведение растворимости (ПР) близко к ПР<sub>ZnS</sub> и намного меньше ПР<sub>AgBr</sub>. Результат достаточно странный, ведь поверхностное натяжение кристаллических фаз, определяющее избыточную поверхностную энергию в подобных системах, должно намного превосходить поверхностное натяжение супермолекул ГВ.

Для объяснения этого неожиданного эффекта рассмотрим процесс объединения (коагуляции) мелких частиц подробнее. Он связан с высокой поверхностью мелких частиц и наличием в системе избыточной поверхностной энергией. Однако при объединении частиц, которые заряжены и окружены ионной атмосферой, происходит термодинамически невыгодное перекрывание ионных атмосфер, уменьшающее движущую силу процесса. Для супермолекул ГВ природа устранила это препятствие. Поверхность супермолекул ГВ мозаична и состоит из гидрофильных и гидрофобных участков. Поэтому кластеры из супермолекул ГВ возникают при взаимодействии частиц супермолекул ГВ между собой через гидрофобные участки, диффузные атмосферы при объединении частиц не перекрываются, и это увеличивает движущую силу процесса.

В таких системах оптимальной должна являться структура следующая принципу «минимакса» – максимального заполнения пространства при минимальном объеме материала. Именно при подобном заполнении пространства вероятность перекрытия ионных атмосфер различных супермолекул кластера будет минимальна, и именно подобное заполнение пространства характерно для фрактальных образований.

Образование фрактальных кластеров решает задачу повышения прочности связи молекул низкомолекулярных веществ в супермолекулах ГВ, так как их вхождение в состав фрактальных кластеров приводит к дополнительной стабилизации супермолекул ГВ.

### ***Супрамолекулярность, образование и функционирование ГВ в почвах***

Исследованию ГВ посвящено огромное число работ (Александрова, 1980; Дергачева, 1984; Кононова, 1963; Милановский, 2009; Орлов, 1990 и 2005; Попов, 2004; Тейт, 1991; Трофимов, 1997; Туев, 1989; Тюрин, 1937; Фокин, 1974 и 1975; Stevenson, 1994). Однако до настоящего времени природа и механизм возникновения ГВ до конца не выяснены.

Следует отметить, что в течение длительного периода времени при изучении ГВ исходили и исходят из нескольких ставших классическими положений, часть из которых установлена экспериментально, а часть принята в качестве аксиом:

- ГВ представляют собой полимерные макромолекулы со сложной структурой, в которые углерод, азот, кислород и ряд других элементов входят в определенных соотношениях<sup>10</sup>;
- ГВ возникают в результате полимеризации при воздействии на органическое вещество почв биологических катализаторов (ферментов);
- ГВ представляют собой термодинамически наиболее устойчивые в условиях почв органические соединения.

Наиболее полно данный подход отражен у Д.С. Орлова (Орлов, 1990). Фактически он состоит в попытке получения ответа на ряд очевидных и часто возникающих вопросов (что, как и почему). На первый вопрос отвечают путем проведения экспериментальных исследований, а последние два в большой степени являются аксиомами, так как однозначных экспериментальных подтверждений получено не было.

Хорошо видно, что при подобном подходе ГВ рассматривают не с позиций сложных неравновесных систем, в которых они выполняют определенную функциональную роль, а во главу угла ставятся сами гумусовые вещества как химические соединения.

Попытаемся понять причины образования и функционирование ГВ с позиций их места и роли в почве и экосистеме в целом.

А.Лотка сформулировал экстремальный принцип, которому подчиняются существование и функционирование экосистем: «Эволюция экосистем идет в сторону увеличения суммарного потока энергии через систему, причем в стационарном состоянии достигается его максимально возможное значение». Позднее К. Уатт выразил это положение следующим образом: «Сообщество животных и растений в любом месте земного шара представляет собой ансамбль видов, который обеспечивает максимальное использование падающей на Землю солнечной радиации при том типе почв, который характерен для данного района» (Трофимов, 1997).

Из этого следует, что процессы, происходящие в почвах, должны, во-первых, обеспечивать эффективное поглощение растениями физиологически активной радиации, а, во-вторых, должны эффективно расходовать поглощенную энергию. Таким образом, для ГВ должно быть характерно свое целеполагание, заключающееся в том, что образование и функционирование ГВ должны быть направлены на обеспечение существования в почвах комфортных условий для почвенной микрофлоры и растений (почвенного гомеостаза) при минимальных затратах энергии.

Не вызывает сомнения, что гумусовые вещества возникают под воздействием почвенных микроорганизмов, которые приспособливают среду для своего существования. Поэтому, в первую очередь, необходимо обра-

---

<sup>10</sup>В первое положение можно добавить оптические свойства ГВ, наличие функциональных групп и т. д.

тить внимание на взаимоотношение между этими компонентами системы и понять, в чем заключается польза ГВ для микроорганизмов.

С существовавших в течение длительного времени позиций взаимоотношение между макромолекулами ГВ и микроорганизмами состояло в том, что микроорганизмы, выделяя ферменты, разлагают опад<sup>11</sup> до компонентов, из которых под влиянием других ферментов происходит полимеризация низкомолекулярных органических веществ с образованием ГВ. Причем при недостатке органических питательных веществ микроорганизмы выделяют ферменты, разлагающие макромолекулы ГВ до низкомолекулярных веществ, пригодных для питания.

Из изложенной схемы видно, что с точки зрения энергоэффективности подобные взаимоотношения не могут быть основой почвенного гомеостаза, так как процессы образования ферментов энергозатратны, и выигрыш энергии для микроорганизмов в этом случае будет минимален. Следовательно, объяснить с позиций макромолекулярной (полимерной) природы ГВ их необходимость для микроорганизмов достаточно сложно.

Изменение представлений о ГВ с макромолекулярного на супрамолекулярное<sup>12</sup> с точки зрения их роли в создании почвенного гомеостаза все принципиально меняет. В виде супермолекул ГВ способны выполнять роль «склада» низкомолекулярных органических соединений для питания микроорганизмов в условиях дефицита опада. Причем процесс возникновения супермолекул ГВ протекает без затрат энергии, так как не требует для своей реализации выделения микроорганизмами ферментов.

Получение микроорганизмами из супермолекул ГВ низкомолекулярных органических продуктов тоже может происходить без затрат энергии, если последние заменяются на молекулы-метаболиты, выделяющиеся из микроорганизмов. В этом случае микроорганизмы решают сразу две задачи – получают питание и утилизируют отходы. Процесс замены низкомолекулярных органических продуктов ГВ на метаболиты микроорганизмов, протекающий во времени, приводит к изменению ГВ, и он хорошо известен в почвоведении как созревание ГВ.

Все вышеизложенной позволяет в общей форме представить механизм образования ГВ.

Микроорганизмы выделяют экзогенные ферменты, которые осуществляют деструкцию и изменение различных (прежде всего биополимерных молекул) поступающих с опадом в почву.

В области, примыкающей к частице опада (например, к частице растительного остатка) в благоприятных для работы ферментов и жизнедеятельности выделяющих их микроорганизмов условиях, создается высокая

---

<sup>11</sup>К опадку следует относить растительные остатки, остатки животных и насекомых и их выделения, отмерших простейших и микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности.

<sup>12</sup>Термины «супрамолекулярность» и «супрамолекулярный» означают, что химические соединения возникают за счет слабых, нековалентных взаимодействий.

концентрация различных низкомолекулярных веществ, образующихся при деструкции биополимерных молекул из частицы этого опада.

Неравновесность в системе, связанная с накоплением продуктов реакции деструкции растительного остатка, ведет к замедлению процесса деструкции. Для продолжения реакции деструкции с точки зрения кинетики продукты реакции должны уйти из зоны реакции. Этот процесс может быть реализован в системе тремя путями:

1. Низкомолекулярные органические вещества перемещаются вниз по почвенному профилю, но в этом случае уменьшается эффективность работы всей системы и нарушается принцип энергоэффективности (энергосбережения) из-за потерь органического вещества для почвенной биоты и экосистемы в целом.

2. При достижении определенных концентраций и соотношении низкомолекулярных компонентов в почвенном растворе происходит качественное изменение в системе – возникают супермолекулы ГВ. Встает вопрос о причине, которая запускает процесс образования супермолекул ГВ из молекул низкомолекулярных веществ. С одной стороны, нельзя полностью исключить самопроизвольность запуска данного процесса при росте до определенного предела концентраций низкомолекулярных веществ, как происходит при образовании мицелл из амфифильных молекул ПАВ. Однако супермолекулы ГВ являются депо питательных веществ для почвенной биоты, а биологические объекты, как правило, сами управляют важными для них процессами. Следовательно, вполне реальным становится предположение о выделении микроорганизмами веществ, которые стимулируют процесс возникновения супермолекул ГВ из низкомолекулярных продуктов разложения опада.

3. Низкомолекулярные органические вещества потребляются микроорганизмами, стимулируя их бурный рост.

Однозначно ответить какой из путей выбирает система – второй или третий нельзя, но более реальным с общих позиций является бурный рост микрофлоры, который экспериментально наблюдается при переработке в почве опада, а процесс возникновения ГВ более вероятен при разрушении избыточных микроорганизмов.

Таким образом, в системе фигурируют и взаимодействуют между собой: почвенный опад, ферменты, продукты разложения опада – низкомолекулярные органические вещества, почвенный раствор, фрактальные кластеры из стабильных и лабильных ГВ, стационарное и избыточное количества микроорганизмов, возникающее при избытке питательных веществ. Предположительный процесс преобразования опада в почве при его избытке представлен на схеме (рис. 8).

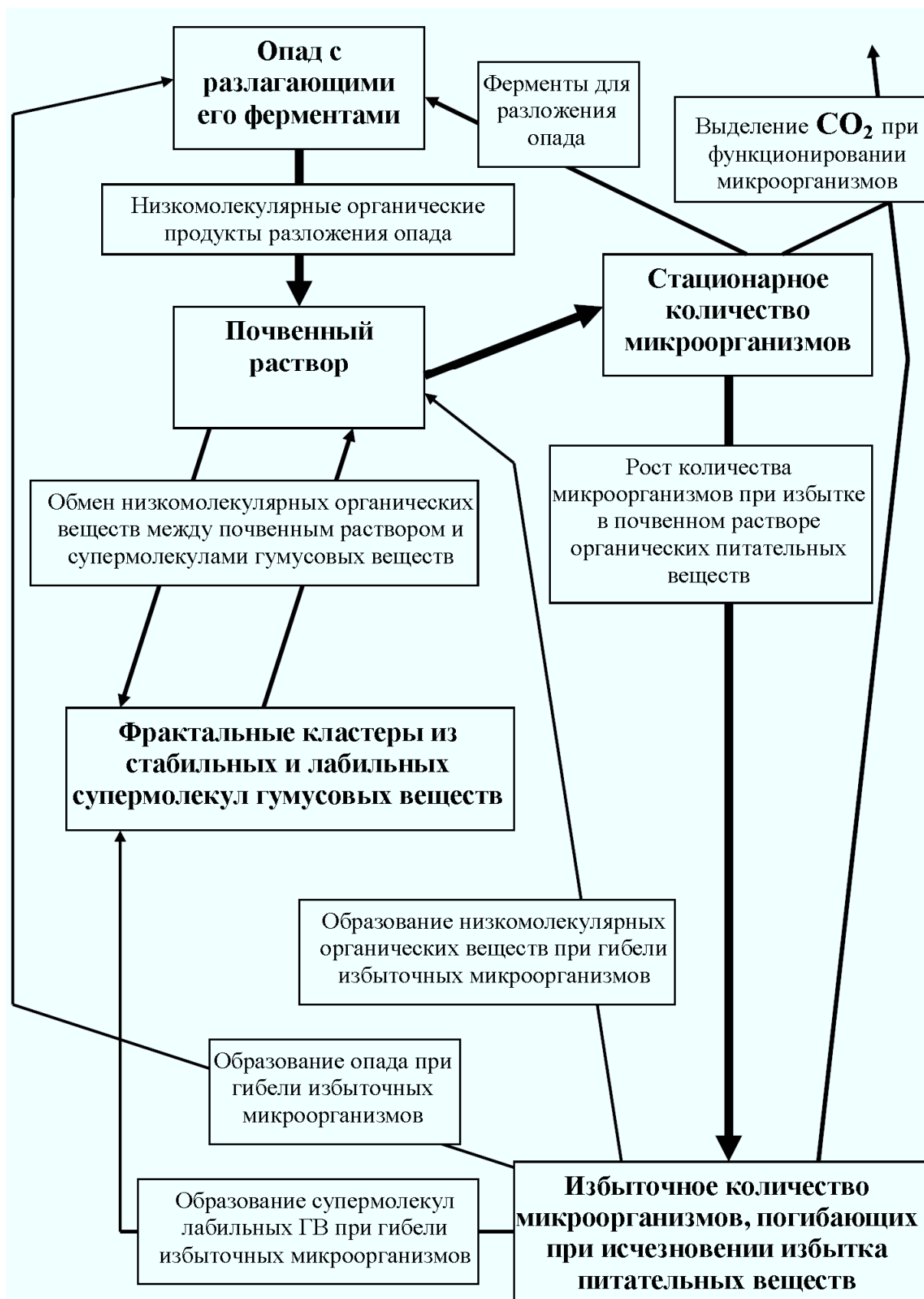


Рис. 8. Предположительная схема преобразования опада в почве при его избытке



Выделяющиеся при разложении опада ферментами низкомолекулярные органические вещества попадают в почвенный раствор, из которого поглощаются микроорганизмами.

В связи с контактированием почвенного раствора с фрактальными кластерами из супермолекул ГВ должен происходить частичный обмен молекул низкомолекулярных органических веществ одного вида между почвенным раствором и фрактальными кластерами из супермолекул ГВ.

Поглощение органических веществ – продуктов питания микроорганизмами приводит к их размножению.

При уменьшении концентрации продуктов питания в почвенном растворе начинается процесс гибели микроорганизмов с образованием супермолекул лабильных ГВ.

Следует отметить, что ряд ранее полученных при работе с мечеными атомами экспериментальных результатов подтверждает предложенную схему преобразования опада.

Выше мы отмечали, что гумификация органических остатков в почвах, протекающая при наличии сформированной системы ГВ, приводит к фрагментарному обновлению углеродного состава почвенного гумуса (Фокин, 1974 и 1975). Скорость фрагментарного обновления ГВ зависит от многих факторов: характера самих ГВ, прочности их связи с минеральной частью почвы, от темпов поступления растительных остатков и условий их разложения. Обнаружено, что в почве не существует каких-либо необновляющихся форм, фракций или групп ГВ.

Эти эксперименты А.Д. Фокина подтверждают реальность существования обмена молекулами низкомолекулярных органических веществ между почвенным раствором и фрактальными кластерами из супермолекул ГВ.

Еще одним подтверждением этого процесса является зависимость возраста ГВ от глубины их нахождения в черноземах (Иванов, 2007). ГВ вещества в верхних горизонтах значительно моложе и их возраст с глубиной растет, так как с глубиной уменьшается вероятность обмена низкомолекулярных органических веществ почвенного раствора, образующихся при разложении опада в верхних горизонтах, с супермолекулами ГВ.

В ряде работ (Тейт, 1991; Broadbent, 1946, 1947 и 1974, Hallam, 1953; Terry, 1980) обнаружено, что при внесении в почву меченого растительного материала, выделялось больше немеченого диоксида углерода, чем можно было ожидать, судя по скоростям выделения  $\text{CO}_2$  из почвенных образцов, куда не вносили растительные добавки. Этот процесс получил название затравочного эффекта (Тейт, 1991).

Существование ГВ в виде супермолекул позволяет объяснить этот эффект увеличением концентрации нерадиоактивных атомов углерода в почвенном растворе за счет обмена молекул низкомолекулярных органических веществ между почвенным раствором и фрактальными кластерами

из супермолекул ГВ. Затем низкомолекулярные органические вещества из почвенного раствора поглощаются микроорганизмами с частичным превращением в  $\text{CO}_2$ . Причем из-за закрепления радиоактивного углерода в супермолекулах ГВ доля нерадиоактивных атомов в  $\text{CO}_2$  возрастает.

Однако затравочный эффект не наблюдался при разложении лигнинов, фенолов и гуминоподобных полимеров (Martin, 1979), что легко объясняется трудностью или невозможностью обмена, образующихся в результате деградации подобных полимеров низкомолекулярных органических веществ, из-за отсутствия или малого их содержания в супермолекулах ГВ.

Были получены данные о переходе метки  $^{14}\text{C}$  из глюкозных остатков полисахаридов в другие почвенные полисахариды (Cheshre, 1969). Анализ содержащихся в почве меченых соединений показал, что атомы углерода из глюкозы быстро перераспределяются в галактозу и манозу.

В другом сходном исследовании (Stott, 1983) изучали распределение углерода из различных растительных полимеров между  $\text{CO}_2$ , гуминовыми кислотами и микробной биомассой. По истечении одного года инкубации от 36 до 54% углерода лигнина находилось во фракции гуминовых кислот, при этом в ней было обнаружено 17-20% углерода полисахаридов и 16-27% углерода белков.

Подобные процессы объясняют поглощением меченых веществ микроорганизмами, их превращением в микроорганизмах, выходом образовавшихся новых меченых веществ при гибели микроорганизмов и их вхождении в ГВ (Туев, 1989). Р. Тейт отмечал, что углерод микробной биомассы подвержен постоянному обороту, в результате которого происходит перераспределение атомов углерода в новую микробную биомассу, диоксид углерода и ГВ. Причем происходит активное преобразование микробной биомассы в ГВ после гибели клеток.

Приведенные выше экспериментальные результаты подтверждают практически все стадии преобразования опада в почве, представленного на схеме (рис. 8).

Процессами, для которых отсутствует экспериментальное подтверждение, являются образование новых супермолекул ГВ после гибели клеток микроорганизмов и замена продуктов метаболизма микроорганизмов на органические молекулы – продукты питания из супермолекул ГВ, которое должно реализовываться в почвах при недостатке для микроорганизмов питательных веществ в почвенном растворе<sup>13</sup>.

Предложенная схема процесса преобразования опада в почвах и образования супермолекул ГВ подкреплена большим экспериментальным

---

<sup>13</sup>Подтвердить последнее положение экспериментально будет достаточно сложно, так как гибель отдельных клеток микроорганизмов происходит непрерывно, и невозможно отличить органические вещества-метаболиты, выходящие в почвенный раствор из живых клеток, от органических веществ, попадающих в почвенный раствор после их гибели.

материалом. При этом надо сознавать, что это все же упрощенная схема, в которой мы пытались выделить основные черты процессов образования и функционирования ГВ в почвах с позиций их супрамолекулярности.

### *Пути формирования наноструктурной организации почвенных гелей*

Проведенный анализ дал нам возможность получить общие представления о строении почвенных гелей, которые возникают при объединении фрактальных кластеров из супермолекул ГВ.

Ветви фрактальных кластеров супермолекул ГВ, по-видимому, проникают в пустые пространства друг друга (рис. 9), обеспечивая более плотный контакт между кластерами за счет множества слабых взаимодействий между супермолекулами ГВ, относящихся к фрактальным ветвям разных кластеров. Подобные системы называются супраполимерами (Рамбиди, 2008), так как их свойства во многом сходны со свойствами полимерных систем, возникающих при взаимопроникновении сегментов полимерных молекул друг в друга.

Предлагаемые модельные представления – взаимопроникновение ветвей разных кластеров с образованием супраполимерной системы объясняет «невидимость» кластеров почвенных гелей при их исследовании при помощи растровой электронной микроскопии. По-видимому, они заметны до тех пор, пока взаимопроникновения ветвей фрактальных кластеров еще не произошло (рис. 7).

Для ответа на вопрос о механизме процессов самоорганизации в органической матрице почвенных гелей рассмотрим полученные в работах (Федотов, 2009; Федотов, Рудометкина, 2010 б) результаты по изучению влияния модификаторов<sup>14</sup> на строение почвенных гелей. Из данных, полученных при помощи туннельного микроскопа, следует, что введение модификаторов в дерново-подзолистую почву приводит к укрупнению супермолекул ГВ от единиц нанометров (рис. 10, б) до величин больших 10 нм (рис. 10, а).

При исследовании влияния модификаторов при меньших увеличениях на растровом электронном микроскопе было показано (Федотов, 2009), что в гелях наблюдается образование наночастиц новой фазы, а при повышении концентрации модификатора эти наночастицы начинают объединяться в относительно крупные дендриты или даже образуют области размером в десятки микрон (рис. 5).

---

<sup>14</sup>Модификаторами являются вещества, изменяющие гидрофильность супермолекул ГВ и запускающие процессы структурной перестройки на всех уровнях организации ГВ. Это – многозарядные катионы, молекулы ПАВ и т.д.

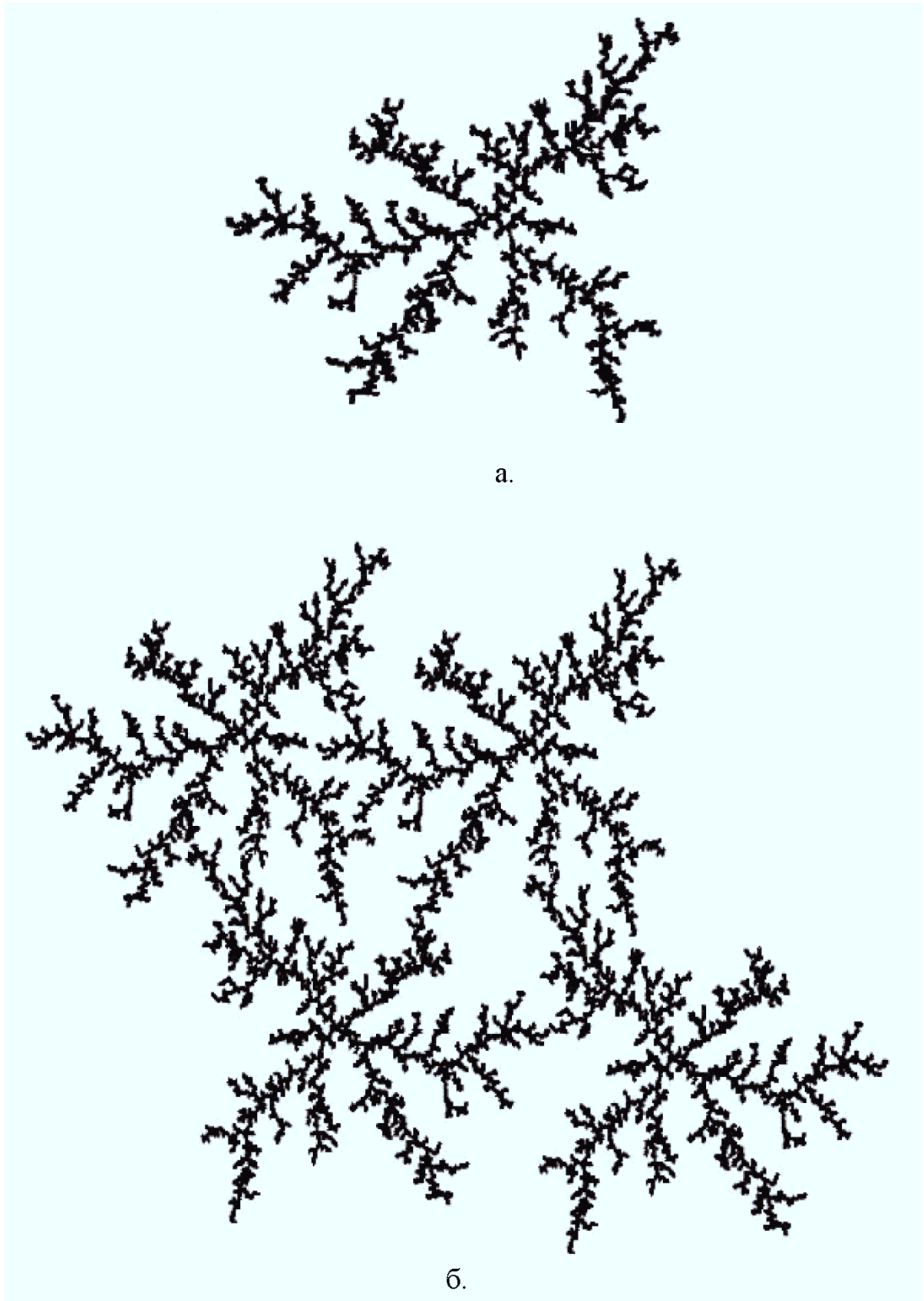
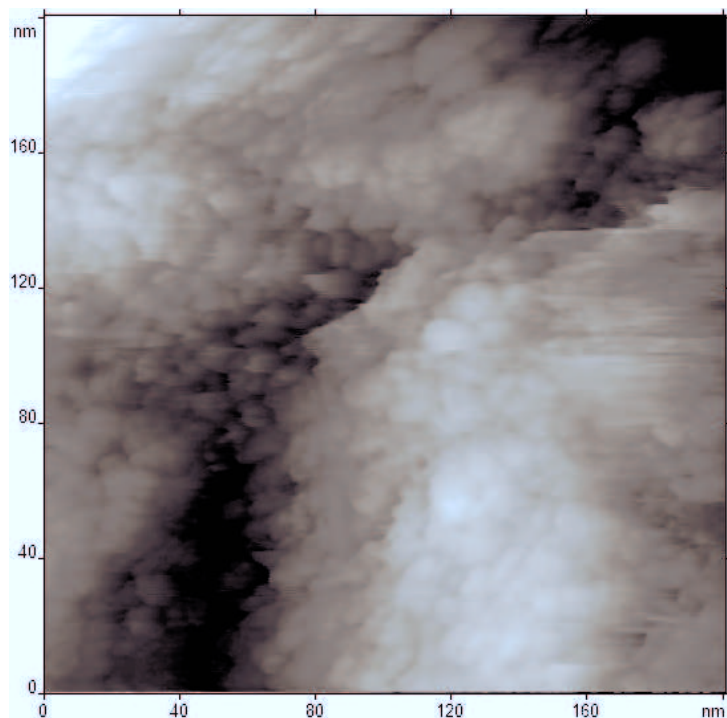
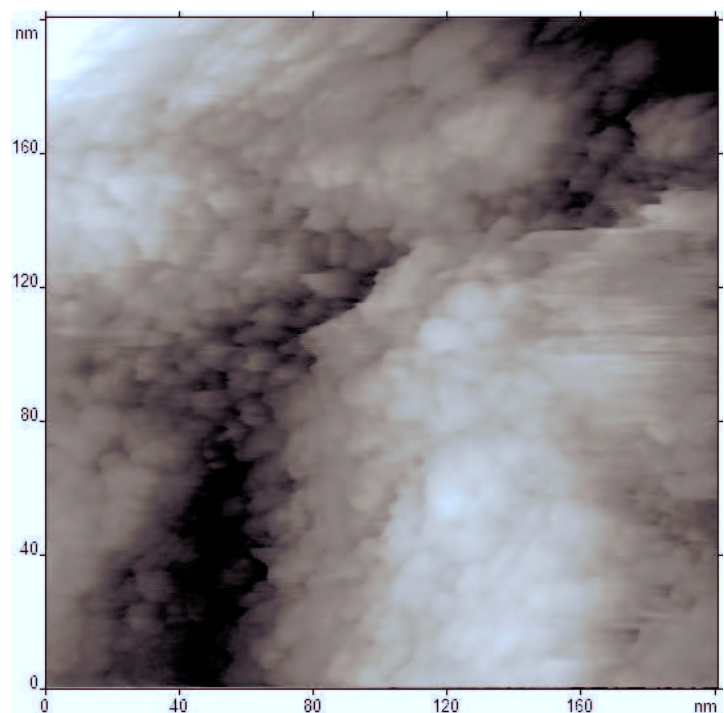


Рис. 9. Схема фрактального кластера, созданного из 2000 частиц по модели Витена-Сандерса (а), и группа из нескольких взаимопроникающих кластеров (б)



а.



б.

Рис. 10. Изображения гелей, выделенных из дерново-подзолистой почвы, полученные при помощи туннельного микроскопа (с ПАВ (а) и без ПАВ (б))

Из этих данных следует, что при введении в систему модификаторов изменение супермолекул ГВ размером несколько нанометров (2 уровень организации ГВ в почвенных гелях) приводит к изменению структуры почвенных гелей (4 уровень организации). Отсюда логически вытекает од-

нозначный вывод об изменении и фрактальных кластеров супермолекул ГВ. Все это позволяет выдвинуть предложение о механизме процесса самоорганизации в почвенных гелях при попадании в них модификаторов.

При взаимодействии с многозарядными катионами или молекулами других модификаторов происходит структурная перестройка супермолекул ГВ, входящих в состав фрактальных ассоциатов, с уменьшением гидрофильности части супермолекул ассоциата, взаимодействовавших с ионами или молекулами других модификаторов. Схема поясняет механизм процесса (рис. 11).

Изменение свойств поверхности ряда супермолекул ГВ после их взаимодействия с модификаторами приводит к изменению стабильности кластеров (рис. 11, б), так как контакты более гидрофобных супермолекул между собой термодинамически выгоднее. Системы, состоящие из супермолекул, подобно системам, состоящим из макромолекул, бедны энтропией. Поэтому изменение свойств поверхности отдельных супермолекул ГВ должно приводить к перестройке кластеров (рис. 11, в).

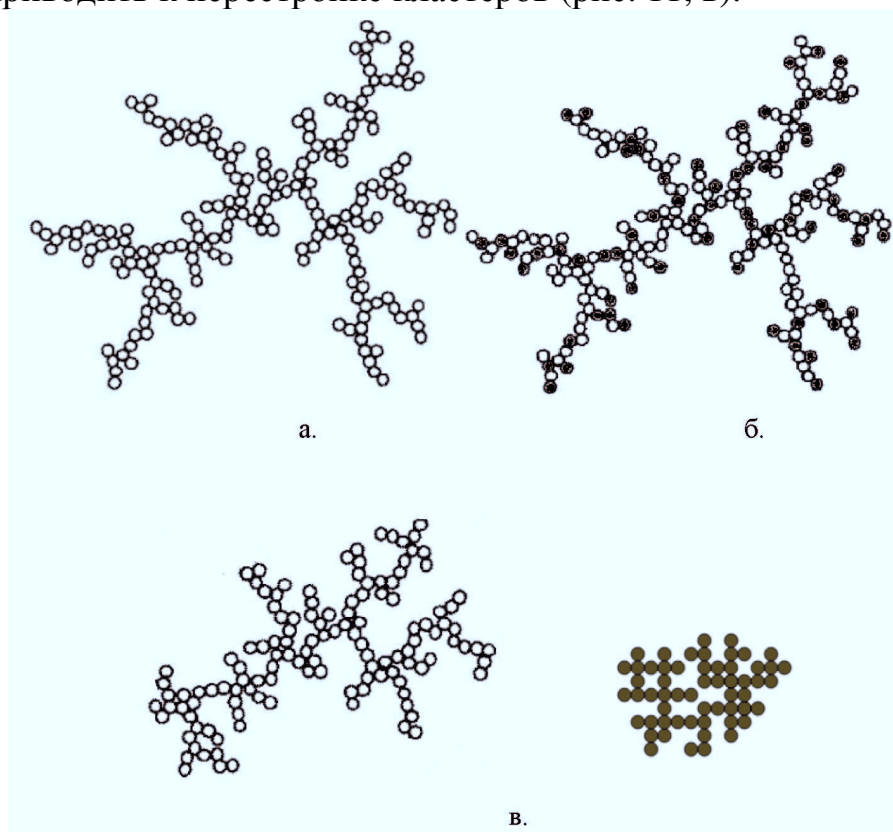


Рис. 11. Схема фрактального кластера, созданного из 200 частиц по модели Витена-Сандерса, до взаимодействия с модификаторами, увеличивающими гидрофобность супермолекул ГВ (а), и после взаимодействия с модификаторами<sup>15</sup> до реорганизации (микрофазного расслоения) с выделением более гидрофобной фазы (б) и после реорганизации (в)

<sup>15</sup> Черным цветом выделены супрамолекулы ГВ с повышенной гидрофобностью.

Связи неизмененных более гидрофильных супермолекул ГВ с измененными более гидрофобными супермолекулами ГВ заменяются на связи измененных супермолекул ГВ между собой, то есть происходит сегрегация гидрофильных и гидрофобных супермолекул ГВ в почвенных гелях на наноуровне. Гидрофобность супермолекул предполагает образование значительно менее разветвленных и плотных кластеров.

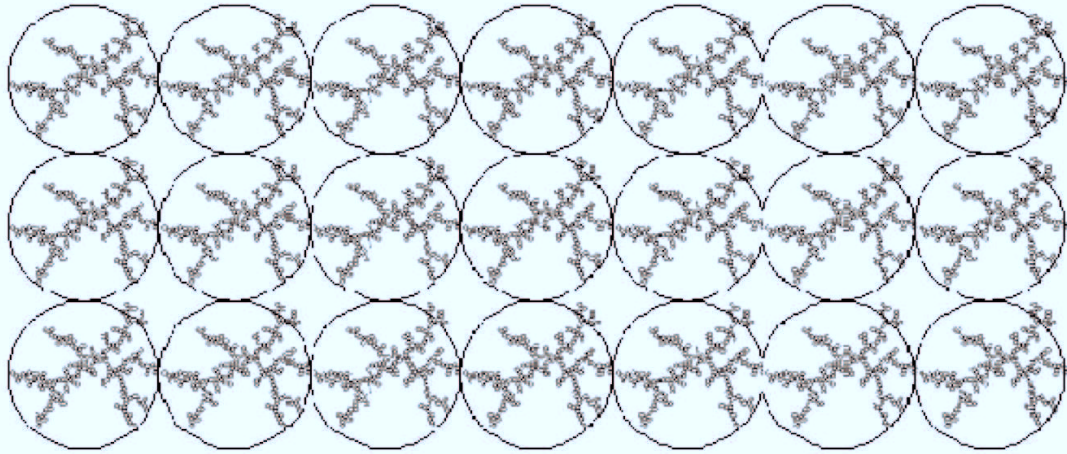
На этом этапе при малой концентрации модификатора возникают отдельные кластеры более плотной гидрофобной фазы из супермолекул ГВ, провзаимодействовавших с модификатором, в матрице из гидрофильных кластеров ГВ (рис. 12, а-в). В связи с меньшим содержанием воды в более гидрофобных кластерах их усадка при удалении воды из почвенных гелей или других гумусовых систем будет намного меньше по сравнению с усадкой фрактальных гидрофильных кластеров. Как следствие, они будут выступать над матрицей геля и выглядеть на электронно-микроскопических изображениях в виде более светлых точек или областей.

При росте концентрации модификатора количество гидрофобных кластеров увеличивается, они начинают взаимодействовать между собой, формируя различные, в том числе фрактальные образования из гидрофобных кластеров (рис. 12, г). Дальнейший рост концентрации модификатора в системе приводит к возникновению все более крупных образований из более гидрофобной фазы (рис. 12, д). При очень высокой концентрации модификатора большая часть супермолекул ГВ реорганизуется, а количество гидрофильной фазы уменьшается вплоть до полного исчезновения последней.

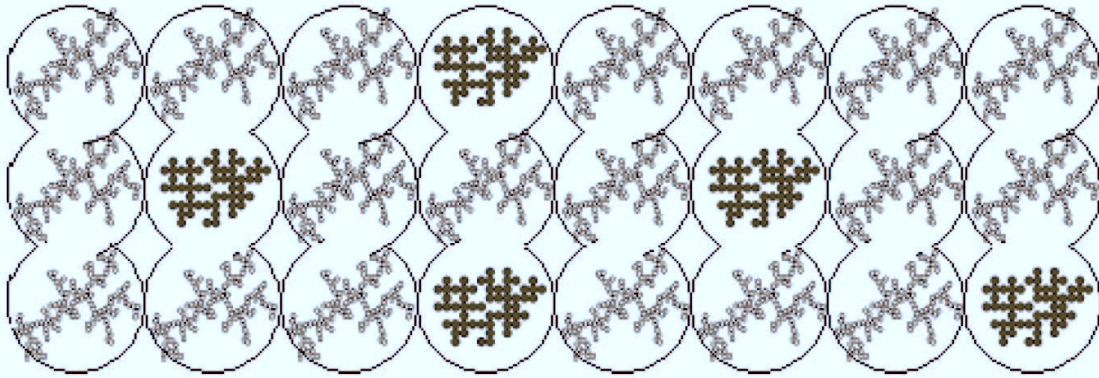
Предполагаемый механизм основан на принципах поведения систем, подобных гумусовым системам, и дает возможность объяснить все приведенные выше экспериментальные результаты. Это позволяет принять его за основу, но вне всяких сомнений при дальнейшем проведении исследований он будет уточняться, и основной путь совершенствования предложенного механизма, по-видимому, будет связан с учетом наличия в гелях минеральных частиц и их взаимодействия с фрактальными кластерами супермолекул ГВ. На данном этапе из-за малого количества накопленных по этому вопросу экспериментальных данных мы это очень важное направление не рассматривали.

Таким образом, из представленных данных следует:

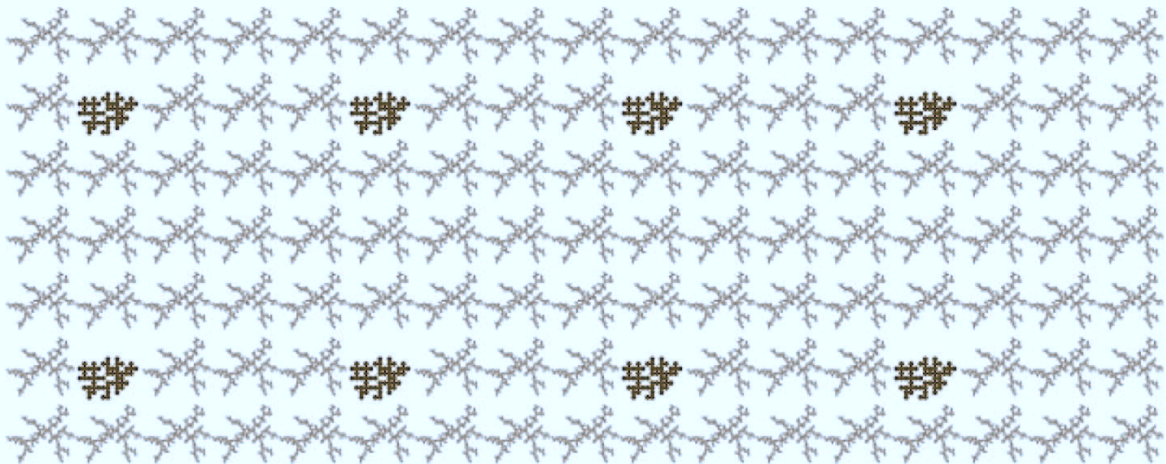
1. Для почвенных гелей и других гумусовых систем характерна самоорганизация с возникновением различных нано- и микроструктур.
2. Гумусовые вещества почвенных гелей имеют многоуровневую структурную организацию.
3. Гумусовые вещества возникают из низкомолекулярных органических веществ за счет слабых взаимодействий и существуют в виде супермолекул.



a.



b.



B.



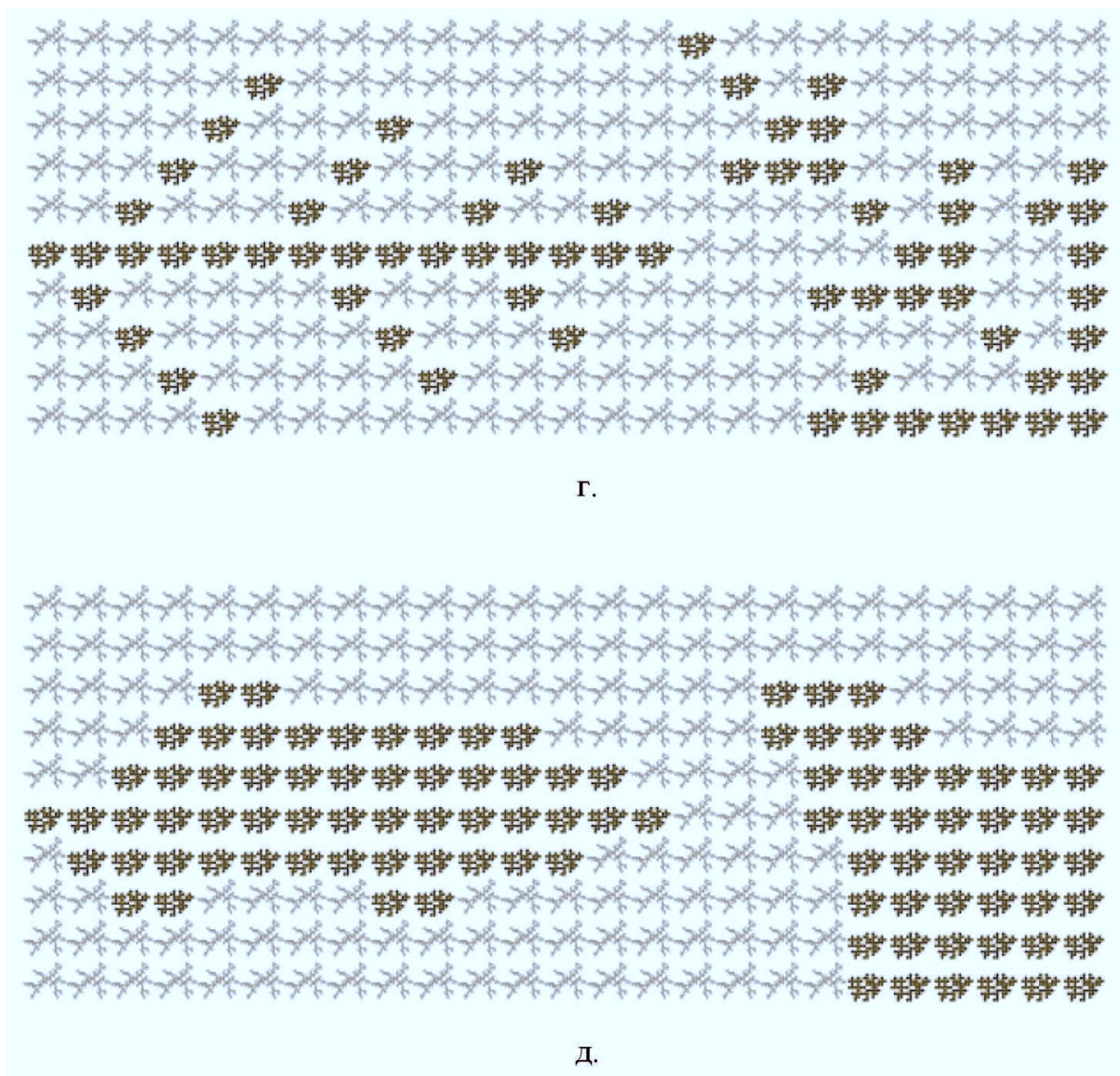


Рис. 12. Схема изменения почвенных гелей при реорганизации фрактальных ассоциатов до взаимодействия с модификаторами, увеличивающими гидрофобность супермолекул ГВ (а), и после взаимодействия с модификаторами (б). Выделение гидрофобной фазы при увеличении концентрации модификаторов в виде частиц (в), фракталов (г) и микрообластей (д)

4. Основным элементом, формирующим почвенные гели, является фрактальный кластер из супермолекул ГВ.
5. Почвенные гели, возникающие при взаимодействии фрактальных кластер из супермолекул ГВ между собой, представляют собой супраполимерные системы.
6. Для супраполимерной матрицы почвенных гелей характерна самоорганизация, подобная микрофазному расслоению, наблюдаемому в блоксополимерных системах.

7. Предложен механизм самоорганизации супраполимерной гумусовой матрицы с образованием разнообразных наноструктур в почвенных гелях и других гумусовых системах.
8. С позиции супрамолекулярности ГВ выдвинуто предположение о механизме и причинах их возникновения.

Все вышеизложенное позволяет с новых позиций взглянуть на почвенный гумус, почвенные гели, экологическую роль почвенных гелей и их влияние на функционирование почв.

### *Литература*

- Александрова Л.Н. Гумус как система полимерных соединений / Тр. юб. сес. посв. столетию со дня рождения В.В. Докучаева. М.: Изд. АН СССР, 1949. с. 225-232.
- Александрова Л.Н. Органическое вещество почв и процессы его трансформации. Л.: Наука, 1980, 287 с.
- Артемьева З.С. Органические и органо-глинистые комплексы агрогенно-деградированных почв. Автореферат дисс. докт. биол. наук. М.: МГУ, 2008. 51 с.
- Беседин П.Н. Состав и свойства коллоидно-илистых фракций и водопрочных агрегатов сероземов и луговых почв. Ташкент: Изд. САГУ, 1954, 84 с.
- Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. – М.: Высш. шк., 1973. – 400 с.
- Ванюшина А.Я., Травникова Л.С. Органо-минеральные взаимодействия в почвах (обзор литературы) // Почвоведение, 2003, №4, с.418-428.
- Вигнер Г. Избранные работы. – М.: Сельхозгиз, 1941. – 312 с.
- Вильямс В.Р. Почвоведение. М.: СЕЛЬХОЗГИЗ, 1936. 648с.
- Винокуров М.А. Содержание и состав органо-минеральных гелей в почвах // Почвоведение, 1942, №3-4, с.73-88.
- Воронин А.Д. Основы физики почв. М.: МГУ, 1986. 244с.
- Ганжара Н.Ф. Почвоведение. – М.: Агроконсалт, 2001. – 392 с.
- Ганжара Н.Ф., Борисов Б.А. Гумусообразование и агрономическая оценка органического вещества почв. М.: Агроконсалт, 1997, 82 с.
- Гедройц К.К. Избранные сочинения, М.: Изд-во Сельскохозяйственной литературы, 1955, т.1, с. 71-122.
- Гедройц К.К. Ультрамеханический состав почвы и зависимость его от рода катиона, находящегося в почве в поглощенном состоянии // Журн. оп. агроном., 1922, т.22.
- Горбунов Н.И. Высокодисперсные минералы и методы их изучения. М.: Изд. АН СССР, 1963.

- Дергачева М.И. Органическое вещество почв: статика и динамика (на примере Западной Сибири). – Новосибирск: Наука, 1984. – 153 с.
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. М.: Наука, 1990. – 270 с.
- Евдокимов И.П., Лосев А.П. Природные нанообъекты в нефтегазовых средах М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2008. 104 с.
- Иванов И.В., Хохлова О.С. Хроноорганизация гумусового компонента и вопросы теории поведения природного радиоуглерода в почвах / Организация почвенных систем. Методология и история почвоведения. Пушино. 2007. Т.1., с. 151-154. Труды II Национальной конференции с международным участием «Проблемы истории, методологии и философии почвоведения». 5-9 ноября, 2007 г., Пушино, Московская область.
- Карпачевский Л.О., Зубкова Т.А. Компартиментация в почвах // Почвоведение. 2005, №1, с. 47-55.
- Когут Б.М., Масютенко Н.П. О некоторых изменениях гумусового состояния типичного чернозема под влияние плоскорезной обработки. // Почвоведение. 1990. № 1. с.148-153.
- Кононова М.М. Органическое вещество почв. М: Изд. АН СССР, 1963. – 314 с.
- Кононова М.М., Бельчикова Н.П. К изучению природы гумусовых веществ почвы приемами фракционирования // Почвоведение. – 1960. – №11.
- Кононова М.М., Бельчикова Н.П. Ускоренный метод определения состава гумуса // Почвоведение, 1961, №10, с. 75-87.
- Лактионов Н.И. Закономерности трансформации органических коллоидов в черноземах при их сельскохозяйственном использовании. Автореферат дисс. докт. с-х наук. Киев, 1974, 36 с.
- Лейн З.Я. К вопросу о формах связи гумуса с минеральной частью почв // Почвоведение. 1940. №10. с. 41-57.
- Лобицкая Л.В. Характеристика органической и минеральной частей коллоидов дерново-подзолистой почвы, чернозема и краснозема. Автореферат дисс. канд. с-х наук. Л., 1966, 16 с.
- Маттсон С. Почвенные коллоиды. М.: Сельхозгиз, 1938. – 432 с.
- Милановский Е.Ю. Гумусовые вещества как система гидрофобно-гидрофильных соединений. Автореферат дисс. докт. биол. наук. М.: МГУ, 2006. 94 с.
- Милановский Е.Ю. Гумусовые вещества почв как природные гидрофобно-гидрофильные соединения. М.: ГЕОС, 2009. 186 с.
- Надь М. Природа органо-минеральных коллоидов почвы. Автореферат дисс. канд. с-х наук. Л., 1957, 17 с.

- Назарова А.Е., Федотов Г.Н., Путляев В.И. Минералы в гелевых пленках // Доклады Академии Наук РФ. 2009, т.424, №4, с.484 - 488.
- Овчинникова М.Ф. Особенности трансформации гумусовых веществ в разных условиях землепользования (на примере дерново-подзолистой почвы). Автореферат дисс. докт. биол. наук. М.: МГУ, 2007. 51 с.
- Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд. МГУ, ISBN 5-211-00934-7. 1990. – 325 с.
- Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. М.: Изд. МГУ. 1981. 272 с.
- Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И. Химия почв. М.: Высш. шк., 2005. 558 с.
- Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Методика и некоторые результаты фракционирования гумуса черноземов // Почвоведение, 1968, №11, с. 104-117.
- Почвоведение. Учеб. для ун-тов. Ч. 1. Почва и почвообразование / Под ред. В.А. Ковды. М.: Высш. шк., 1988. – 400 с.
- Попов А.И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование. СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2004, 248 с.
- Рамбиди Н.Г., Березкин А.В. Физические и химические основы нанотехнологий. М.: Физматлит, 2008. 456 с.
- Соколовский А.Н. Из области явлений, связанных с коллоидной частью почвы / Известия Петровской сельско-хозяйственной академии, 1921, вып. 1-4.
- Супрамолекулярная химия: Концепции и перспективы / Ж.-М. Лен; Пер. с англ. Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, ISBN 5-02-031603-2, 1998. 334 с.
- Тейт Р. Органическое вещество почвы: Биологические и экологические аспекты. М.: Мир, 1991. – 400 с.
- Титова Н.А., Травникова Л.С., Куваева Ю.В., Володарская И.В. Состав компонентов тонкодисперсных частиц пахотной дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. 1989. №6. С. 89-97.
- Титова Н.А., Травникова Л.С., Шаймухаметов М.Ш. Развитие исследований по взаимодействию органических и минеральных компонентов почвы // Почвоведение. – 1995. – №5. – с.639-646.
- Травникова Л.С., Артемьева З.С. Физическое фракционирование органического вещества с целью изучения его устойчивости к биodeградации // Экология и почвы. Избр. лекции X Всерос. Шк. Пущино. 2001, с. 337-346.

- Травникова Л.С., Титова Н.А., Шаймухаметов М.Ш. Роль продуктов взаимодействия органической и минеральной составляющих в генезисе и плодородии почв // Почвоведение. 1992. №10. С. 81-96.
- Трофимов С.Я. О динамике органического вещества в почвах // Почвоведение, 1997, №9, с. 1081-1086.
- Туев Н.А. Микробиологические процессы гумусообразования. М.: Агропромиздат, 1989. – 239 с.
- Тюлин А.Ф. Органно-минеральные коллоиды в почве, их генезис и значение для корневого питания высших растений. – М.: АН СССР, 1958. – 52 с.
- Тюрин И.В. Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии. М.-Л.: Сельхозгиз, 1937. 287 с.
- Федотов Г.Н., Добровольский Г.В. Коллоидно-химическая модель для описания некоторых почвенных процессов // Почвоведение. 2006, №5, с. 535-545.
- Федотов Г.Н., Добровольский Г.В., Шоба С.А., Рудометкина Т.Ф., Черич М.С., Шалаев В.С. Микрофазное расслоение в гумусовых системах // Доклады Академии наук РФ. 2009, т.429, №3, с.336 - 338.
- Федотов Г.Н., Иткис Д.М., Путляев В.И., Омельянюк Г.Г., Никулина М.В. Исследование почвенных гелей методом атомно-силовой микроскопии // Доклады Академии наук РФ. 2008, т.421, №2, с.202 -205.
- Федотов Г.Н., Росете И.С. Структурная организация гумусовых веществ в почвах / Роль почв в биосфере. Труды Института экологического почвоведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова. Выпуск 11. М.: 2011.
- Федотов Г.Н., Рудометкина Т.Ф. Влияние микрофазного расслоения почвенных гелей на биологическую активность почв // Лесной вестник. 2010, №7, с. 88-93.
- Федотов Г.Н., Рудометкина Т.Ф. Гумусовые кислоты в почвах // Лесной вестник. 2010. №7. С. 93-98.
- Федотов Г.Н., Рудометкина Т.Ф., Евграфова А.С. Возможные пути влияния наноструктурной организации почв на их свойства // Экологические системы и приборы. – 2010 – № 3 – с. 39-44.
- Федотов Г.Н., Третьяков Ю.Д., Добровольский Г.В., Путляев В.И., Гаршев А.В., Пахомов Е.И. Коллоидные структуры в почвах // Доклады Академии наук РФ. 2005, т.404, №3, с.352-354.
- Федотов Г.Н., Третьяков Ю.Д., Иванов В.К., Куклин А.И., Пахомов Е.И., Исламов А.Х., Початкова Т.Н. Фрактальные коллоидные структуры в

- почвах различной зональности // Доклады Академии наук РФ. 2005, т.405, № 3, с.351-354.
- Федотов Г.Н., Третьяков Ю.Д., Иванов В.К., Путляев В.И., Куклин А.И., Исламов А.Х., Гаршев А.В., Пахомов Е.И. Фрактальные структуры коллоидных образований в почвах // Доклады Академии наук РФ. 2005, т.404, №5, с.638-641.
- Федотов Г.Н., Третьяков Ю.Д., Пахомов Е.И., Куклин А.И., Исламов А.Х. Влияние температуры на изменение гелевых структур почв // Доклады Академии наук РФ. 2006, т.407, №6, с.782-784.
- Федотов Г.Н., Третьяков Ю.Д., Путляев В.И., Пахомов Е.И., Поздняков А.И. Уточнение представлений о строении почвенных гелей // Доклады Академии наук РФ. 2006. Т. 411. № 2. С. 203-205.
- Фокин А.Д. Включение органического вещества и продуктов их разложения в гумусовые вещества почвы // Известия ТСХА, 1974, вып. 6, с. 99-110.
- Фокин А.Д. Исследование процессов трансформации, взаимодействия и переноса органических веществ, железа и фосфора в подзолистой почве. Автореф. дис. докт. биол. наук. М.: МГУ, 1975.28 с.
- Халатур П.Г. Самоорганизация полимеров // Соросовский образовательный журнал. 2001. Т.7. №4. С. 36-43.
- Хан Д.В. Органо-минеральные соединения и структура почвы. – М.: Наука, 1969. – 142 с.
- Хмелевская В.С. Процессы самоорганизации в твердом теле // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т.6. №6. С. 85-91.
- Хохлов А.Р. Восприимчивые гели // Соросовский образовательный журнал. 1998, №11, С. 138-142.
- Хохлов А.Р., Дормидонтова Е.Е. Самоорганизация в ион-содержащих полимерных системах // Успехи физических наук. 1997. Т.167. №2. С. 113-128.
- Чеканова А.Е. Биосовместимые магнитные наноматериалы на основе оксида железа (III). Автореферат на соискание ученой степени кандидата химических наук. М., 2008. 23 с.
- Шейн Е.В. Курс физики почв. М.: МГУ, 2005. 432 с.
- Шинкарев А.А., Гиниятуллин К.Г., Мельников Л.В., Кринари Г.А., Гневашев С.Г. Органические компоненты глино-металло-органического комплекса почв лесостепи (теоретические и экспериментальные аспекты изучения). Казань: Казанский государственный университет им. В.И. Ульянова-Ленина, 2007. - 248 с.

- Broadbent F.E., Norman A.G. Some factors affecting the availability of the organic nitrogen in soil – a preliminary report // *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1946. 11: pp. 246-267.
- Broadbent F.E. Nitrogen release and carbon loss from soil organic matter during decomposition of added plant residues // *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1947. 12: pp. 246-249.
- Broadbent F.E., Nakashima T. Mineralization of carbon and nitrogen in soil amended with carbon-13 and nitrogen-15 labeled plant material // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1974. 38: pp. 313-315.
- Carlos M.P. Vaz, Paulo S.P. Herrmann, Sílvia Crestana Thickness and size distribution of clay-sized soil particles measured through atomic force microscopy // *Powder Technology* 126 (2002) 51– 58.
- Cheshre M.V., Mundie C.M., Shepherd H. Transformation of  $^{14}\text{C}$  glucose and starch in soil // *Soil. Biol. Bioche.* 1969. 1: pp. 117-130.
- Fasurova N., Cechlovska H., Kucerik J. A comparative study of South Moravian lignite and standard IHSS humic acids' optical and colloidal properties // *Petroleum and Coal.* 2006. 48(2): 24-32.
- Grossman R.B., Lynn W.C. Gel-Like Films that May Form at the Air-Water Interface in Soils // *Soil Sci. Amer. Proc.*, 1967. vol. 31, pp. 259-262.
- Hallam M.J., Bartholomew W.V. Influence of rate of plant residue addition in accelerating the decomposition of soil organic matter // *Soil Sci. Soc. Am. Proc.* 1953. 17: pp. 365-368.
- Kerner M., Hohenberg H., Ertl S., Reckermann M., Spitzzy A. Self-organization of dissolved organic matter to micelle-like microparticles in river water // *Nature.* 2003. 422: 150-154.
- Langford C.H., Melton J.R. When should humic substances be treated as dynamic combinatorial systems?. In: *Humic Substances: Molecular Details and Applications in Land and Water Conservation.* Ghabbour, E.A., Davies, G. (Eds.). New York: Taylor & Francis. 2005. p. 65-78.
- Martin J.P., Haider K. Biodegradation of  $^{14}\text{C}$ -labeled model and cornstalk lignins, phenols, model phenolase humic polymers, and fungal melanins as influenced by a readily available carbon source and soil // *Appl. Environ. Microbiol.* 1979. 38: pp. 283-289.
- Österberg R., Mortensen K. Fractal dimension of humic acids. A small angle neutron scattering study // *European Biophysics Journal.* 1992. 21(3). Pp. 163-167.
- Palmer N.E., von Wandruszka R. Dynamic light scattering measurements of particle size development in aqueous humic materials. *Fresenius // Journal of Analytical Chemistry.* 2001. 371(7): 951-954.

- Piccolo A. The Supramolecular Structure of Humic Substances // *Soil Science*, 2001, 166(11). Pp. 810-832.
- Reid P.M., Wilkinson A.E., Tipping E., Jones, M.N. Aggregation of humic substances in aqueous media as determined by light-scattering methods // *European Journal of Soil Science*. 1991. 42(2): 259–270.
- Senesi N., Rizzi F.R., Dellino P., Acquafredda P. Fractal humic acids in aqueous suspensions at various concentrations, ionic strengths, and pH values // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. Volume 127, Issues 1-3, (2 July 1997), Pages 57-68.
- Senesi N., Rizzi F.R., Dellino P., Acquafredda P. Fractal dimension of humic acids in aqueous suspension as a function of pH and time // *Soil Science Society of America journal*. 1996, vol. 60, №6, pp. 1613-1678.
- Schaumann G.E. Review Article Soil organic matter beyond molecular structure Part I: Macromolecular and supramolecular characteristics // *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 2006, 169, pp. 145-156.
- Šmejkalova D., Piccolo A. Aggregation and Disaggregation of Humic Supramolecular Assemblies by NMR Diffusion Ordered Spectroscopy (DOSY-NMR) // *Environ. Sci. Technol.* 2008, 42, 699–706.
- Stevenson F.J. *Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions*, 2nd Ed. Wiley, New York. 1994. 443 p.
- Stott D.E., Kassim G., Jarrell W.M., Martin J.P., Haider K. Stabilization and incorporation into biomass of specific plant carbons during biodegradation in soil // *Plant Soil*. 1983. 70: pp. 15-26.
- Sutton R., Sposito G. Molecular structure in soil humic substances: The new view // *Environmental Science and Technology*. 2005. 39. pp. 9009-9015.
- Terry R.E. Nitrogen mineralization in Florida Histosols // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1980. 44: pp. 744-750.



## **Раздел 2.**

# **ПОЧВЫ И ЧЕЛОВЕК**

## **Почвы - многофункциональный ресурс и природное богатство. Ресурсология почв и почвенно-экологическая оценка**

### ***Введение***

Концепция почвенных ресурсов является одной из наиболее фундаментальных в почвоведении и широко используется в разных теоретических и практических исследованиях, посвященных проблемам использования, учета и охраны почв.

Еще в конце 19 века основоположником современного почвоведения В.В. Докучаевым было убедительно показано, что почвы являются одним из "главных естественных богатств", или, говоря современным языком – природных ресурсов. Уникальное свойство почв – плодородие – предопределило и основные задачи, которое общество на протяжении многих лет ставило и ставит перед почвоведом – изучать почвы как ресурс для производства первичной сельскохозяйственной продукции. Именно эти задачи во многом направляли развитие почвоведения в 20 веке во всех странах мира. Однако по мере роста потребления природных ресурсов, роста народонаселения, в последние несколько десятилетий в почвоведении, равно как во многих других естественных науках, все более самостоятельными становятся исследования экологической направленности, в которых ведущее значение принадлежит изучению почв как среды обитания и жизнедеятельности растений, животных и микроорганизмов (Добровольский, Никитин, 2000; Ковда, 1985), роли почв в планетарных круговоротах воды, атмосферных газов, химических элементов и живого вещества. Эти неутраченные исследования приобретают все больший междисциплинарный характер и расширяют наши представления о фундаментальных свойствах почвы и ее поведении во времени и пространстве (Возможности..., 2000).

Почвы – один из важнейших природных ресурсов нашей страны. В многочисленных публикациях последних лет почвоведы России неоднократно обращались к проблеме деградации почв, необходимости разработки комплекса мер по их защите и охране. На проблемы и неблагоприятные последствия деградации почв и земель России много раз указывалось в Государственных докладах и официальных документах таких органов исполнительной власти как Министерство сельского хозяйства, Министерство природных ресурсов, Госкомзема (Росземкадастра) (Госдоклад МПР, 2009; Федеральная целевая..., 2010; Госдоклад Росреестра, 2010). В конце 1990-х - начале 2000-х гг. несколько раз предпринимались попытки разработать федеральный закон, который бы регулировал правовые отношения в области использования и охраны почв, однако они не увенчались успехом (Федеральный закон «Об охране почв», 2001).

Вместе с тем, до сих пор в обыденном сознании почвенные ресурсы отождествляются с земельными ресурсами, что ограничивает представление о почвенных ресурсах только сельскохозяйственными задачами и земельными отношениями. Понятия "земельные" и "почвенные" ресурсы зачастую употребляются как синонимы, а учет почвенных ресурсов ведется в терминах площадной оценки почвенных разностей. Проблема состоит в том, что в действующем законодательстве понятие «почва», «почвенные ресурсы» прямо не закреплено, а объектом земельных отношений фактически является земельный участок, и не разъяснено (хотя и декларировано) как объектом земельных отношений выступает земля в качестве природного объекта и природного ресурса. Это приводит к умалению значения почвенных ресурсов в экономике страны и повседневной жизни, способствует деградации земель и интенсивному сокращению почвенных ресурсов страны. Темпы сокращения регулярно описываются в ежегодных докладов МПР и Роскомзема.

Иначе говоря, более чем столетний опыт существования почвоведения как самостоятельной науки, к сожалению, не привел пока к таким изменениям в общественном и научном сознании, которые позволили бы расширить понятие о почвенных ресурсах за пределы утилитарной парадигмы плодородия.

Во многом причины этого связаны с тем, что фундаментальные разработки почвенной науки пока опережают потребности общества, а последние только начинают ставить перед почвоведом задачи пересмотра концепции почвенных ресурсов. Кроме того, имеющиеся тематические и картографические базы данных по почвам России пока еще крайне разрознены и зачастую не имеют общей методологической основы, что не позволяет правильно использовать почвенные ресурсы и управлять ими. Несмотря на то, что экологическое почвоведение как отдельное направление, а также учение о функциях почв в биосфере приобретают все более весомое фундаментальное звучание в современной науке, они еще широко не восприняты обществом и не выработали конкретных практических приемов управления функционированием экосистем. Обоснованно указывая на ошибки, к которым приводит недоучет значения и функций почв в биосфере в повседневной практике природопользования, почвоведы пока не убедили законодательные, природоохранные и хозяйственные ведомства в необходимости более широких и современных методов учета почвенных ресурсов, за исключением уже упоминавшихся в связи с сельским хозяйством и земельными отношениями.

Путь, который нам здесь представляется единственно возможным в условиях рыночной экономики – это демонстрация экономической значимости почвенных ресурсов, проведение такой оценки почв, которая позволила бы сравнивать в стоимостном выражении качество и количество почвенных ресурсов с учетом не только потребительской стоимости сельхозу-

годий, но и значения почв для устойчивого функционирования и воспроизводства наземных экосистем и сообществ живых организмов, включая жизнь человека

Основания для такой постановки задач есть. В результате участия почвоведов в работе Государственной Думы РФ по экологическим проблемам, в Федеральном законе Российской Федерации «Об охране окружающей среды» от 10 января 2002 г. почвы названы в числе главных компонентов природной среды, обеспечивающих благоприятные условия для существования жизни на Земле. Немногим более года назад (11 ноября 2010 г.) Минприроды России проинформировало о разработке Комплекса мер по борьбе с опустыниванием, который включает два направления: (1) совершенствование нормативного правового регулирования и разработку научно-методического обеспечения; в том числе предполагается проведение интегрированной оценки и анализа состояния, оценки масштабов и прогнозов развития процессов опустынивания на территории Российской Федерации на современном этапе, (2) проведение практических мероприятий по борьбе с деградацией почв и опустыниванием на территории страны (гидротехнические, противоэрозионные, агролесомелиоративные, фитомелиоративные мероприятия, мероприятия по предотвращению выбытия земель из сельскохозяйственного оборота и по восстановлению плодородия почв). Начиная с 2011 года по заказу МПР РФ начато выполнение работ, направленных на разработку предложений по формированию правовых основ в области защиты и охраны почв от негативных последствий в результате антропогенной деятельности. Указанные Комплекс мер и работы напрямую связаны с выполнением поручений Президента РФ по итогам заседания президиума Госсовета РФ от 27 мая 2010 г., посвящённого реформированию системы госуправления в сфере охраны окружающей среды. Иначе говоря, общественный и государственный запрос на работу почвоведов в данном направлении есть, и прежде всего со стороны многочисленного слоя землевладельцев и землепользователей, стремящихся не только выгодно, но и привлекательно использовать свою земельную собственность. Именно поэтому здесь мы делаем акцент на постановку проблемы оценки почвенных ресурсов, в первом приближении обосновываются и предлагаются основные положения «почвенной ресурсологии» как одного из направлений современного экологического почвоведения, опирающегося на учение о структурно-функциональной роли почв в биосфере и наземных экосистемах.

### ***Понятие почвенные ресурсы. Содержание и определение***

Понятие почвенных ресурсов, как мы уже отмечали выше, тематически и исторически тесно связано с понятием земельных ресурсов. Учет земельных ресурсов в России был начат еще в XV века в виде так называемых «писцовых книг», которые вели писцы – чиновники поместного при-

каза (ведомства). Эти книги содержали описания землевладений, качественную характеристику сельскохозяйственных и лесных угодий и почв. До 60-х годов XIX века в период преимущественно экстенсивного земледелия в России уделяли мало внимания состоянию почв. После крестьянской реформы 1861 г. дело начало существенно меняться. Только за период с 1860 по 1887 гг. площадь пахотных земель в южных и восточных черноземных губерниях возросла почти в полтора раза. Постепенно складывалась порайонная и агроклиматическая специализация сельского хозяйства. Резко усилилась нагрузка на почвы, что в итоге послужило предпосылкой к созданию В.В. Докучаевым новой науки – генетического почвоведения. В советское время докучаевские представления о почвах легли в основу землеустройства, отвода территорий под сельскохозяйственное производство и другие экономические нужды. Без участия почвоведов не принимались крупные государственные решения, связанные с изменением землепользования, разработкой лесо- и водно-мелиоративных проектов. В этот период развития почвоведения, требовавшего повсеместного учета почв как неотъемлемой части земельных ресурсов, различий между почвенными и земельными ресурсами практически не проводилось, и данные понятия употреблялись как синонимы. Почвенная характеристика как минимум на уровне названий почв давалась как обязательная при оценке земельного фонда. В концентрированном виде параллелизм этих двух понятий нашел отражение в определении, содержащемся в словаре природопользования (Реймерс, 1990): "Ресурсы почвенно-земельные – ресурсы всех с.-х. угодий (пашни, сенокосов, пастбищ и т.п.) или всего почвенного покрова вне зависимости от форм его использования". Именно такой подход и доминировал при разработке Земельного Кодекса РФ (2001). В этом основополагающем документе, к сожалению, понятия "земельных ресурсов" не существует вообще. Определение понятию «почва» в ЗК РФ также не дается. Вместе с тем, вводится понятие *земельный участок*: "Земельный участок как объект земельных отношений - часть поверхности земли (в том числе почвенный слой), границы которой описаны и удостоверены в установленном порядке."

Однако, на наш взгляд, неявное различие этих понятий всегда существовало. У многих авторов, в том числе и в государственных документах, по-видимому, создавалось ощущение недостаточности понятия земельных ресурсов при оценке почв и наоборот. Так, например, в докладе к 8 Всесоюзному съезду почвоведов В.А.Ковда и Я.А.Пачепский (1989) отмечали (*курсив наш*): "Почвенный покров СССР представляет собой особую форму незаменимых природных ресурсов *многостороннего использования* в сельском хозяйстве и в ряде других областей экономической и культурной жизни страны. Вместе с растительным покровом он играет громадную роль в сохранении нормального режима биосферы, качества воздуха, воды, пищи и здоровья населения.... Это делает необходимой при использова-

нии *земельных ресурсов* постоянную заботу о максимальном сохранении и улучшении почвенного покрова...".

В этих словах, пожалуй, содержится пояснение той ключевой мысли о различии почвенных и земельных ресурсов, которая, хоть и в недостаточно оформленном виде, звучала в работах многих почвоведов, занимающихся проблемами охраны почв. Совершенно очевидно, что многофункциональность почв, разнородность их свойств определяет возможность их использования не только для целей сельского хозяйства. Последнее – лишь одно из возможных направлений использования почв. Более того, эксплуатация почв только в сельском хозяйстве зачастую снижает возможность их использования в другом качестве, чем уменьшает их хозяйственную ценность как многоцелевого ресурса. Ограничение содержания понятия "почвенных ресурсов" сугубо сельскохозяйственными целями, умаление ресурсов органического вещества почв, живой фазы почв, химических элементов и т.п., ограничивает возможности человечества наиболее продуктивно и рационально пользоваться этим ресурсом. С введением в современной России частной собственности на землю, принятием в конце 2001 года нового Земельного кодекса строгое разграничение понятий «земля» и «почва» стало насущной необходимостью. Дело в том, что, несмотря на декларирование в Конституции РФ (ст. 9, 36), Земельном кодексе РФ (ст.1) того, что «регулирование отношений по использованию и охране земли осуществляется исходя из представлений о земле как о природном объекте, охраняемом в качестве важнейшей составной части природы, природном ресурсе, используемом в качестве средства производства в сельском хозяйстве и лесном хозяйстве и основы осуществления хозяйственной и иной деятельности на территории Российской Федерации, и одновременно как о недвижимом имуществе, об объекте права собственности и иных прав на землю» при приоритете охраны земли как важнейшего компонента окружающей среды и средства производства в сельском хозяйстве и лесном хозяйстве перед использованием земли в качестве недвижимого имущества, в действительности, статьей 6 того же кодекса, при разъяснении того, как земельный участок является объектом земельных отношений, не разъяснено, как объектом земельных отношений должна быть земля как природный объект и природный ресурс, то есть то, что всецело определяется понятием «почва».

Какие же другие качества почв, помимо плодородия, могут рассматриваться как ресурсные? Чтобы понять это, следует обратиться к определению понятия *природные ресурсы*.

Согласно Федеральному закону РФ об охране окружающей среды (статья 1. Основные понятия):

- природные ресурсы – это компоненты природной среды, природные объекты и природно-антропогенные объекты, которые используются или могут быть использованы при осуществлении хозяйственной и

- иной деятельности в качестве источников энергии, продуктов производства и предметов потребления и имеют потребительскую ценность;
- использование природных ресурсов - эксплуатация природных ресурсов, вовлечение их в хозяйственный оборот, в том числе все виды воздействия на них в процессе хозяйственной и иной деятельности;
  - компоненты природной среды - *земля*, недра, *почвы*, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительный, животный мир и иные организмы, а также озоновый слой атмосферы и околоземное космическое пространство, обеспечивающие в совокупности благоприятные условия для существования жизни на Земле (*курсив наш*).

В тексте этого закона, как легко заметить при его внимательном прочтении, понятия "земли" и "почвы" всегда рассматриваются отдельно, однако без их конкретизации.

В естественных науках понятие *природные ресурсы* понимается более широко. Так, например, Н.Ф.Реймерс (1990) трактует этот термин следующим образом:

- это природные объекты и явления, используемые в настоящем, прошлом и будущем для прямого и непрямого потребления, способствующие созданию материальных богатств, воспроизводству трудовых ресурсов, поддержанию условий существования человечества и повышающие качество жизни (ресурсы удобств, эстетические ресурсы, в том числе феномены природы)

- это тела и силы природы (природные блага), общественная полезность которых положительно или отрицательно изменяется в результате трудовой деятельности человека; используются (или потенциально пригодны для использования) в качестве средств труда, источников энергии, сырья и материалов, непосредственно в качестве предметов потребления, рекреации,... или источников информации об окружающем мире; при этом изменение состояния этих тел и сил (явлений) природы в процессе их использования прямо или косвенно затрагивает интересы хозяйства сейчас или в обозримой перспективе.

Близкая точка зрения на категории природных ресурсов была положена в основу Программы Отделения биологических наук РАН «Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами», в которой рассматривается три категории биологических ресурсов, каждая требует формирования специфических подходов к их сохранению и использованию: 1) ресурсы, вовлекаемые в хозяйственную деятельность и представляющие важную часть сырьевого потенциала страны; 2) ресурсы, поддерживающие биосферный баланс и обеспечивающие стабильное существование человечества; 3) ресурсы, имеющие оздоровительное и культурно-эстетическое значение для развития общества (Программа..., 2003).

Как нетрудно заметить, почвенные ресурсы наряду с другими многоцелевыми природными ресурсами, обладают в той или иной мере практи-

чески всеми указанными качествами, и в соответствии с этими качествами могут быть разделены на *две основные группы – вещественные* (синонимами могут быть: субстантивные, материальные) и *функциональные*.

К *вещественным почвенным ресурсам* мы относим, во-первых, все те слагающие почву компоненты, которые имеют самостоятельную ресурсную ценность или ресурсный потенциал. Наиболее ярким примером такого рода почвенных ресурсов является, без сомнения, почвенный гумус или "гумосфера" планеты, которая, по образному выражению В.А. Ковды и И.В. Якушевской (1971), является "кладовой органических веществ и энергии". В последнее время многочисленными работами почвоведов и климатологов показана чрезвычайно высокая роль почвенного гумуса в депонировании углерода атмосферы, что регулирует климатические циклы и поддерживает стабильность климатических характеристик планеты. К такого рода ресурсам следует, по нашему мнению, отнести и другие сугубо "почвенные" образования как, например, иллювиальные горизонты дифференцированных почв, служащие локальным временным водоупором для сезонных и талых вод, и регулирующие таким образом поверхностный и грунтовый сток. Сложнее обстоит дело со второй группой вещественных ресурсов почв, которые не являются исключительно результатом почвообразования. Так, например, живая фаза почв, представленная микробным и животным населением, неотъемлемо связана с почвой, не может существовать (постоянно или определенное время) и воспроизводиться вне почвы, однако не является впрямую результатом почвообразования. То же касается содержащихся в почвах минералов, химических соединений, почвенной влаги и т.п. Следуя докучаевской парадигме о равенстве всех факторов почвообразования, видимо, надо рассматривать такие ресурсы как почвенные, но с оговоркой о том, что этот тип ресурсов может являться составляющей частью и других многоцелевых ресурсов (водных, атмосферных и др.). И, наконец, в тех случаях, когда нельзя с точки зрения потребительских качеств вычленить отдельные вещественные или функциональные составляющие почвенных образований, в качестве третьей подгруппы вещественных почвенных ресурсов следует рассматривать сами почвы и участки с почвенным покровом как уникальные и целостные биокосные системы, например, при использовании почв в качестве объектов охраны в заповедниках.

Фундаментальные разработки почвоведов, проведенные в последние 25 лет в русле концепции о структурно-функциональной роли почв в биосфере и учения об экологических функциях почв (Добровольский, Никитин, 1986; Структурно-функциональная..., 1999), позволяют говорить о существенном расширении теоретической базы для всесторонней характеристики группы *функциональных ресурсов почв*, к которой относятся и наиболее широко известные и эксплуатируемые ресурсы плодородия почв. При оценке проявления почвами функциональных потребительских ка-



честв, в отличие от случая вещественных ресурсов, почвы всегда должны рассматриваться как целостные системы.

Следуя этим разработкам, перечень ресурсных характеристик почв, связанных с выполнением ими биогеоценологических (экосистемных) и глобальных функций (экосистемных услуг), включает следующие ресурсы прямого и непрямого потребления.

Подгруппа почвенных ресурсов прямого потребления:

- ресурсы плодородия и биопродуктивности (эксплуатируются функции источника элементов питания, депо влаги, элементов питания и энергии, депо семян, стимулятора и ингибитора биогеохимических преобразований веществ, и др)
- место поселения людей и организмов, размещения производственных и иных объектов (эксплуатируются функции среды обитания, жизненного пространства, жилища и убежища, механической опоры)
- сорбции и преобразования загрязнителей и токсинов (эксплуатируются санитарная и буферная функции)

Подгруппа почвенных ресурсов непрямого потребления (обеспечивающие поддержание качества и устойчивости потенциала других биосферных ресурсов):

- ресурсы поддержания биологического разнообразия (эксплуатируются функции пускового механизма некоторых сукцессий, "памяти" ландшафтов, регулирования плотности и продуктивности организмов, фактора биологической эволюции и др.)
- защиты и регулирования состава литосферы (эксплуатируется функция защитного экрана, "кожи" планеты, источника веществ для образования минералов, пород, полезных ископаемых)
- регулирования состава гидросферы (эксплуатируются гидрофизические и коллоидно-химические свойства почв, функции трансформации поверхностных вод в грунтовые, сорбционного барьера)
- регулирования состава атмосферы (эксплуатируются процессы, связанные с "дыханием" почв, депонированием углерода и азота атмосферы)
- энергетического баланса планеты (эксплуатируется функция депонирования и преобразования солнечной энергии, поглощения и отражения солнечной радиации)

Помимо указанных двух основных групп почвенных ресурсов следует выделить особо *группу культурно-эстетических и информационных ресурсов почв*, не связанную с прямой или косвенной эксплуатацией *компонентов и/или функций* почв. Эту группу ресурсов скорее следует считать связанной с эксплуатацией таких *свойств* почв, которые имеют (или могут иметь в будущем) значение для культурной жизни общества. В настоящее время обоснование такой группы почвенных ресурсов пока далеко от совершенства, но в первом приближении мы рекомендуем относить сюда

свойства почв, совершенствующие наше знание об истории развития природы и общества (области, охваченные палепочвоведением и археологическим почвоведением), о разнообразии почвенного покрова планеты (Красные книги, почвенные эталоны), и т.п.

Предложенную группировку почвенных ресурсов для целей их дальнейшего изучения, учета и охраны, безусловно, следует рассматривать как предварительную, требующую обсуждения и дополнения. Однако, уже из вышесказанного следует, что термин "почвенные ресурсы", хотя и "уже" по размеру понятия, чем его современный (пока еще) синоним "земельные ресурсы", включающий не только почвы, но и подпочву, местные воды, рельеф, растительность и др. компоненты, расположенные в границах определенных земельных участков, однако этот же термин и значительно "шире" по содержанию понятия, поскольку включает в себя понимание выполнения почвой иных функций кроме плодородия, обладание почвой иными свойствами, имеющими значение в экономической жизни.

На основании сказанного дадим определение почвенных ресурсов.

К **почвенным ресурсам** относятся такие почвенные системы, а также компоненты, свойства и функции природных и антропогенно преобразованных, а также искусственных почв, которые используются или могут быть использованы для осуществления хозяйственной, культурной, духовной и иной деятельности человека, способствуют устойчивому развитию человеческой цивилизации при условии повышения качества жизни и сохранения человека как биологического вида, и имеют соответствующую потребительскую ценность.

Сравним предложенное определение с определением, содержащимся в проекте Федерального закона "Об охране почв"<sup>1</sup>: "Почвенные ресурсы - вид природных ресурсов, используемых в сельском и лесном хозяйстве как средство производства и предмет труда, представляющих земельные участки с почвами, а также плодородную почвенную массу, являющиеся объектами собственности и хозяйственной деятельности, владение, пользование и распоряжение которыми осуществляется на основе законодательства Российской Федерации и субъектов Российской Федерации".

Не вдаваясь в обсуждение юридических особенностей данного определения, отметим лишь, что если в таком виде оно войдет в закон, то это вновь законодательно (!) ограничит области деятельности российских почвоведов сельским и лесным хозяйством, существенно сузит даже по сравнению с Законом об охране окружающей среды требования государства к почвенной науке, что в конечном итоге не будет способствовать повышению статуса почвоведения в нашей стране.

---

<sup>1</sup> Отклонен Правительством РФ в 2006 году. В настоящее время готовится новая версия проекта этого закона по поручению МПР РФ.

По нашему мнению, следует до принятия этого закона настойчиво отстаивать более широкое законодательное толкование почвенных ресурсов, включающее выполнение почвой не только утилитарных, но и других биосферных функций.

В свете мероприятий по разработке и дальнейшему осуществлению экологической политики Российской Федерации, принятых Президентом и Правительством РФ в последние два года, почвам следует уделять внимание наравне с другими природными ресурсами и богатствами, от которых зависит безопасность и независимость нашей страны: ресурсами недр, водными и биологическими ресурсами, земельными ресурсами. При этом, в отличие от ранее предлагавшихся подходов, ключевое отличие современного момента состоит в том, что важнейшее значение на сегодняшний день имеет не только проблема охраны почв как компонента биосферы, но в первую очередь - проблема их управления (или, выражаясь современным международным языком – менеджмента), включающая различные аспекты охраны (Burden, 2010, Adaptive environmental management, 2009, Journal of Environmental Planning and Management, 2010). Именно этот мотив, созвучный общепринятым международным подходам в области использования природных ресурсов и наметившейся тенденции реформирования системы государственного управления в сфере охраны окружающей среды в России, нам хотелось бы подчеркнуть в первую очередь.

Недопонимание роли почвенных ресурсов в экономике страны на всех уровнях управления приводит к умалению значения почв в биосфере и жизни человека, бездумной, а зачастую хищнической переэксплуатации, развитию деградационных процессов, и, в конечном счете – снижению ресурсного потенциала вплоть до полного его уничтожения. Государственные программы, такие как «Плодородие», «Развитие АПК» и пр., решают в основном частные задачи, направленные не на системное управление ресурсом, а на ликвидацию «брешей» в сельском хозяйстве, вызванных экономическим коллапсом 80-90-х годов прошлого столетия. При этом основные акценты делаются на технические аспекты сельского хозяйствования (закупка техники, средств химизации, восстановление коммуникаций, и т.п.), а не на поиск новых технологических решений в новых экономических и социальных условиях с учетом природных особенностей формирования и функционирования почв. До сих пор в практике земледелия доминирует концепция, которую можно образно назвать «очерноземливанием» всех почв, то есть доведением природных почв вне зависимости от условий их формирования высокочрезвычайными техническими средствами к состоянию, близкому по свойствам к черноземам (путем повышения содержания органического вещества, разного рода осушительных и оросительных мелиораций, внесением удобрений, и т.д.). Более продуктивным может оказаться подход, именуемый адаптивно-ландшафтным земледелием, когда методологической основой рационального землепользования являет-

ся не высокочатратное изменение почв, а выбор экономически оправданных культур, в наибольшей степени приспособленных для выращивания на природных почвах с минимальной их обработкой. Однако применение такого и подобных подходов требует серьезной перестройки всей системы кадрового обеспечения сельского хозяйства страны, перенацеливания агрономического и агроэкологического образования и просвещения с унифицированных технологических решений и технологических карт земельного на творческие решения при поддержке высококвалифицированных экспертов региональных консультационных служб, организованных, например, по типу саморегулирующихся организаций.

Проблема устойчивого управления почвенными ресурсами в современной России состоит в том, что законодательство, регламентирующее отношения, возникающие в области почвенных ресурсов, в основном касается вопросов охраны почв, но не их использования. Поэтому сложилась такая практика, при которой почвы со стороны государства стали в основном рассматриваться как объект охраны и соблюдения экологических требований и нормативов, но не объект эксплуатации и рационального использования (экономической деятельности). В отличие от других ключевых природных ресурсов (воды, ресурсов недр, биологических ресурсов), для которых порядок их использования определен действующим законодательством (Земельный Кодекс, Водный Кодекс, Лесной Кодекс, законы о растительном и животном мире), только почвы не имеют соответствующего симметричного закона. Ранние попытки МПР, заинтересованных депутатов и других организаций разработать и принять закон «Об охране почв» закончились неудачей (последний проект был отклонен в 2006 году – Официальный отзыв, 2006), поскольку вопросы охраны качества земель (читай – почв) отражены в действующем законодательстве избыточно, «законопроект не имеет самостоятельного предмета правового регулирования и затрагивает правовые нормы, которые уже установлены в действующем законодательстве». По нашему мнению, требуется именно закон «О почвах», в котором основной акцент будет сделан на значение почв как природного ресурса, используемого в качестве средства производства и одновременно – природного объекта, имеющего большое значение для жизни и здоровья человека. Одним из важных оснований для принятия такого закона может служить то, что почва не всегда является принадлежностью конкретного земельного участка (как это следует из Земельного и Гражданского кодексов), и может быть отчуждена от места своего формирования. В России имеется опыт разработки региональных законов о почвах и успешного их применения на практике. Парадоксально, но такой закон принят именно в том субъекте федерации, где собственно *почв* в составе *земель* крайне мало: «Закон города Москвы №31 от 4 июля 2007 года «О городских почвах»). Неужели для осознания важности принятия такого зако-

на для всей России нужно, чтобы деградация почв в масштабе страны была сопоставима с уровнем их деградации в Москве?!

Новый федеральный закон «О почвах» (как природном ресурсе) должен определить отличие земельных отношений, возникающих вокруг использования почвенных ресурсов, от земельных отношений, возникающих вокруг земельных участков как объектов недвижимости, законодательно определить понятие почв и почвенных ресурсов, установить основные направления государственной почвенной политики, определить компетенцию органов государственной власти и местного самоуправления по вопросам использования и охраны почвенных ресурсов в составе земель различных категорий, определить стимулы землепользователей к улучшению качественного состояния почв и земель. Недавняя экспертиза этого закона, проведенная Общественной палатой РФ (Заключение, 2009), подтвердила его целесообразность и сохраняющуюся актуальность.

### ***Целевые задачи учета и оценки почвенных ресурсов***

Из предлагаемого определения почвенных ресурсов следует, что это понятие – многоплановое и многоцелевое. Это значит, что хотя возможность интегральной характеристики почвенных ресурсов и существует, тем не менее, в реальной жизни такая характеристика не имеет существенного значения. Для хозяйственных, юридических и других целей гораздо важнее (а также методически и технически проще) определять почвенные ресурсы лишь через те компоненты, свойства и функции почв, которые имеют непосредственное отношение для осуществления выбранной цели.

Такая постановка вопроса с учетом современного уровня развития почвоведения и информационных технологий позволяет по-новому взглянуть на задачи учета и оценки почвенных ресурсов, которые требуют для своего решения серьезной научной проработки. Попробуем в первом приближении обосновать и наметить круг целевых задач почвенной ресурсологии.

В настоящее время, когда обществом признается (экономически и законодательно) только две экономически ценные функции почв – *плодородие и место для размещения* жилищных, производственных и других объектов, нет, и не может быть иных экономических оценок почв, кроме тех, которые учитывают показатели этих функций. Все рассуждения почвоведов о важности других биосферных и потребительских качеств почв останутся лишь предметом теоретических исследований до тех пор, пока эти качества (реальные или потенциально возможные) не получат экономического и/или стоимостного выражения. Только в этом случае меры по охране и воспроизводству почв будут иметь не только гуманитарный, но и хозяйственный смысл, смогут претендовать на серьезную государственную и финансовую поддержку, а экономисты получают инструмент для аль-

тернативной оценки потребительской ценности почвенных ресурсов в зависимости от целей их эксплуатации. Что же мы имеем сейчас?

Сейчас можно с уверенностью говорить о том, что в наибольшей степени в России разработана и активно используется в экономической практике система оценки только одной функции почв – места для размещения. Строго говоря, эта функция скорее свойственна не столько почвам, сколько землям вообще. Именно поэтому сугубо почвенные показатели при оценке этой составляющей почвенных ресурсов мало используются, а стоимость земель (и соответственно, выбор экономически оптимальной категории использования) определяется на основе выгод (рентного дохода, рыночной стоимости, экономических издержек, общественной значимости), приобретаемых от размещения тех или иных хозяйственных или природных объектов (жилищных, производственных, лесных, водных, и др.). Другая функция – плодородие – учтена только при расчете стоимости сельскохозяйственных угодий в субъектах РФ (Правила..., 2000) в виде *интегрального показателя плодородия почвы (разновидности или группы почв)* – относительной величины совокупного влияния признаков и свойств почвы на продуктивность (урожайность) сельскохозяйственных угодий с данным почвенным покровом, измеряемой в баллах бонитета (в диапазоне от 0 до 100). Таким образом, в широкой практике учета земель потребительская стоимость других компонентов, функций и свойств почв не принимается во внимание. Вместе с тем, в последние годы экономистами совместно с почвоведом предложены ряд подходов, носящих скорее рекомендательный, чем нормативный, характер, в которых делаются попытки отобразить при стоимостной оценке иные ресурсные качества почв. Заслуживают определенного внимания методы оценки отдельно взятых земельных участков и земель крупных массивов сельскохозяйственного назначения по доходности на единицу почвенно-экологического индекса (Шишов Л.Л. с соавт., 1991), под которым понимают балл бонитета, отражающий уровень плодородия почв с учетом климатических показателей и природных условий окружающего ландшафта, а также методика оценки стоимости земли с учетом ее экологического состояния, подразумевающая под последним загрязнение почв промышленными и радиоактивными отходами (разработчик – ВНИЭТУСХ (Экономические проблемы..., 1995)). Наиболее полный обзор перспективных методик оценки земель и почв, включая стоимостные и экологические, учитывающие возможность оценки потенциально возможной продуктивности, был приведен в книге «Оценка почв» (Савич и др., 2003).

Более продвинутыми в отношении оценки стоимости многоцелевых ресурсов являются различные (преимущественно рекомендательные) методы экономической оценки биологических ресурсов, принципы которых могут быть перенесены в практику целевой оценки почвенных ресурсов. Следует отметить, что подавляющее большинство этих методов и подхо-

дов были предложены лишь в последние полтора десятилетия, что демонстрирует возможность их внедрения в практику экономической оценки почвенных ресурсов в относительно небольшой промежуток времени. Среди них: 1) методы оценки ущерба биоресурсам (включающие методики по оценке и возмещению вреда, нанесенного окружающей среде в результате экологических правонарушений, методики определения предотвращенного экологического ущерба (в т.ч. ущерб почвам), алгоритмы расчета капвложений, предотвращающих ущерб запасам биоресурсов; 2) методы оценки воздействия на окружающую среду (включающие методы оценки с помощью изменения производительности, на основе анализа "затраты-эффективность", косвенной оценки по превентивным расходам, с помощью стоимости воссоздания, с помощью затрат на перемещение, с помощью теневых проектов, через товары – заменители, на основе готовности платить, на основе гедонического ценообразования; 3) методы расчета величин показателей истощения возобновимых и невозобновимых ресурсов (методы чистой цены, издержек пользователя, текущей стоимости, эффективности инвестиций, рыночной оценки) (Принципы и методы..., 2002).

Таким образом, существует необходимость и потенциальная методическая возможность при совместной работе почвоведов и экономистов поставить и осуществить задачу по систематизации и оценке вещественных, функциональных, а также культурно-эстетических и информационных ресурсов почв с целью альтернативной оценки потребительской ценности почвенных ресурсов в зависимости от целей их эксплуатации.

Очевидно, что эта работа потребует *разработки специальных показателей для характеристики каждого ресурсного качества почв*, целевых индикаторов, шкал степеней пригодности, параметров ресурсной емкости и ресурсного потенциала, и т.п.

Предлагаемая система учета и оценки почвенных ресурсов не будет и не должна заменять собой существующую систему учета и оценки земельных ресурсов или биологических, водных, лесных и других природных ресурсов. Эти системы должны быть интегрированы, основаны на единых информационных показателях, и представлять, как нам кажется, систему долевых или поправочных коэффициентов для интегральной оценки экономической ценности тех или иных территорий. На простом примере эту идею можно пояснить следующим образом. Например, при эксплуатации земель сельхозназначения не учитываются иные ресурсные качества почв кроме как их плодородие, определяемое через балл бонитета агропочв. Вместе с тем, например, эти же почвы имеют также лесорастительные или рекреационные или другие ресурсные качества, которые могут даже иметь бóльшую потребительскую ценность, однако при расчете стоимости данных земель они уже не учитываются, а следовательно, дополнительные издержки на поддержание и улучшение этих дополнительных качеств пользователем, владельцем или арендатором не несутся. В ре-

зультате, как например, в случае с опустыненными пастбищами Черных Земель, при перегрузке пастбищ происходит не только устойчивая потеря их продуктивности на длительный срок, но и из-за недоучета защитных функций почв нарушается санитарное состояние водоемов, территория из-за песчаных бурь становится не пригодной для жизни людей. И наоборот, лесомелиоративные мероприятия на сельхозполях в степной и сухостепной зонах, ставящие основной целью влагозадержание и повышение продуктивности земель, приводят к оздоровлению природной среды в целом, что повышает рыночную стоимость земель даже в случае их перевода в другие категории.

Иначе говоря, мы ставим задачу разработки своего рода экспертной системы, которая позволит с одной стороны, учитывать при оценке земель все имеющиеся и потенциальные ресурсные качества почв, обладающие потребительской ценностью, а с другой стороны, предложить при оценке любых категорий земель (не только сельхозугодий) использовать поправочные коэффициенты, учитывающие прямую или косвенную эксплуатацию почвенных ресурсов (в том числе приводящую к их порче или восстановлению).

Такая экспертная система, адаптирующая тезаурус потребителя информации о почвенных параметрах к конкретным целям использования почвенных ресурсов, может работать только при условии создания открытой пополняемой интегральной базы данных по почвенным ресурсам, структурированной по целевым задачам учета и оценки почвенных ресурсов.

Так, например, для каждой из категорий земель можно выделить и разработать наиболее информативные показатели и основанные на них алгоритмы оценки ресурсных качеств и ресурсного потенциала почв, связанных с прямо или косвенно эксплуатируемыми человеком функциями, компонентами и свойствами почв. Очевидно, что ряд показателей окажутся общими сразу для нескольких категорий земель, а некоторые будут специфичными для соответствующих категорий. Такая работа позволит создать серию целевых группировок почвенных ресурсов по их назначению, например: группировка почвенных ресурсов для сельского хозяйства, группировка почв для земель лесного фонда, для природоохранного назначения и т.д. Эта задача не является принципиально новой для почвоведов. Хорошо известны комплексные группировки почв, имеющие целевое направление (экологические, инженерные, санитарные и др.), а также специализированные и узкоспециализированные группировки, среди которых наиболее широко известны агрогруппировки почв, в том числе – под различные севообороты и даже культуры (Булгаков, 2002).

Работа над такими алгоритмами и группировками даст возможность разработать базовую методологическую основу для проектирования структур баз данных и экспертных систем по почвенным ресурсам, и в даль-



нейшем перейти к решению более сложных задач – разработке оценочных показателей состояния почвенных ресурсов, поддерживающих биосферный баланс, а также ресурсов, имеющих оздоровительное, информационное и культурно-эстетическое значение.

На этом же этапе предстоит решить подзадачу создания экспертных целевых алгоритмов, функционирующих при разной информационной обеспеченности и адаптированных к тезаурусам пользователей базой данных. Иначе говоря, потребуются провести анализ того, в какой степени теоретически решаемые целевые задачи учета и оценки почвенных ресурсов обеспечены существующей информацией, что позволит настроить экспертную систему на постановку задач получения новых или дополнительных данных о компонентах, свойствах и функциях почв и почвенного покрова, имеющих ресурсное значение. В то же время это позволит настроить экспертную систему на отказ от использования избыточной информации, что снизит затраты на принятие целевых решений в будущем.

Другая подзадача, обеспечивающая подготовку действий по созданию алгоритмов, состоит в необходимости обоснования и методической реализации понятий "запасов почвенных ресурсов", "ресурсного потенциала", "исчерпаемости-неисчерпаемости", "возобновимости-невозобновимости", "уничтожаемости" и "рассеиваемости", "критических порогов состояния", и других понятий, принятых в ресурсологии и энвайронменталистике, в виде стандартизированных запросов к базе данных по отношению к разным категориям почвенных ресурсов. Решение этой подзадачи, помимо совершенствования разрабатываемой экспертной системы, позволит, на наш взгляд, расширить теоретические представления о категориях почвенных ресурсов, детализировать знание о качествах почв как ресурсов вообще.

Третья задача является наиболее сложной, поскольку потребует длительного согласования используемых в почвоведении и смежных науках стандартов и форматов представления данных. Потребуется разработка единых классификаторов, корреляционных номенклатур и группировок.

Четвертая задача определена тем, что до принятия единых форматов и стандартов теоретически возможная гипербаза данных по почвенным ресурсам не будет востребована потенциальными пользователями. В связи с этим предстоит разработать механизм создания и онлайн-доступа к так называемой мета-базе данных по почвенным ресурсам, представляющей собой Интернет-ориентированную систематизированную сводку об информационных ресурсах, имеющихся у разных держателей информации по почвенным ресурсам. Это - своего рода база данных о базах данных, которая на первых этапах будет способствовать интеграции держателей информации, объединению их в сеть респондентов и пользователей.

И, наконец, пятая задача, которую мы видим на пути создания обобщенной базы данных по почвенным ресурсам – это создание возможностей

для регулярного обновления содержания базы на основе геоинформационных технологий с использованием методов автоматизированного дешифрирования материалов дистанционного зондирования Земли.

### ***Почвенно-экологическая оценка земельных участков***

Базовая концепция почвенных ресурсов имеет важнейшее значение для определения места и роли почв в жизни человека, особенно при рассмотрении проблем, возникающих в сфере имущественных отношений на землю. Наряду с теорией структурно-функциональной роли почв в биосфере она служит теоретической и практической основой для проведения всесторонней почвенно-экологической оценки земельных участков. Наш собственный опыт экологической оценки почвенного покрова разнообразных участков, различающихся по географическому положению, характеру использования земель, размерам позволил ранжировать и структурировать типовые ситуации и задачи, стоящие на современном этапе развития прикладных аспектов экологического почвоведения.

Несмотря на то, что, как мы отмечали выше, в обыденном сознании понятия «почва» и «земля», как правило, отождествляются, большинство землевладельцев и землепользователей на практике понимают, что полное отождествление этих понятий неправильно и ошибочно. Недоучет таких ошибок часто ведет к прямым финансовым потерям, а также к возникновению издержек экологического и санитарного характера, что в конечном итоге опять-таки оборачивается экономическими просчетами. Приведем простой пример: недоучет уровня плодородия почв, степени их загрязнения при осуществлении сделок купли-продажи земельных участков приводит к незапланированным тратам нового землепользователя для доведения почв до требуемого уровня плодородия или снижения степени их экологической опасности.

Дело в том, что в отличие от земельных участков, почвы как объект имущественных отношений и (или) объект экономической эксплуатации сложны для стандартизации и технической регламентации. Этому есть ряд объективных причин.

Первую причину мы видим в том, что в современном мире почвы в основном рассматриваются:

- 1) как объект эксплуатации для производства растительной продукции;
- 2) как компонент окружающей среды, регулирующий состояние экосистем и биосферы в целом (Деградация, 2002)<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> В последние годы этот аспект рассмотрения почв и других природных ресурсов в экономической науке больше известен под термином «экосистемные услуги» (ecosystem services). Некоторые ученые считают, что это понятие лучше близкого к нему традиционного понятия «ресурсы» отображает многообразие отношений человека с окружающей средой.

В определенной степени можно рассматривать эти позиции как противоречашие, поскольку неграмотная переэксплуатация плодородных качеств почв ведет к потере почвами их экосистемных функций и ухудшению состояния окружающей среды, а избыточное стремление к сохранению экологических функций почв ограничивает возможность их хозяйственного использования. В нашей стране указанное «противоречие» проявляется в том, что у почв имеются два «хозяина», представленные различными ветвями исполнительной власти – сельскохозяйственной и природоохранной. Несмотря на то, что обе ветви власти стремятся к интеграции и разумному взаимодействию, между ними все еще существуют разногласия, которые оборачиваются неразрешимыми проблемами для конкретного законопослушного землепользователя. Простейший пример – необходимость соблюдения требований законодательства по сохранению плодородия почв (Гражданский кодекс Российской Федерации, Земельный кодекс Российской Федерации, Федеральный закон «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения»), например, в Подмосковье, где плодородие крайне трудно поддерживать без внесения минеральных и органических удобрений, а также норм, запрещающих использование удобрений и сельскохозяйственных ядохимикатов в водоохранной зоне источников питьевого водоснабжения (Водный кодекс Российской Федерации). В создавшихся в Подмосковье экономических условиях рентабельность экологически чистого сельского хозяйства на полях, примыкающих к притокам реки Москвы, близка к нулю или даже отрицательна, что приводит к забрасыванию сельскохозяйственных полей, а в случае прессинга со стороны потенциальных застройщиков – к переводу этих нерентабельных земель в другие категории. Последующая их застройка ведет к деградации или исчезновению и без того низкокачественных почв, что не способствует улучшению экологической ситуации. Налицо парадоксальная ситуация: в целом разумное законодательство в конкретных почвенно-экологических и экономических условиях стимулирует ухудшение условий проживания людей.

Вторая причина, по которой почвы плохо поддаются стандартизации и технической регламентации для целей их разумного использования, состоит в их особенности как природных тел изменяться во времени. При этом отклик разных почвенных свойств на разного рода природные и антропогенные воздействия неодинаков и описывается быстрыми или долговременными почвенными процессами и режимами, длительность которых исчисляется от нескольких секунд до сотен тысяч лет. Именно поэтому почвы, имеющие формально одинаковые названия и, соответственно, одинаковую кадастровую или нормативную стоимость, в реальности могут различаться по устойчивости к воздействующим на них природным факторам и антропогенным агентам, меняться в сторону ухудшения или улучшения технологических качеств с разной скоростью, иметь разные свойства, определяющие риск порчи построенных на земельном участке зданий,

деградации самих почв и т. п. Следовательно, экономические вложения даже в почвы с одинаковым названием для выполнения ими одинаковых технологических и экономических задач могут существенно различаться. Простой пример – сезонное подтопление зданий или разрушение фундаментов из-за недоучета сложения почвенного профиля при проектировании ливнеотстоков, дренажных систем и (или) гидроизоляции фундаментов. При строительстве зданий и сооружений почвы, имеющие внутрпочвенный водоупорный слой, требуют больших затрат на строительство дренажных систем, однако вложения на предпроектную проработку и создание профилактических мер в конечном итоге оказываются как минимум на порядок ниже, чем ремонт уже построенных зданий. Разнообразие почвенных свойств, процессов и эксплуатационных задач приводит к тому, что для оптимизации хозяйственных затрат в каждом конкретном случае необходима специальная экспертная оценка, которую могут провести только специалисты-почвоведы.

Таким образом, мы приходим к выводу, что в настоящее время из-за недопонимания хозяйствующими субъектами роли почв при эксплуатации земельных участков, из-за противоречий, существующих в законодательстве, сложности регламентации процедур почвенно-экологической оценки, разнообразия эксплуатационных задач, самих почв и их свойств хозяйствующие субъекты несут значительные экономические издержки в результате увеличения эксплуатационных расходов, увеличения затрат на освоение земельных участков, риска компенсационных выплат, административных штрафов и т. п. Сокращение издержек и преодоление названных проблем в этой предметной области возможно только при осуществлении процедур почвенно-экологической оценки, а разрешение хозяйственных и судебных споров – с помощью проведения почвенно-экологической экспертизы (Омельянюк, 2004). В последнее время в России в связи с изменением земельного законодательства эта тематика приобретает особое звучание, поскольку выходит за рамки общеэкологических исследований роли почв в биосфере, а также за рамки утилитарного восприятия почвы как объекта сельскохозяйственного производства.

Как показывает наш опыт, все больше становится землепользователей, для которых знание о состоянии почв на их земельных участках становится не чем-то отвлеченным и не особо нужным, а крайне необходимым, поскольку состояние почв и почвенных ресурсов даже малых земельных участков становится предметом имущественных, экономических, социальных отношений, а также предметом хозяйственных и судебных споров. Получение и использование этого знания и составляет предмет почвенно-экологической оценки.

Что же понимается нами под почвенно-экологической оценкой?

*Почвенно-экологической оценкой* для целей регулирования имущественных и других хозяйственных отношений и споров, в том числе разре-

шаемых в судебном порядке, будем называть комплекс специальных полевых и лабораторных исследований, проводимых специалистами-почвоведом для установления состояния почв конкретного земельного участка, его ресурсных качеств, появления риска, угрожающего здоровью человека, а также рисков, снижающих качества сопряженных компонентов окружающей среды (вод, воздуха, биоты).

В определенной степени на практике имеет смысл различать процедуры почвенно-экологической оценки и почвенно-экологической экспертизы. Несмотря на то, что методические подходы к их проведению схожи, как правило, экспертиза осуществляется при решении споров или для принятия решений. «Оценка» предполагает более мягкое проведение этих процедур и может служить как основой для «экспертизы», так и иметь самостоятельную информационную ценность, например для экономических расчетов.

### ***Типовые ситуации, требующие проведения почвенно-экологической оценки и (или) экспертизы для оценки качества почвенных ресурсов***

За последние годы нами было обследовано несколько сотен земельных участков с целью проведения почвенно-экологической оценки и (или) экспертизы. Участки существенным образом различались по географическому положению (от полупустынь до северной тайги и тундры), характеру использования земель (обследовались земли сельскохозяйственного назначения, земли поселений, промышленности, оборонного, рекреационного назначения, лесного фонда), размерам (от нескольких десятков квадратных метров до сотен тысяч гектаров) и т. д.

Не имея возможности в рамках отдельной главы рассмотреть большую часть конкретных ситуаций, позволим себе сгруппировать их в несколько типовых блоков и ранжировать по степени сложности для выполнения задач почвенно-экологической оценки и экспертизы.

#### **Задача установления качества почв для кадастровых и оценочных работ**

Задачи этого блока являются типовыми при выполнении стандартных работ по кадастровой оценке земель, требующихся для установления величины исчисляемого земельного налога, расчета потерь сельскохозяйственного производства, рыночной стоимости земель и т. п. Как правило, такие работы осуществляются с проведением картографических работ, устанавливающих характер почв на участке (их классификационную принадлежность) и занимаемую ими площадь. Такие виды работ выполняются как по заказам учреждений земельного кадастра, так и по заказам юридических или физических лиц, сомневающимся в правильности информации, полученной из официальных источников. В последнее время число по-

следних возросло, поскольку официальная кадастровая оценка земель (особенно сельскохозяйственного назначения) проводится с использованием устаревших почвенных карт.

#### Задача установления факта и степени нарушенности почвенного покрова при известных причинах

Решение задач этой категории, как правило, бывает необходимо при проведении оценки и экспертизы относительно небольших земельных участков в случае возникновения административных, хозяйственных и судебных споров (включая гражданские, арбитражные и уголовные дела). В основном выполнение работ имеет характер экспертизы, а методика их проведения в каждом конкретном случае предопределяется вопросами, поставленными в задании на производство работ конкретным заказчиком. Спектр задач, решаемых в рамках этого блока, очень разный. К наиболее распространенным вопросам относятся определение площади нарушенного или загрязненного участка и проверка достоверности информации, содержащейся в исковом заявлении или материалах уголовного (арбитражного, гражданского) дела. Причинами нарушения почвенного покрова обычно выступают загрязнение нефтепродуктами, минеральными токсинами (например, тяжелыми металлами, некоторыми пестицидами, удобрениями), эрозия почв, истощение почв в результате интенсивной сельскохозяйственной деятельности, засоление и осолонцевание почв и т. д.

#### Задача установления причин изменения состояния почв

Не во всех случаях причина изменения состояния почв (как правило, причина их деградации) ясна и определена. Так, например, без специальных исследований трудно установить, в результате чего произошло физическое нарушение плодородного слоя – неграмотных действий фермера при вспашке и обработке почв или порчи их в результате прохода военной техники или попадания снаряда (типичный пример исков крестьянских хозяйств к Министерству обороны) (Кутузова, Куст, 2005). Другой пример – засоление или осолонцевание почв, произошедшее в результате подтопления участка при строительстве дороги или орошения минерализованными водами.

#### Задача установления причин изменения состояния природного или искусственного объекта

Почвы – важнейший компонент природных систем, участвующий во многих природных циклах, охватывающих также и созданные человеком объекты – сельскохозяйственные поля, мелиоративные системы, зеленые насаждения, здания и сооружения, городскую среду. Зачастую именно меняющиеся почвенные свойства, процессы и режимы или их совокупности оказывают влияние на имущество хозяйствующих субъектов. Причем в

подавляющем большинстве случаев именно почвенные свойства усиливают или ослабляют то или иное воздействие. Мы уже приводили пример подтопления зданий в случае недоучета особенностей передвижения почвенной влаги в специфических условиях. Аналогичные ситуации возникают и при недоучете мерзлотных, химических, микробиологических, минералогических и других почвенных свойств (при проектировании зданий и инженерных сооружений, эксплуатации ирригационных и дренажных систем, пересадке зеленых насаждений, проектировании рекреационной нагрузки и т. д.).

#### Задача прогноза изменения состояния почв или функционально связанного с ними состояния природного или искусственного объекта

Как в любой области знания, изучающей поведение природных и сопряженных с ними искусственных систем, задачи прогноза являются самыми сложными и наиболее уязвимыми для последующей критики. Почвенные прогнозы не являются исключением. Здесь достоверность прогнозов в значительной мере зависит от уровня квалификации и опыта эксперта. При составлении почвенных, почвенно-геохимических, почвенно-гидрологических и других прогнозов значительную роль играет учет максимально возможного набора влияющих параметров, скоростей и обратимости протекающих процессов, исходных свойств, а также параметров меняющихся внешних условий. Несмотря на сложность задач этой категории (к типичным можно отнести прогнозы урожайности, устойчивости зданий и сооружений, приживаемости растений, буферной емкости почв по отношению к загрязнителям и другие прогнозы), в почвоведении накоплен значительный опыт, позволяющий оценить риски возможных изменений, их степень, время действия активных факторов и условий, скорость и обратимость изменений. Во многих случаях представление об этих параметрах даже на качественном уровне позволяет снизить издержки и избежать непредвиденных эксплуатационных затрат, а оценка санитарно-эпидемиологического состояния почв – предотвратить риски угрозы жизни и здоровья людей, за которые предусмотрена уголовная ответственность. Вместе с тем, теория оценки почвенно-экологических рисков пока еще слабо разработана, что делает экспертную оценку в данной области неточной и противоречивой. Вместе с тем, в современном мире это становится все более актуальным в связи с развитием страхового бизнеса в области страхования рисков землепользования.

Другой тип прогнозных задач, решаемых с помощью почвенно-экологической оценки – это проверка действия на окружающую среду новых препаратов, применяемых в различных сельскохозяйственных и промышленных целях – пестициды, грунтоукрепляющие вещества, удобрения и т. п. Здесь достоверность прогнозов может быть существенно выше, по-

скольку имеется возможность использовать методы математического и натурного (физического) моделирования.

Многие из перечисленных типовых задач приходится решать в совокупности при выполнении комплексных почвенно-экологических изысканий.

### ***Наиболее распространенные комплексные задачи***

В определенной степени наиболее распространенные комплексные задачи также могут быть типизированы.

#### Задача оптимизации размещения объектов на земельном участке

Задачи оптимизации размещения объектов на конкретном земельном участке возникают в разных ситуациях, связанных с землепользованием. Типичные ситуации, с которыми нам приходилось сталкиваться на практике, отражают уровень проработанности конкретной ситуации землевладельцем и в целом определяются следующими вопросами:

- стоит ли приобретать земельный участок с тем, чтобы потом его выгодно продать;
- создают ли имеющиеся почвенно-экологические условия и свойства риск снижения (повышения) рыночной стоимости земельного участка;
- что наиболее выгодно производить (построить) на имеющемся земельном участке;
- в случае наличия проекта производства (сельскохозяйственного, промышленного) какой из имеющихся в рассмотрении участков наиболее приемлем для осуществления указанных в проекте целей;
- как оптимально разместить проектируемые объекты, если есть участок и проект организации производства (строительства);
- какие дополнительные работы (например дренаж) имеет смысл производить, чтобы снизить эксплуатационные затраты в будущем;
- как избежать возможных экологических нарушений?

Как видно из приведенного перечня вопросов, при проведении почвенно-экологической оценки для оптимизации размещения объектов на земельном участке приходится не только сталкиваться с тем, что земельные участки имеют различную почву, площадь, сопутствующие условия природного и искусственного характера, но и иметь дело с разными проектируемыми объектами и хозяйственными задачами, в числе которых могут быть комплексное производство на базе первичной сельскохозяйственной продукции, заводы и предприятия с коммунально-бытовой зоной и объектами рекреации, сугубо сельскохозяйственное производство, зонирование национальных парков и заповедников, районирование области для оптимального размещения сельскохозяйственных культур и т. д., и т. п. Иначе говоря, разнообразие и комплексность задач таковы, что не позволяют рег-



ламентировать детально весь комплекс почвенно-экологических изысканий и оценочных работ.

Вместе с тем, единство методологических подходов, используемых в каждом конкретном случае, состоит в том, чтобы проработать альтернативные варианты размещения производственных объектов таким образом, чтобы максимально снизить затраты на освоение, эксплуатационные расходы, снизить риски нарушения природоохранного законодательства, учесть требования существующих нормативов и регламентов (РД, СП, СНИПов и ГОСТов), и в конечном итоге – разработать технические условия на проектирование, а в некоторых случаях – и элементы (инженерные, дизайнерские, технические) собственно проекта. Кроме того, практически во всех случаях требуется проработка профилактических и мелиоративных мероприятий вне зависимости от конкретной планируемой эксплуатационной задачи.

#### Задача разработки технологий или элементов технологий эксплуатации почв для максимальной экономической эффективности и экологической безопасности

В основном наш опыт выполнения работ по почвенно-экологической оценке для этой технологической задачи заключался в разработке комплексных специальных технологий поддержания и устойчивого использования агроэкосистем, а также рекреационных и специфических искусственных систем, а именно в разработке технологий выращивания отдельных сельхозкультур, содержания садов, питомников, полей для выращивания рулонного газона, спортивных объектов (футбольных и гольф-полей и т. п.), а также многочисленных частных садов и парков. В целом такая задача по содержанию и составу работ близка к мероприятиям, по разработке технологических паспортов, карт и регламентов для сельхозпроизводителей. Отличие состоит *лишь* в уровне ответственности за разработанные технологии, поскольку почвовед-эколог разделяет ответственность хозяйствующего субъекта (или владельца частного участка) за устойчивое функционирование или производительность созданных искусственных экосистем. По этой причине важнейшую роль при проведении рассматриваемого типа работ играет умение эксперта и специалиста сочетать и взаимно увязать технологические требования к строению почвенной толщи, ирригационным и дренажным системам, методам борьбы с сорняками и вредителями, проведению агротехнических и агрохимических мероприятий и т. д., включая профилактические меры по предотвращению ухудшения санитарной и экологической обстановки, а также применение методик и приемов, сокращающих эксплуатационные расходы.

### Задача экспертизы проектной документации и корректировка проекта на разных стадиях его реализации

В целом почвенно-экологическая экспертиза проектной документации сводится к выявлению просчетов проектировщиков, обусловленных недостаточным учетом почвенно-экологических параметров, технологических и экологических рисков, а также определению возможных экономических издержек, связанных с возникновением этих рисков. Вместе с тем, как показывает наш опыт, разные проекты имеют разную степень проработанности «почвенного» блока. Так, например, инженерно-мелиоративные проекты в значительной степени учитывают почвенные свойства, и основные просчеты, как правило, связаны с недоучетом почвенных режимов и «запуском» новых почвенных процессов уже на этапе эксплуатации мелиоративных систем. Строительные же проекты содержат раздел по охране окружающей среды, однако почвенный блок представлен в них очень схематично, поскольку регламентов для проведения почвенно-изыскательских работ при осуществлении процедур ОВОС (оценки воздействия на окружающую среду) не существует. Именно здесь кроются разнообразные ошибки, в первую очередь связанные с проектированием ливнепроводов, созданием дренажных систем и разработкой мероприятий по благоустройству и рекультивации. В сельскохозяйственных проектах (проектирование севооборотов, границ полей и т. п.) обычно учитываются только агрохимическое и агротехническое состояние почв и отчасти их мелиоративное состояние, но не берутся в расчет рискообразующие факторы, совокупности текущих почвообразовательных процессов, опасность изменения их направления, степени и скорости.

### Задача обоснования допустимости перевода сельскохозяйственных земель в другие категории

Задачи этой категории приобрели особую актуальность в последние несколько лет в связи с принятием Земельного кодекса Российской Федерации и Федерального закона от 21 декабря 2004 года № 172-ФЗ «О переводе земель или земельных участков из одной категории в другую».

Согласно российскому законодательству, перевод земель из категории сельскохозяйственных в другие допускается лишь в исключительных случаях, поскольку в силу разнообразных причин фонд земель этой категории постоянно сокращается. Мы уже коротко касались этого вопроса. Здесь же нам хотелось бы отметить, что при проведении почвенно-экологической оценки земельного участка, планируемого к переводу из земель сельскохозяйственного назначения в другие земли, одновременно с решением прямого вопроса об определении уровня пригодности участка для сельскохозяйственного производства, также решается и ряд косвенных задач с целью определения порядка дальнейшей эксплуатации земельного участка, а именно:

- оценка санитарного состояния почв;
- предоставляется информация об экологическом состоянии почв и сопряженных объектов окружающей среды (вод, растительности), которая может быть использована в дальнейшем при ОВОС;
- уточняется исходная информация для уточнения кадастровой стоимости участка, расчета потерь сельскохозяйственного производства в соответствии с реальной ситуацией (особенно в случаях естественной потери плодородия со временем или деградации);
- дается оценка прямого и обратного влияния земельного участка (почвенно-геохимических и экологических взаимосвязей) на сопредельные территории при планируемом виде использования;
- даются рекомендации по оптимизации эксплуатации почвенных ресурсов, нарушаемых или отторгаемых при осуществлении проектов на выводимых землях (создание рекреационных зон, оптимизация дренажных систем, утилизация плодородного слоя, разработка рекультивационных проектов и т. п.).

Важно отметить, что экспертное заключение о непригодности земельных участков для сельскохозяйственного использования *может выдаваться только в случае наличия следующих факторов:*

- природно обусловленная низкая продуктивность почв;
- значительная степень деградации почв и объективная невозможность их окультуривания и рекультивации для целей сельскохозяйственного производства в складывающихся социально-экономических условиях;
- ограничения на использование в сельском хозяйстве по экологическим и санитарно-эпидемиологическим показателям;
- экологические выгоды и экологическая обоснованность и целесообразность использования земельных участков в других целях;
- социальные выгоды и социальная обоснованность и целесообразность использования земельных участков в других целях;
- существенно бóльшая экономическая эффективность предполагаемого использования конкретного земельного участка.

Экспертное заключение о непригодности земельных участков для сельскохозяйственного использования *не выдается*, если выявлено следующее:

- высокая устойчивая продуктивность или высокое естественное плодородие почв и экосистем исследованного земельного участка;
- обоснованная объективная возможность восстановления деградированных земель и поддержания уровня их плодородия в складывающихся социально-экономических условиях (при наличии таких альтернатив);
- низкая или меньшая экономическая эффективность предполагаемого использования конкретного земельного участка;

- риск экологического ущерба от предполагаемого использования конкретного земельного участка;
- риск социальных издержек от предполагаемого использования конкретного земельного участка;
- риск нарушения базовых элементов историко-культурного ландшафта региона и его рекреационного потенциала.

#### Задача снижения рисков кредитных и страховых организаций

Этот тип задач, решаемых с помощью почвенно-экологической оценки и экспертизы, пока еще недостаточно востребован на рынке, а процесс поиска их решения находится в зачаточном состоянии, по сути – в стадии проработки. Вместе с тем первые шаги в этом направлении уже делаются. Наиболее перспективными для решения здесь оказываются следующие вопросы:

- существуют ли риски снижения залоговой стоимости земельного участка по почвенно-экологическим условиям;
- какие технологические требования следует предъявлять к залогодателю для сохранения эксплуатационных качеств почв земельного участка;
- как рассчитать страховое вознаграждение страховщика в зависимости от почвенно-экологических условий, длительности периода страхования, соблюдения или нарушения технологических требований к эксплуатации почв земельного участка;
- каковы перечень и стоимость работ по восстановлению эксплуатационных качеств почв.

На эти и другие вопросы почвенно-экологическая экспертиза способна дать ответ после соответствующего изучения объектов и технологий их эксплуатации.

#### Задача почвенно-экологической паспортизации земельных участков

В настоящее время элементы почвенно-экологической паспортизации и сертификации земельных участков уже введены в практику. Так, предприятиям рекомендуется иметь экологический паспорт, в котором находят отражение и параметры состояния почв, которые позволяют следить (проводить мониторинг) за соблюдением экологического законодательства тем или иным предприятием. В ряде регионов (например, в Московской области) уже ведется работа над внедрением паспортов почвенного плодородия. Над этим же работают и крупные землевладельцы и землепользователи, в частности, сельскохозяйственные холдинги. В ряде случаев важным документом, создаваемым на рекомендательной или добровольной основе, может служить санитарный паспорт почв. Во всех перечисленных случаях информация, содержащаяся в обновляемых на регулярной основе «паспортах», отражающих почвенно-экологическое состояние земельного участка, позволяет землепользователю предпринимать оперативные про-

филактические меры по снижению уровня риска экологической опасности и повышения эксплуатационных затрат, корректировать методы использования почвенных ресурсов.

Эта задача также является ключевой в системе стимулирования устойчивого землепользования, поскольку позволит осуществлять мониторинг состояния почвенных ресурсов для конкретных земельных участков. Почвенно-экологические паспорта, составляемые при сделках купли-продажи, аренды, или на регулярной основе, позволяют успешным землепользователям обоснованно претендовать на получение государственной поддержки, а недобросовестных землепользователей - привлекать к ответственности на основании соответствующих нормативов и положений действующего законодательства. Действующие сейчас добровольные системы сертификации почвенных и земельных ресурсов не имеют единой методической базы, хотя различные проработки и модельная реализация этой задачи в разных регионах имеются (например, в Москве и Московской области).

По нашему мнению, создание почвенно-экологического паспорта для любого земельного участка позволит устанавливать ответственность землепользователей, как за экологические правонарушения, так и с другой стороны, в случае разработки системы стимулов к экологически ответственному землепользованию – определять действительно заслуживающие такого стимулирования объекты. Введение почвенно-экологических паспортов в систему государственного земельного контроля должно и может быть неотъемлемой частью системы нормирования воздействий на почвы.

Для выполнения этой задачи может оказаться целесообразным введение в систему добровольной экологической сертификации объектов недвижимости «Зелёные стандарты», созданной при поддержке Минприроды РФ, почвенных параметров для сертификации земельных участков как объектов недвижимости.

### *Заключение*

На современном этапе развития представлений о роли почв в биосфере и жизни человека одна из основных парадигм современного почвоведения, связанная с восприятием почвенных и земельных ресурсов в качестве синонимов, нуждается в обновлении и пересмотре основных положений. Более того, с большой вероятностью можно говорить о том, что в рамках современного экологического почвоведения оформляется новое самостоятельное направление – ресурсология почв.

Для этого направления, базирующегося на учении о структурно-функциональной роли почв в биосферных системах, в качестве основных выступают: определение понятия почвенных ресурсов (в качестве предмета исследований) и группировка почвенных ресурсов.

Под почвенными ресурсами понимаются такие почвенные системы, а также компоненты, свойства и функции природных и антропогенно преобразованных, а также искусственных почв, которые используются или могут быть использованы для осуществления хозяйственной, природоохранной, культурной, эстетической и иной деятельности человека, способствуют устойчивому развитию человеческой цивилизации при условии повышения качества жизни и сохранения человека как биологического вида, и имеют соответствующую потребительскую ценность. Понятие почвенных ресурсов отражает многофункциональность почв и как следствие – многосторонность их использования не только в сельском хозяйстве, но и в ряде других областей экономической и культурной жизни. Термин "почвенные ресурсы" уже по размеру понятия, чем термин "земельные ресурсы", включающий не только почвы, но и подпочву, местные воды, рельеф, растительность и др. компоненты, расположенные в границах определенных земельных участков, однако этот же термин и значительно шире по содержанию понятия, поскольку включает в себя понимание выполнения почвой иных функций кроме плодородия, обладание почвой иными свойствами, имеющими значение в экономической жизни.

В первом приближении выделяются следующие группы (категории) почвенных ресурсов: а) вещественные – почвенные системы и/или слагающие почву компоненты, которые имеют самостоятельную ресурсную ценность или ресурсный потенциал; б) функциональные - связанные с выполнением почвами биогеоценотических (экосистемных) и глобальных функций (подразделяются на ресурсы прямого и непрямого потребления); в) культурно-эстетические и информационные, связанные с эксплуатацией таких свойств почв, которые имеют (или могут иметь в будущем) значение для культурной жизни общества.

Главной задачей почвенной ресурсологии является решение вопросов рационального управления почвами, их устойчивого использования в хозяйственной жизни. Отличительной особенностью почвенной ресурсологии является ее практическая направленность, конечная ориентация на потребителя услуг (хозяйствующие субъекты, государственные и муниципальные органы, страховые и кредитные организации, оценочные организации, юридическую и правоприменительную практику)

В современной России на сегодняшний день можно выделить пять ключевых проблем в области управления почвенными ресурсами: 1) различия в понимании ресурсных качеств почв и земель и потеря управляемости почвенными ресурсами; 2) недостаточное развитие стимулов обеспечения устойчивого землепользования; 3) низкая культура управления почвенными ресурсами (недооценка их значимости и непонимание необходимости бережного отношения к земле); 4) отсутствие на федеральном уровне работоспособной системы координации по вопросам управления качеством земельных ресурсов (отсутствие специализированного фе-

дерального ведомства или структуры); 5) низкий уровень международного сотрудничества в области управления качеством земельных ресурсов.

Перспективные задачи по оценке и учету почвенных ресурсов России, стоящие в связи с этим перед почвоведомы, должны быть направлены на разработку: а) методов стоимостной оценки почвенных ресурсов на базе новых экономических подходов; б) интегральной обобщенной гипер-базы данных по почвенным ресурсам и интернет-ориентированной мета-базы данных как первого этапа ее создания; в) экспертной системы, адаптирующей параметры обобщенной базы данных к целевым задачам пользователей; г) целевых группировок почвенных ресурсов по категориям землепользования и функциям поддержания биосферного баланса.

Решение частных задач по оценке и управлению почвенными ресурсами в условиях развивающегося земельного рынка и возникающих вследствие этого новых имущественных отношений в целом можно свести к разработке регламентов и методик почвенно-экологической оценки для решения комплекса типовых задач (технологий) по повышению экономической эффективности эксплуатации земельных участков, снижению экологических и финансовых рисков, связанных с деградацией и загрязнением почв или недоучетом почвенных параметров при проектировании хозяйственных объектов. Помимо традиционных задач по оценке уровня почвенного плодородия и степени загрязнения почв, актуальной становится проблема разработки адекватных методов использования почвенных ресурсов для снижения эксплуатационных затрат и новых технологических приемов рационального использования почвенных ресурсов с одновременным соблюдением норм природоохранного законодательства. Методами для проведения таких оценок являются традиционные методы генетического и экологического почвоведения в совокупности с экономическими методами.

К большому сожалению, в настоящее время, учитывая современный уровень развития почвоведения, а также особенности почв как природных или искусственно преобразованных объектов, трудно говорить о возможности разработки унифицированных регламентов проведения почвенно-экологической оценки для решения типовых задач. Вместе с тем накопленный в рассмотренной предметной области опыт и проведенная типология задач почвенно-экологической оценки позволяют приблизиться к решению отдельных проблем на региональном и отраслевом уровнях.

### *Литература*

- Булгаков Д.С. Агроэкологическая оценка пахотных почв. –М.: Почвенный ин-т им. В.В.Докучаева, 2002. – 252 с.
- Водный кодекс Российской Федерации от 16 ноября 1995 года.
- Возможности современных и будущих фундаментальных исследований в почвоведении. -М.: ГЕОС, 2000. – 138 с.

- Государственный (национальный) доклад о состоянии и использовании земель в Российской Федерации в 2009 году. Москва, 2010. Министерство экономического развития Российской Федерации. Федеральная служба государственной регистрации, кадастра и картографии. 249 с.
- Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2009 году» Интернет-сайт Минприроды РФ, Москва, 2010, 523 с. <http://www.mnr.gov.ru/part/?act=more&id=6109&pid=1227>
- Гражданский кодекс Российской Федерации от 30 ноября 1994 года.
- Деградация и охрана почв: Коллективная монография. /Под ред. Г.В. Добровольского. М.: Издательство Московского университета, 2002.
- Добровольский Г.В. Почвенные ресурсы России за 150 лет// Россия в окружающем мире. Аналитический ежегодник. – М.: Изд-во ММЭПУ, 2002, с 110-125
- Добровольский Г.В., Васильевская В.Д., Зайдельман Ф.Р., Звягинцев Д.Г., Кузнецов М.С., Куст Г.С., Орлов Д.С.. Факторы и виды деградации почв // Деградация и охрана почв. Коллективная монография. Москва, 2002. С. 33-60.
- Добровольский Г.В., Куст Г.С. Концепция почвенных ресурсов: современное состояние, предпосылки к переосмыслению и постановка задач. Труды института почвоведения МГУ-РАН, 2003 г., выпуск 3 – «Оценка и учет почвенных ресурсов» с.5-17.
- Добровольский Г.В., Куст Г.С., Андреева О.В., Матекина Н.П. Почвенные ресурсы России: понятие, разнообразие, состояние, проблемы охраны // Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами. М., Товарищество научных изданий КМК, 2005. С. 35–46.
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы. –М.: Наука, 2000. – 186 с.
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. –М.: Наука, 1990. – 260 с.
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экологические функции почвы. –М.: Изд-во Московского университета, 1986. – 136 с.
- Заключение Общественной палаты Российской Федерации по результатам общественной экспертизы проекта федерального закона № 83224-3 «Об охране почв», 2009. <http://www.oprf.ru/files/expert/39.doc>
- Закон города Москвы №31 от 4 июля 2007 года «О городских почвах». [http://mosopen.ru/document/31\\_zk\\_2007-07-04](http://mosopen.ru/document/31_zk_2007-07-04)
- Земельный кодекс РФ. Принят Государственной Думой 28 сентября 2001 года. Одобрен Советом Федерации 10 октября 2001 года. <http://www.goscomzem.ru>. -48 с.
- Иванов А.В., Алябина И.О., Иванов С.А., Колесникова В.М., Рыбальский Н.Н., Сафрошкин В.Ю., Шоба С.А. Почвенно-географическая база дан-



- ных: структура данных и метаданные (версия 1.0)// Доклады по экологическому почвоведению, 2010, выпуск 14, N 2, с. 1-118.
- Ковда В.А. Роль и функции почвенного покрова в биосфере Земли. Препринт. Пущино, 1985
- Ковда В.А., Пачепский Я.А. Почвенные ресурсы СССР, их использование и восстановление. Доклад к 8 Всесоюзному съезду почвоведов. – Пущино. Препринт, 1989. – 36 с.
- Ковда В.А., Якушевская И.В. Биомасса и гумусовая оболочка суши. – Биосфера и ее ресурсы. М.: Наука, 1971. С. 132-141.
- Конституция Российской Федерации (принята на всенародном голосовании 12 декабря 1993 г.) (с поправками) <http://www.constitution.ru/>
- Куст Г.С. О постгидроморфной эволюции почвенного покрова водно-аккумулятивных равнин засушливых территорий // Почвоведение. 1994. № 2. С. 16–29.
- Куст Г.С., Кутузова Н.Д., Алябина И.О. Подходы к разработке структуры обобщенной базы данных по почвенным ресурсам и экспертной системы по их целевой оценке // Роль почв в биосфере. Вып. 3. Труды Института почвоведения Московского государственного университета – Российская академия наук. Тула: Гриф и К, 2003. С. 24–39.
- Кутузова Н.Д., Куст Г.С. Опыт проведения судебной почвенно-экологической экспертизы земельных участков, нарушенных в результате временного размещения инженерных объектов военного назначения // Роль почв в биосфере. Вып. 5. Труды Института почвоведения Московского государственного университета – Российская академия наук. М.: Советский спорт, 2005. С. 92–113.
- Обзор судебной практики территориальных органов Росреестра за 2009 год по делам об административных правонарушениях. 18.02.2010. Интернет-сайт Росреестра РФ. [http://www.rosreestr.ru/document/judiciary\\_practice/1013145/](http://www.rosreestr.ru/document/judiciary_practice/1013145/)
- Омельянюк Г.Г. Судебно-почвоведческая экспертиза. М.: Юнити-Дана, 2004.
- Официальный отзыв Правительства РФ на проект федерального закона № 83224-3 "Об охране почв", внесенный депутатами Государственной Думы В.А.Грачевым, А.Н.Грешневиковым, В.А.Дубовиком, В.В.Жириновским, А.Н.Косариковым, Г.В.Куликом, А.Н.Ищенко, В.Н.Плотниковым, Н.А.Сухим, А.И.Фокиным, А.Н.Хайруллиным, депутатами Государственной Думы третьего созыва И.Ю.Артемьевым, С.М.Ахметхановым, Р.С.Бакиевым, А.Э.Мяки, В.В.Оленьевым, А.Н.Томовым. 05.04.06. [http://www.i-stroy.ru/govdoc/komitet/pro\\_prirodnym\\_resursam\\_prirodopolzovaniyu\\_i\\_yekologii/law/83224-3.html](http://www.i-stroy.ru/govdoc/komitet/pro_prirodnym_resursam_prirodopolzovaniyu_i_yekologii/law/83224-3.html)
- Перечень поручений Президенте РФ по итогам состоявшегося 27 мая заседания президиума Государственного совета, посвященного реформированию системы государственного управления в сфере охраны окружаю-

- щей среды. Интернет-сайт Президент России. 7 июня 2010 года.  
<http://www.kremlin.ru/news/7980>
- Послание Президента Российской Федерации Федеральному Собранию.  
Интернет-сайт Президент России. 30 ноября 2010 г.  
<http://news.kremlin.ru/news/9637>
- Правила государственной кадастровой оценки сельскохозяйственных угодий в субъекте Российской Федерации. - М., Госкомзем РФ, 2000. – 14 с.
- Принципы и методы экономической оценки земель и живой природы. Аналитический справочник. –М.:Институт экономики природопользования, 2002. –95 с.
- Программа фундаментальных исследований Отделения биологических наук РАН «Фундаментальные основы управления биологическими ресурсами». 2003. <http://www.sevin.ru>
- Реймерс Н.Ф. Природопользование. Словарь-справочник. –М.: Мысль, 1990. – 637 с.
- Савич В.И., Амергужин Х.А., Карманов И.И., Булгаков Д.С., Федорин Ю.В., Карманова Л.А.. Оценка почв. – Астана, 2003. – 544 с.
- Самойлова Е.М., Толчельников Ю.С. Эволюция почв. М.: Издательство Московского университета, 1990.
- Стенографический отчет о заседании президиума Государственного совета по вопросам совершенствования государственного регулирования в сфере охраны окружающей среды 27 мая 2010 года, 15:00, Москва  
<http://special.kremlin.ru/transcripts/7872>
- Структурно-функциональная роль почв в биосфере. М.: ГЕОС, 1999. 278 с..
- Федеральная целевая программа "Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России на 2006 - 2010 годы и на период до 2012 года" (с изменениями от 2010 г). Интернет-сайт Минсельхоза РФ, Москва, 2010, <http://www.mcx.ru/documents/document/show/9226.172.htm>
- Федеральный Закон Об охране почв (проект). 19.04.2001. Интернет-сайт Государственной Думы РФ. <http://asozd.duma.gov.ru/work/dz.nsf/ByID/07EC8DD329EFE266432571BB0057979F?OpenDocument>
- Федеральный закон от 21 декабря 2004 года № 172-ФЗ «О переводе земель или земельных участков из одной категории в другую».
- Федеральный закон от 24 июля 2002 года № 101-ФЗ «Об обороте земель сельскохозяйственного назначения».
- Федеральный закон Российской Федерации от 10 января 2002 г. "Об охране окружающей среды" . <http://www.gov.ru>. - N 7-ФЗ.
- Шишов Л.Л., Дурманов Д.Н., Карманов И.И., Ефремов В.В. –М.: Агропромиздат, 1991. – 304 с.

Экономические проблемы стабилизации и развития АПК России. Материалы науч.-практ. Конф. "Аграрная реформа, антикризисные меры и перспективы развития АПК". Том 1. –М., 1995.

Adaptive environmental management: A Practitioner's Guide. 2009

Burden L., 2010, How to up the EMS ante, <<http://www.environmentalmanagementsystem.com.au/ems.html>>

Country Name Russian Federation. Ratification status of the Convention for this country. Country Information Database SAT 15 Jan 2011 <http://www.unccd.int/php/countryinfo.php?country=RUS>

Journal of Environmental Planning and Management, ©2010 Thomson Reuters, 2009 JCR

## Актуальные задачи оздоровления почв России

*«Острота проблемы патологии почв заключается не только в снижении плодородия почв и в уменьшении урожаев продовольствия и сырья. Опаснее и страшнее другое: деградация и патология почв влечет за собой патологические явления в здоровье, развитии и физиологии человека и даже в его умственной деятельности и психике»*

В.А. Ковда (1989)

### **Введение**

Одна из главных причин низкой продуктивности российских почв, опасности производимой на них биопродукции или даже непригодности для проживания населения – это их деградация и патология (Ковда, 1989). *Деградация почвы* – это кардинальное и, зачастую, необратимое ухудшение ее физических, химических и биологических характеристик и как следствие – резкое падение ее продуктивности, экологической и экономической привлекательности. Деградация и патология почв – это обостряющаяся социально-техногенная проблема второй половины XX столетия, реальная угроза национальной и экологической безопасности страны (Добровольский, 1997; Проблемы деградации, 2007).

Кто же виновен в деградации российских почв, утрате изначально присущих им потребительских качеств – *здоровья и плодородия*? Виноваты безответственные администраторы, промышленники и земельные собственники, руководители АПК и муниципалитетов, и конечно же, нерадивые землепользователи. В условиях капитализации последние заинтересованы лишь в обеспечении скорейшей и максимальной прибыли. Наивно полагать, что в обозримом будущем рыночные отношения повсеместно инициируют рациональное (эффективное и экологичное) использование земельных и почвенных ресурсов. Как свидетельствует мировой опыт, далеко не всегда требования экологизации агропроизводства, экологического благополучия социумов, охраны экосферы совпадают с сиюминутными интересами землепользователей и/или землевладельцев. В значительной степени в деградации и патологии почв России виновны и наши законодатели. Ведь Федеральный закон об охране почв, предусматривающий серьезные санкции за их порчу и нецелевое использование, в России до сих пор не принят!

Масштабы деградации российских почв не только впечатляют, но и вызывают серьезную озабоченность (Ковда, 1989; Добровольский, 1997; Соколов с соавт., 2010; Соколов, Марченко, 2011). Будучи нарушены, эродированы и истощены, загрязнены и инфицированы, агроугодья и почвы зачастую превращаются в ксеноценозы, свалки муниципальных и про-

мышленных отходов. Десятки миллионов гектаров ранее продуктивных пахотных угодий заброшены и переведены в залежи. Хотя подобная ситуация характерна и для других стран (Добровольский, 2009), однако это ни в коей мере не оправдывает игнорирование политическим руководством страны решения неотложной, актуальнейшей общегосударственной проблемы – охраны почв, радикального оздоровления деградированных, больных земель и почв сельскохозяйственных угодий и селитебных территорий.

Почему же даже в постсоветский период гласности проблема деградации и патологии наших почв, как правило, замалчивается администраторами и политиками? Этому несколько причин. Первое, это традиционное мнение о том, что у нас имеется ещё очень много земли, пригодной для агропроизводства и урбанизации. Второе, это отсутствие настоящего хозяина земли – собственника, а не временщика-арендатора. Третье, это плохая информированность нашей общественности: даже учёные и эксперты в большинстве своём до сих пор не осознали реальных масштабов и необратимых последствий деградации и патологии наших почв. Четвёртое – это занижение истинной цены российских земель отечественными экономистами и почвоведом. До сих пор в стране отсутствует законодательно оформленная, корректная методология оценки экономического ущерба, причинённого почвам в результате их деградации! Наконец, у подавляющего большинства политиков и экспертов отсутствует *целостное видение* неотвратимых, крайне негативных последствий деградации и патологии российских почв. Те же немногие, кто владеет объективной информацией, ведомственно разобщены. Не случайно Вернадский (1960) подчеркивал, что «...аналитический прием разделения явлений всегда приводит к неполному и неверному представлению, поскольку «природа» является *организованным целым*». К подобному «организованному целому» с полным правом должны быть отнесены наши почвы и земельные угодья.

Что же реально следует незамедлительно сделать для оздоровления и сохранения почв России? Полагаем, что авторитетные учёные и независимые эксперты, основываясь на данных экологического мониторинга (общегосударственная система которого должна быть реанимирована!), обязаны постоянно информировать общественность и администраторов всех уровней о состоянии здоровья наших почв, о масштабах и стоимости реально причиненного им ущерба, о безотлагательных производственно-научных мерах по их оздоровлению. Ниже представлено наше видение этой проблемы и подходы к её решению.

### ***Эколого-ресурсные аспекты концепции устойчивого развития агросферы и поддержания здоровья почвы***

В рекомендациях ООН по проблемам окружающей среды и экономическому развитию (Рио-92, Йоханнесбург-2002) декларирована необхо-

димостью реализация национальными экономиками *концепции устойчивого* (точнее - *сбалансированного!*) *развития* - Sustainable Development. На основе этой концепции страны мирового сообщества разрабатывают национальные программы по поддержанию *здоровья среды* (экосферы). Первый (рамочный) вариант стратегии устойчивого развития России разработан и утвержден Государственной Думой РФ (Стратегия..., 2002). Её приоритетами является создание для населения страны здоровой среды и благополучия, обеспечение экологической и продовольственной безопасности. Концепция предполагает *сбалансированное* и *рациональное* (т.е. эффективное и экологичное) *природопользование*. В числе его экологических императивов напомним два важнейших: во-первых, «*нельзя жить за счет будущих поколений*», во-вторых, «*необходимо гармонизировать взаимоотношения человека с природой*».

Атрибутом перманентного развития любого этноса является *здоровье среды* (экосферы), определяемое как «...*ее состояние (качество), необходимое для обеспечения здоровья человека и других живых существ*» (Захаров, 2000). Полагаем, что почве в программах здоровой среды должно принадлежать ведущее место, поскольку она – незаменимый компонент и экосферы, и всей земной биосферы. Почва Земли, ее педосфера выполняет уникальную общепланетарную роль, непрерывно обеспечивая: а) потенциальную биопродуктивность наземных экосистем, б) их экологическую устойчивость, в) их функционирование как глобального источника и резервуара биофильных элементов (Добровольский, Никитин, 1990).

Как справедливо подчёркивает В.И.Кирюшин (2006), в современной концепции *устойчивого развития* исторически просматривается творческий вклад выдающихся, планетарно мыслящих российских естествоиспытателей-биосферологов – В.В.Докучаева и его талантливейшего ученика В.И.Вернадского. Именно они в начале прошлого столетия декларировали принципы *рационального природопользования*, основанного на гармонизации отношений человека и природы. Проявляя обеспокоенность в отношении всё усиливающегося антропогенного давления на природу и истощения ее ресурсов, Докучаев одним из первых (ещё в начале XX века!) разрабатывает ландшафтно-экологические принципы рационального природопользования, реализует идею создания экологических заповедников (Кирюшин, 2006).

В.И. Вернадский – выдающийся естествоиспытатель, мыслитель и ученый-предсказатель, основоположник современной биосферологии, углубленно анализируя уникальные средообразующие функции общепланетарного *живого вещества*, или *биоты* (по современному определению), рассматривал земную биосферу как биокосное образование, а ее компонент почву – «*как биокосное природное тело*». Вернадский подчёркивал, что в основе эволюции живых существ лежит постоянное противоречие между их стремлением к безграничному размножению и распространению

(экспансии, «всюдности» жизни) и ограниченностью необходимых для этого ресурсов (и пространства). Пророчески предвидя, что дальнейшее развитие человеческого общества безальтернативно связано с гармонизацией системных взаимодействий «биосферы и человечества», он сформулировал **закон ноосферы**: *биосфера неизбежно превращается в ноосферу, где разум человека будет играть доминирующую роль в развитии системы «человек ↔ природа»*. В обозримом будущем этот закон ноосферы Вернадского неизбежно должен стать основой экологической стратегии человечества, фундаментом *экологического императива* (Кирюшин, 2006). В соответствии с ним человек должен управлять не природой, а прежде всего собой; относительно бесконфликтное включение человека в биосферу и рациональное природопользование должны базироваться исключительно на использовании прироста земных ресурсов или, как образно писал Н.В.Тимофеев-Ресовский (цит. по (Тюрюканов, Фёдоров, 1996)), *«человечество должно научиться жить «на проценты» с круговорота вещества и энергии в биосфере, не истощая, как это имеет место до сих пор, а наоборот, наращивая природные ресурсы и производительные силы биосферы»*. Сказанное в полной мере относится и к почве.

В.А.Ковда (1989) – выдающийся биосферолог и почвовед, наш учитель, за несколько лет до конференции РИО-92, базируясь на основополагающей теории, данных генетического почвоведения и биогеохимии, глубоко понимая почву как многофазную экосистему и незаменимый компонент биогеоценоза, характеризовал почвы Земли как *«параживые системы»*. Он отмечал, что *«...научное понимание форм, степени и стадии их развития, деградации и гибели требует столь же глубокого анализа и изучения для диагноза и рекомендаций к действию, как в медицинской практике диагноз медика-врача и специалиста ученого»*.

Разделяя и развивая эти подходы, российский лидер современного экологического почвоведения Г.В.Добровольский (1990, 1997, 1999, 2009, 2011) указывает на необходимость и *«...неизбежность смены парадигмы в почвоведении – перехода от традиционного изучения влияния факторов почвообразования на происхождение, распространение, строение и свойства почв (генетический подход) к исследованию «жизни» почвы как неотъемлемого компонента наземных экосистем»*. По его представлениям, почвы – уникальные полифункциональные природные системы, выполняющие незаменимую жизнеподдерживающую, экологическую роль и в биосфере, и в существовании человека. Обобщая важнейшие, глобальные средообразующие функции почвенного покрова, Г.В.Добровольский (1990, 1999, 2011) подчеркивает полифункциональную роль почвы как: а) основы, уникальной среды обитания разнообразных организмов, обеспечивающих биологическую продуктивность суши Земли, ее природных и антропогенных биоценозов; б) аккумулятора энергии и биофильных элементов; в) связующее звено биологического и геологического круговорота веществ

и энергии; г) фактора биологического разнообразия и эволюции организмов; д) фактора устойчивости функционирования биосферы.

Ведущие почвенные микробиологи (Звягинцев с соавт., 2005) подчёркивают роль почвы и как уникальной природной среды, благоприятствующей *горизонтальному переносу* (от донора к реципиенту) кластеров генов прокариотов – трансмиссивных плазмид. Этот феномен, по-видимому, является важным фактором адаптации, эволюции, а возможно, и видообразования прокариотной микробобиоты, поскольку по разнообразию микробного генофонда почва – самый богатый субстрат на Земле. Почве принадлежит и двуединая роль в поддержании биоразнообразия геобионтов, поскольку она выступает одновременно в качестве их *источника* и *стока* (Семёнов, Ван Бругген, 2011).

Для лучшего понимания нашей позиции по обсуждаемой проблеме напомним читателю современные определения таких понятий как «земля», «почва», «деградация почвы» (взамен явно устаревшим, см., например, (ГОСТ 17.4.1.02-83)). *Земля – это ограниченный участок биосферы, природный комплекс, основой которого является почва и ее функции* (термин «земля» как синоним понятия «почва» допустимо использовать только на бытовом уровне! (Снакин, 2008)). С учетом концепций биосферологов и почвоведов *почва – это атрибут биосферы, это верхний тонкий слой земной коры, естественно-историческое биокосное органо-минеральное образование, возникшее на поверхности Земли в результате изменения горных пород под влиянием климата, биоты, деятельности человека, характеризующееся экологическими и производительными функциями в природных биогеоценозах и агролесоценозах* (Ковда, 1989; Добровольский, Никитин, 1990; Снакин, 2008; Добровольский, 2009; Добровольский, 2011; Кирюшин, 2011).

Деградация почвы – это кардинальное, зачастую необратимое ухудшение ее физических, химических и биологических характеристик и как следствие – резкое падение ее продуктивности (Снакин, 2008). Согласно В.И.Кирюшину (2011) **«деградация почв – это устойчивое ухудшение их свойств и связанное с этим сокращение или утрата экологических и продукционных функций»**. Как правило, причиной деградации почвы является деятельность человека. В этой связи справедливо подчёркивается (Кирюшин, 2006), что экологизация земледелия может быть достижима лишь при условии гармонизации социальных и экологических функций почвы. Очевидно, что только радикальное изменение отношений землепользователя к почве позволит оптимизировать решение глобальной экологической проблемы – минимизировать загрязнение экосферы, уменьшить потребление невозобновимых энергоресурсов, сохранить генофонд и биоразнообразие наземных экосистем и педоценозов.



### ***Здоровье почвы как важнейший показатель ее качества***

Концепция «качества и здоровья почвы» в течение двух последних десятилетий интенсивно разрабатывается почвоведом и экологами. Впервые, однако, она сформулирована, официально одобрена и активно реализуется в США с конца XX века. Прагматичные американские коллеги (из Службы по охране природы МСХ США) кратко и ёмко определяют качество почвы как: «...это то, что делает почву такой хорошей, какой мы этого желаем» (Burns et al., 2006).

*Качество почвы* (педоценоза) и ее бонитет (как средство агролесохозяйственного производства) реализуются посредством двух важнейших, взаимосвязанных функций: *средообразующих* (здоровье) и *продукционных* (плодородие, биопродуктивность). Итак, почва с высоким бонитетом, хорошая и качественная – это почва плодородная и здоровая, со сбалансированным генофондом, локализованная на территории, удобной и доступной землепользователю.

*Экологическая емкость почвы* – это способность педоценоза (и сопряженной наземной экосистемы) без заметного ущерба для его дальнейшего благосостояния поддерживать функционирование некоторого количества видов геобионтов (микроорганизмы, мезофауна), наземных автотрофных (растения-продуценты) и гетеротрофных организмов (фитофаги, зоофаги); продуктивность и плотность популяций этих организмов ограничивается экоресурсами их местообитания. Экологическая емкость нарушенной, инфицированной, больной, загрязнённой почвы не может реализоваться в полном объеме (Соколов, Марченко, 2009;2011; Соколов с соавт., 2010).

*Экологическая устойчивость почвы* – это ее способность противостоять действию на педоценоз различных стрессоров при осуществлении присущих ей продукционных, экологических, ресурсных, самовоспроизводительных и иных самоподдерживающих функций. Она обеспечивается локальными (биотопными) экоресурсами, сбалансированностью разнообразия и обилия биоты педоценоза (Соколов с соавт., 2010).

Экологическая емкость и экологическая устойчивость почв агролесоценозов определяют не только оптимальные объемы и качество биопродукции сельскохозяйственных и лесных экосистем, но в первую очередь – условия экологического благополучия самого человека. Если экологическая емкость наземной агроэкосистемы определяет её *продукционную* компоненту, то экологическая устойчивость – степень *здоровья почвы*, ее *средообразующую* функцию.

В почвоведении плодородие определяют (Почвоведение, 1989; Снакин, 2008) как «...способность почв удовлетворять потребности растений в элементах питания, воде, обеспечивать их корневые системы достаточным количеством воздуха, тепла и благоприятной физико-химической средой для нормального роста и развития». Плодородие зональных типов почв

варьирует в широких пределах. Актуальное (эффективное) и потенциальное плодородие почв без учёта их здоровья характеризует их возможную, ожидаемую биопродуктивность (урожайность). Плодородная почва традиционно считается эталонным, базовым компонентом любой окультуренной агроэкосистемы. Во всем мире потенциальное и актуальное плодородие почвы уже в течение полутора столетий активно и всесторонне исследуют почвоведы и агрохимики. На наш взгляд, в более расширительном толковании термина «плодородие почвы» (в противовес классическому!) нет необходимости. Например, плодородие почвы В.И.Кирюшин (2011) определяет как «...совокупный эффект почвенных условий, обуславливающих урожайность растений, качество продукции, её себестоимость и поддержание экологических функций почвы в определенных агроландшафтах»). Во-первых, под такое определение не подпадают природные почвы, которых пока на планете большинство. Во-вторых, при наделении термина «плодородие» избыточными функциями, такие наивысшие категории качества почвы, как «плодородная», «хорошая» и тем более «здоровая» становятся тавтологичными. При подобном подходе «низкоплодородная почва» = «плохая почва». А ведь почва может быть низкоплодородной, но здоровой или, напротив, высокоплодородной, но больной – загрязнённой либо инфицированной!

По определению американских почвоведов (Doran et al., 1996) здоровье почвы – это ее способность неопределенно долго функционировать в качестве компонента наземной экосистемы, обеспечивая ее биопродуктивность и поддерживая качество воды и воздуха, а также здоровье растений, животных и человека. Сходное определение здоровью почвы дают и отечественные ученые. В частности, Кожевин (2001;2004) определяет здоровье почвы как «...способность почвенной биосистемы в заданных пространственных границах поддерживать продуктивность растений и животных, сохранять приемлемое качество воды и воздуха, а также обеспечивать здоровье людей, животных и растений». Полагают также, что: «здоровье почвы – это междисциплинарная теоретико-практическая концепция, синтезирующая знание и опыт земледелия, агрохимии, агрономии, почвоведения, почвенной микробиологии, экологии микроорганизмов и общей экологии» (Семёнов с соавт., 2011).

Почвы *естественных экосистем* (исключая аномальные и техногенно загрязнённые), существенно различаясь по плодородию, относятся к здоровым. Им присущи оптимум биотического разнообразия, *супрессивность* и *чистота*; при этом загрязнённость почвы опасными для нецеловой биоты веществами или заселенность вредными агентами либо вовсе отсутствует, либо не превышает регламентированных значений. Исключения представляют лишь почвы *аномальных биогеохимических провинций* (Снакин, 2008; Добровольский, 2009; Соколов с соавт., 2010; Соколов, Марченко, 2011). Как отмечалось (Соколов с соавт., 2010), такие почвы ха-

рактируются избыточным или недостаточным содержанием (в сравнении с региональным фоновым) доступных биофильных макро- и/или микро-элементов, повышенной радиоактивностью (в сравнении с *естественным радиационным фоном*), а также избытком некоторых опасных для здоровья человека и/или биоты природных соединений. Такие “аномальные” почвы, опосредовано (через пищу, воду, приземную атмосферу) ухудшают здоровье людей, вызывая у них эндемические заболевания, так называемые *био-геохимические эндемии*.

Здоровье почвы в основном формирует аборигенная биота педоценоза. Она непрерывно, но с разной активностью функционирует в широком диапазоне локальных экоресурсов биотопа. Здоровая почва характеризуется сбалансированным биоразнообразием, непрерывным самоочищением от загрязняющих веществ и супрессивностью в отношении патогенной или паразитной (для человека и домашних животных) и фитопатогенной биоты. В пределах педоценоза незаменимая, уникальная роль геобионтов связана с минерализацией органического вещества, с поддержанием статуса питательного режима автотрофов биогеоценоза. Именно микробобиота предоставляет растениям минеральные ресурсы, которые образуются в процессе микробной деструкции колоссальных объемов земного органического вещества. Напомним, что на нашей планете при фотосинтезе автотрофами ежегодно связывается  $5 \cdot 10^{10}$  т атмосферного углерода, ~ 80 % его поступает в почву в виде опада, где в последующем 1,5÷6% биотрансформируется в почвенный гумус (Экология микроорганизмов, 2004). Те биогенные ресурсы, которые *in situ* не потребляются растениями и в случае их выщелачивания могут быть утрачены экосистемой, временно иммобилизуются геобионтами в их биомассе. Следовательно, устойчивый статус ненарушенной наземной экосистемы обеспечивают непрерывные процессы *минерализации* ↔ *иммобилизации* органического вещества, обусловленные взаимодействием микробобиоты и автотрофных растений (Соколов, Марченко, 2011).

Разнообразные функции почв наземных экосистем обусловлены присущими им свойствами, процессами и режимами. Добровольский (2009) подразделяет эти функции на физические, химические, физико-химические, биологические и регуляторно–информационные. Объективно их следовало бы дополнить *оздоровительными* и *средообразующими* функциями, поскольку во многих агроценозах именно они лимитируют качество и продуктивность почв и агролесоландшафтов.

Генофонд педоценоза поддерживается посредством *микробостазиса* – сохранения жизнеспособных форм микробов в анабиотическом (некультивируемом, покоящемся, дормантном) состоянии, различающимся по продолжительности. В экстремальных условиях именно микробостазис противодействует элиминированию микробного генофонда из педоценоза. Доминирующий пул почвенных микроорганизмов вследствие их огромной

численности, необычайной скорости роста, «всюдности», разнообразия присущих им метаболических процессов сам для себя создает в педоценозе среду, благоприятствующую его жизнедеятельности и/или выживанию (Соколов, Марченко, 2009;2010;2011).

Очевидно, что сбалансированность структуры и численности популяций микроорганизмов (конкурентов, антагонистов, комменсалов и др.) – атрибут любого здорового педоценоза. Однако современные агротехнологии зачастую нарушают его циклическое, самоподдерживаемое развития в пределах как микрокосма, так и макрокосма. С позиций концепции устойчивого (сбалансированного) развития в интересах оздоровления почв агроценозов необходим постоянный контроль за состоянием геобионтов с целью управления их функциями. Традиционно это делается с помощью различных агротехнических приемов, внесения удобрений, мелиорантов, БАВ, пестицидов и т.п. Для оптимизации подобных технологий нужна, по возможности, достаточно полная информация о почвенной биосистеме. Однако, как полагает Семёнов (2004) «...природные местообитания микроорганизмов характеризуются именно тем, что их нельзя полностью контролировать». С этим нельзя не согласиться.

Итак, здоровье почвы как компонента наземной экосистемы – это её свойство проявлять экологическую устойчивость. Последняя реализуется посредством таких имманентных составляющих, как: а) оптимально функционирующее *биоразнообразие* (генофонд) педоценоза – сбалансированное и адаптированное к условиям биотопа; б) *самоочищение* от загрязняющих веществ (осуществляемое посредством их биотрансформации и/или соокислительной деградации, либо сорбции почвенно-поглощающим комплексом); в) *супрессия* сапротрофными микробами-антагонистами чужеродной и *паразитной биоты* – санитарно-показательной и фитопатогенной (Соколов, Марченко, 2009; 2011). Здоровая почва агроценоза безопасна для человека, геобионтов, наземной биоты. Она характеризуется продуцированием нормативно чистой биопродукции, незагрязненностью сопряженных сред (водной и воздушной) и устойчивым урожаем (не расхищенным вредными агентами). В свою очередь, величина урожая агроценоза определяется экологической ёмкостью почвы. С позиций землепользователя здоровая почва – это в различной степени продуктивная, нормативно чистая почва, не содержащая техногенные радионуклиды, ксенобиотические и природные поллютанты, а также энтеро- и фитопатогенные агенты сверх допустимых санитарно-гигиенических, экологических и фитосанитарных нормативов.

### ***О критериях и методах оценки здоровья почвы***

Проблема *количественной* диагностики состояния здоровья почвы пока не решена (Janvier et al., 2007). Основная причина – это отсутствие оптимального набора научно обоснованных, международно согласован-

ных, высокоинформативных *функциональных* и *фактологических* оценочных критериев, имеющих экологическую, социальную и экономическую значимость. Подобные критерии крайне необходимы для объективной диагностики экологического, социального, а в конечном счёте для определения стоимостного статуса почв и земель. Почти сотня традиционных классификационных характеристик и критериев качества почвы, широко используемых в решении научно-прикладных задач (Фомин Г.С., Фомин А.Г., 2001), для оценки состояния почвенного здоровья неприемлемы (Janvier et al., 2007). При этом наиболее часто пытаются использовать такой дискретный фактологический показатель, как численность отдельных групп микробиоты, эпизодически определяемая *in vitro* (Семёнов с соавт., 2011). Применительно к оценке статуса техногенно нарушенных и больных почв для оценки степени их патологии (утраты здоровья) более пригодны *количественные структурно-функциональные показатели* экологического состояния почв и их *фактологические* научно обоснованные регламенты биобезопасности. В числе последних – узаконенные и, как правило, согласованные на международном уровне *нормативы вредных веществ* и/или *биоагентов* (Марченко, 2008).

Для объективной оценки здоровья почвы и его поддержания в производственных условиях количество *диагностических критериев* должно быть ограниченным. Если их будет слишком много, а анализ окажется высоко затратным, то такие критерии не смогут найти практического применения. Подобные критерии должны учитывать важнейшие функции, составляющие здоровье почвы. В их числе – *гетеротрофная активность*, *самоочищающая способность* и *поддержание оптимума биоразнообразия*. Первая обеспечивает *мобилизацию биофильных элементов* в процессе биодеградации и минерализации отмершей биоты, вторая благодаря деструкторам и трансформантам (при наличии *косубстратов*) ответственна за разложение и превращение ксенобиотических и природных поллютантов, а также за их иммобилизацию. Наконец, последняя обеспечивает сохранение генофонда почвенной биоты, воспроизводство её структуры, супрессию паразитных биоагентов, поддержание биоты педоценоза в *активном* и *дормантном* состояниях. Степень реализации этих функций во многом определяется физико-химическими характеристиками и экоресурсами почвенного биотопа.

Семёнов с соавторами (2009; 2011) впервые предложили оригинальную методику определения важного диагностического критерия здоровья почвы – *функционального параметра*, количественно характеризующего *гетеротрофную* функцию почвенного здоровья. В основе предлагаемого метода – инструментальное определение (в динамике) интенсивности *субстратиндуцированного дыхания* нативной почвы в сравнении с эталонной.

В качестве *критерия самоочищающей способности почвы* (от органических поллютантов) мы предлагаем использовать показатель скорости

убыли стандартного углеводорода *цетана* (гексадекан,  $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ ) – основного компонента дизельного топлива. *Микробное разнообразие здоровой почвы* в известной мере может быть охарактеризовано таким информативным показателем, как ОМЧ, или КМАФАнМ (*общее микробное число*, или *количество мезофильных аэробных и факультативно анаэробных микроорганизмов*), определяемым в динамике. Обязательные критерии должны также характеризовать вредное действие на почву биоагентов и поллютантов. Это так называемые *гигиенические и фитосанитарные индикаторы*, лимитирующие качество почвы по содержанию в ней *вредных факторов*. Негативный вклад в здоровье почвы определяется превышением их фактического содержания относительно действующих *санитарно-гигиенических, экологических и фитосанитарных нормативов* (ПДК, ПДС, ЭПВ и др.). Кратность превышения ПДК загрязняющих веществ в почве следует оценивать, в первую очередь, по наличию их *подвижных форм* (Агроэкология, 2000; Соколов с соавт., 2003). При этом *превышение норматива* будет свидетельствовать об ухудшении состояния здоровья почвы вследствие *загрязнённости, «инфицированности»* (патогенами, фитопатогенами), *фитотоксичности*, приобретения почвой других негативных признаков. С учётом назначения почв конкретных регионов количество подобных *индикаторов здоровья* и их качественный набор должны корректироваться.

Из-за отсутствия законченных решений по количественной критериальной оценке здоровья почвы мы предлагаем использовать систему *безразмерных оценочных показателей*. Подобный подход известен в агроэкологии (Агроэкология, 2000). При этом состояние здоровья почвы диагностируется по 9-балльной оценочной шкале (баллами от +5 до -3). Общая оценка состояния здоровья должна соответствовать их алгебраической сумме по каждому из шести оценочных критериев (табл. 1). В рассматриваемом примере (при использовании минимального количества лимитирующих критериев вредности) *абсолютно здоровая почва* оценена *пятнадцатью положительными*, в высшей степени *больная почва* – *четырьмя отрицательными* баллами. Полагаем, что более усовершенствованные и международно согласованные *методики выполнения измерений* состояния почвенного здоровья будут активно востребованы и почвоведями-экологами, и специалистами по бонитировке почв и земель.

Современный арсенал инструментальных и биологических методов экологического мониторинга позволяет достаточно объективно оценить микробное разнообразие почвы и в значительной мере – ее потенциальную самоочищающую способность. Однако, количественно установить степень *супрессивности почвы*, её подавляющую способность в отношении паразитной микробиоты значительно сложнее. Универсальный метод анализа, либо объективные индикаторы подобного феномена пока не предложены (Janvier et al., 2007; Соколов, Марченко, 2009; Соколов с соавт., 2009;

Соколов с соавт., 2010; Семёнов с соавт., 2011). Поэтому супрессивную активность почв агроценозов (в отношении конкретных фитопатогенов агроценоза!) пока оценивают лишь полуколичественно в трудоемких полевых экспериментах, создавая искусственные инфекционные фоны и варьируя нагрузками инокулюма фитопатогена (Торопова, 2005; Чулкина с соавт., 2007; 2009; Соколов с соавт., 2009; Торопова с соавт., 2011).

Таблица 1. Диагностические показатели оценки состояния здоровья почвы

Критерий	Диапазон оценочного показателя, баллы	Эталон сравнения	МВИ
1. Гетеротрофная активность (СИД)	5...1*	Здоровая почва	Семенов, Ван Бругген, 2011
2. Самоочищающая способность (убыль цетана, $1/k_{сут.}$ )	3...1*	Тот же	Сметник с соавт., 2005
3. Микробное разнообразие (СИД, КОЕ/г)	3...1*	Тот же	ГОСТ 17.4.4.02-84
4. Патогены, фитопатогены (КОЕ/г, пропаул/г)	- (2...0)**	ПДС, ЭПВ	МУ 2.1.7.730-99
5. Вредная фауна, фитофаги	- (2...0)**	Тот же	МУ 2.1.7.730-99
6. Фитотоксиканты, поллютанты (ПАУ, ТМ, ХОП, ТРН и др.)	- (3...0)**	ПДК, ОДК	МУ 2.1.7.730-99

\*Балл соответствия критерия эталону сравнения: 5 – полное соответствие (100%), 4 – хорошее (71-100%), 3 – удовлетворительное (51-70%), 2 – плохое (31-50%); 1 – очень плохое (< 30%).

\*\*Балл превышения кратности норматива: 0 – отсутствие превышения, -1 – превышение до 2-х ПДК (ЭПВ, ПДС), -2 – то же, от 2-х до 3-х, -3 – то же >3-х.

Аббревиатуры: МВИ – методика выполнения измерений; СИД - субстратиндуцированное дыхание; КОЕ – колониеобразующие единицы; ПДС – предельно-допустимое содержание; ЭПВ – экономический порог вредоносности; ПАУ - полициклические ароматические углеводороды; ТМ – тяжёлые металлы, ХОП - хлорорганические пестициды, ТРН – техногенные радионуклиды; ПДК – предельно допустимая концентрация, ОДК – ориентировочно допустимая концентрация.

Более подробное и критическое обсуждение различных подходов к обоснованию методов оценки состояния здоровья почвы заинтересованный читатель сможет найти в обстоятельной публикации наших коллег (Семёнов с соавт., 2011).

### ***Феномен деградации почв, масштабы их загрязнения и инфицирования***

В последние годы проблемы, связанные с деградацией, патологией и потерями российских почв, неоднократно обсуждались научной общественностью (Ковда, 1989; Добровольский, 1997;1999; Филипчук с соавт., 1997; Государственный доклад, 1998-2007; Соколов с соавт., 1999; Коже-

вин, 2001; Ананьева, 2003; Государственный доклад, 2003; Проблемы, 2003; Структурно-функциональная роль, 2003; Торопова, 2005; Керженцев, 2006; Проблемы деградации, 2007; Чулкина с соавт., 2007; Доктрина, 2008; Марченко, 2008; Марченко с соавт., 2008; Нейтрализация, 2008; Концепция, 2009; Соколов, Марченко, 2009; Соколов с соавт., 2009;2010). Главные причины потерь почв и земель – их отчуждение и деградация (Ковда, 1989; Керженцев, Кузьменчук, 2009). Деградация почв агросферы происходит вследствие их эрозии и дефляции, дегумификации, слитизации и девегетации, локального переувлажнения и затопления, засоления, опустынивания, нарушения целостности (из-за добычи сырья, захламления отходами производства и потребления), загрязнения поллютантами – канцерогенными соединениями, техногенными радионуклидами (ТРН), тяжелыми металлами (ТМ) и токсичными элементами, остатками пестицидов и иными, в разной степени опасными для здоровья человека и биоты веществами. Причинами деградации почв являются также монокультуризация (почвоутомление), обеднение биофильными макро- и микроэлементами, заселение токсигенными и фитопатогенными микроорганизмами, злостными фитофагами и сорняками (Соколов с соавт., 2010).

Согласно Global Assessment of Soil Degradation (1991) (цит. по (Добровольский, 2009)), деградация почв вследствие техногенеза уже давно приобрела глобальный характер. Из 3,3 млрд. га пахотно-пригодных и пахотных почв суши Земли большая часть (~2 млрд. га) в разной степени деградирована. При этом первое место занимают смыв и водная эрозия (56%), второе – дефляция и ветровая эрозия (28%), третье – химическая деградация (12%), включая обеднение биофилами, засоление, загрязнение, закисление, на последнем месте – физическая деградация (4%) – слитизация, переуплотнение, заболачивание и т.п. По непонятным причинам авторы не выделяют долю *биологически деградированных почв* агроценозов, подвергнутых *инфицированию патогенными микромицетами и почвоутомлению*, хотя масштабы подобных *кондуктивных почв* во всем мире катастрофически возрастают. Так, в РФ площади почв, инфицированных возбудителями корневых гнилей зерновых злаков, исчисляются десятками миллионов гектаров (Соколов с соавт., 2009). Очевидно, что постоянно растущие процессы эрозии, дефляции, загрязнения, прочих видов деградации почв не только нарушают нормальное функционирование педосферы, препятствуя устойчивому развитию АПК, но и при отсутствии эффективных контрмер приближают время наступления глобального биосферно-экологического кризиса.

Официальные данные о деградации почв России (с 1995 г.) публикуются в Государственных докладах: «О состоянии и об охране окружающей среды РФ» и в аналогичных докладах региональных правительств (см., например, (Государственный доклад..., 2003)). Анализ этих документов свидетельствует о наибольшей опасности для почв (земельных угодий)



приоритетных поллютантов (Концепция..., 2009; Соколов с соавт., 2010). К ним относят различающиеся по своей природе и происхождению особо вредные загрязняющие вещества – *суперэкоотоксиканты* (ПХБ, гептил, хлордиоксины и др.), стойкие нефтепродукты – полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), техногенные радионуклиды (ТРН), стойкие пестициды, тяжелые металлы (ТМ), токсичные элементы (ТЭ); разнообразные отходы жизнедеятельности (муниципальные, промышленные, деревообработки, животноводства и др.), а также приоритетные почвенные биоагенты – возбудители корневых гнилей зерновых злаковых культур. Серьезными промышленными источниками загрязнения сельскохозяйственных угодий ТРН, ТМ, ПАУ, аэрозолями токсичных оксидов являются металлургическая, химическая и нефтехимическая промышленность, энергетика на ископаемом топливе, ядерная энергетика. С ведением сельского и лесного хозяйства сопряжено загрязнение почв пестицидами, ТМ, отходами животноводства (Керженцев, Кузьменчук, 2009).

Нарушенные земли формируются в различных отраслях экономики (Добровольский, 1997; Проблемы деградации..., 2007). Наибольшая их доля приходится на предприятия *нефтедобывающей промышленности*, цветной металлургии и газовой промышленности. Так, вклад тепловых электростанций в общепромышленный валовый выброс загрязняющих веществ составляет 24,3%, транспорта 13,1%, цветной металлургии – 10,5%, стройматериалов – 8,1%. По этой причине техногенное загрязнение почв ТМ отмечено практически во всех промышленно развитых районах России. Более 250 тыс. га сельскохозяйственных угодий имеют уровень загрязнения в 10-100 раз выше фонового. Суммарно техногенными выбросами задето ~18 млн. га, из них ТМ – 3,6 млн. га земельных угодий.

Тяжелые металлы. Одно из основных загрязнений почв в развитых странах происходит за счет ТМ и токсичных металлоидов. В настоящее время от антропогенных источников загрязнения в почву поступает от 70% до 90% всех ТМ, остальная доля – от природных источников. Группа ТМ и металлоидов включает 58 элементов с атомной массой >50, начиная с ванадия (Водяницкий, 2008).

Загрязнение почв ТМ отмечается практически во всех промышленно развитых регионах РФ. Наиболее высокая степень загрязнения характерна для территорий, прилегающих к крупным городам с металлургическим, химическим и машиностроительным производствами. Зоны влияния ряда промышленных городов – импактных источников загрязнения – простираются на десятки километров, а крупных промышленных агломераций – на сотни километров. В России наиболее проблемными элементами по масштабам и объемам выбросов среди поллютантов 1 класса опасности являются *свинец, цинк, мышьяк и кадмий*, 2 класса – *медь, никель и кобальт*. Зоны, в которых содержание ТМ в почвах агроугодий в десятки и сотни раз превышают ПДК, это Кемеровская, Белгородская и Челябинская об-

ласти, повышенное содержание ТМ – в Московской, Смоленской, Тульской и Брянской областях (Проблемы деградации..., 2007; Керженцев, Кузьменчук, 2009).

В рекомендациях ЮНЕП к наиболее опасным токсичным элементам отнесены *кадмий* и *мышьяк*, в других международных документах - *свинец*, *кадмий* и *ртуть*. Согласно ГОСТ (с комментарием Водяницкого (2008)) ТМ и металлоиды по степени опасности группируются в 3 класса – *высоко-*, *умеренно-* и *малоопасные* (табл. 2). Для РФ обобщенный рейтинг опасности ТМ ранжирован в последовательности: Cd > Pb > Zn > Hg > Ni > Co > Se, для других токсичных элементов: As > Al > F (54). По другим данным (Таланов, 2003) эта последовательность может быть несколько иной.

Таблица 2. Степень опасности токсичных ТМ и металлоидов (ГОСТ 17.4.1.02-83; Водяницкий, 2008)

Опасность	Элемент	Коэффициент токсичности, $K_T$
Высокая	As, Cd, Hg, Se, Pb, Zn	1,5
Умеренная	Co, Ni, Mo, Cu, Cr*, Sb	1,0
Малая	Ba, V, W, Mn, Sr	0,5
Неизвестная	Ge, Sn, Ce, La, Bi, Y, Rb, Cs, Sr* и др.	?

\*Исходя из последних данных о токсичности и канцерогенности Cr, этот элемент следует переместить в группу высоко опасных (с  $K_T=1,5$ ); более детально должно быть исследовано и токсическое действие стабильного изотопа стронция ( $^{89}\text{Sr}$ ).

Токсичность и биологическая доступность ТМ, содержащихся в почвах, зависят от реакционной способности и *химической формы* элемента. Последняя включает: а) степень окисления элемента в составе соединения, б) физический статус (фазовый состав, строение и размер твердофазных частиц, вид сорбционного комплекса), в) эмпирическая формула соединения, г) молекулярная структура (Водяницкий, 2008). Для оценки опасности ТМ и металлоидов в отношении почв предложено также использовать их *геохимические модули*. Они характеризуют степень сродства и молярное отношение ТМ к определенным фазам-носителям (например, Cu/Fe, Ni/Fe, As/Fe, P/Fe, Pb/Fe и др.). С увеличением значения модуля прочность закрепления токсичного элемента фазой-носителем снижается (Водяницкий, 2008).

Для оперативной оценки возможных негативных последствий присутствия ТМ в почве важно оценивать (в сравнении с ПДК или ОДК) не общее их содержание, а *подвижную форму*, т.е. часть, доступную растениям и микроорганизмам (Агроэкология, 2000; Соколов с соавт., 2003; Предельно допустимые, 2006; Ориентировочно-допустимые, 2006; Водяницкий, 2008). В то же время, информация о валовом содержании токсичных

элементов в почве может быть полезна применительно к оценке экологической и гигиенической ситуации в более отдалённой перспективе (Водяницкий, 2008).

В загрязнении почв и продуктов урожая ТМ основная роль принадлежит *импактному аэральному загрязнению*. Это установлено, например, по результатам исследования содержания Cd в различных продуктах в зоне выбросов цинкоплавильного завода «Электроцинк» (г. Владикавказ). Так, на удалении 10 км от завода содержание Cd в зерне пшеницы достигало 20 мг/кг, в мясе – 2,3 мг/кг; 60 км – 4,0 и 0,6 мг/кг соответственно (фоновый уровень в благополучных зонах – 0,01-0,02 мг/кг). Повышенный уровень Cd отмечен в почве и растениях в Подмосковье и Чувашии, где в качестве удобрения использовали осадки хозяйственно-бытовых сточных вод (Таланов, 2003).

В практическом плане землепользователь обязан знать, что различия между *токсичной* концентрацией биофильных ТМ (например, Zn) и их содержанием в почве как *микроэлементов*, необходимых для нормальной жизнедеятельности культурных растений, могут быть незначительны (Соколов с соавт., 2003).

Пестициды. Почвы, загрязненные остатками гербицидов, обладают повышенной *фитотоксичностью* по определению. На таких почвах урожайность *восприимчивых культур* в течение одного-двух лет существенно снижается. Передозировки гербицидов и других пестицидов имеют место при неисправностях опрыскивателей, их плохой отмывке, перекрытии соседних полос при внесении, сносе аэрозоля гербицида ветром или вследствие водного переноса токсиканта (с твердым и/или жидким стоком) за пределы обрабатываемого участка, наконец, при использовании обезличенных, просроченных или контрафактных препаратов. Мигрируя с поверхности почвы в зоне аэрации с перколирующей водой, некоторые пестициды, достигая грунтовых и артезианских вод, могут сохраняться в них длительное время (Проблемы деградации, 2007). Регионы с высокой степенью загрязнения почвы остатками пестицидов – это области ЦЧЗ, среднее Поволжье, Северный Кавказ, Приморский край (Керженцев, Кузьменчук, 2009).

Нефтепродукты. В результате потерь при добыче, транспортировке, переработке и использовании нефти (нефтепродуктов) почвы загрязняются на больших территориях. Алифатические и ароматические углеводороды проникают в глубокие слои почвы (вплоть до грунтовых вод), что приводит к резкому ухудшению её свойств, вплоть до полной деградации. Специфичность нефтяного загрязнения связана с многокомпонентным составом нефти (до нескольких сотен индивидуальных веществ!). Комплексный характер загрязнения почвы сырой нефтью и нефтепродуктами усиливается присутствием в них ТМ, в частности ртути, а также ТРН. Нефть, попавшая в почву, характеризуется четырьмя состояниями: а) *жидкое подвиж-*

ное или водно-эмульсионное (локализация в почвенных порах), б) *неподвижное*, подобно цементу (в порах и трещинах), в) сорбированное органическими коллоидами почвы, г) сплошной слой, покрывающий поверхность почвы. В результате нефтяного загрязнения кардинально меняется водно-воздушный режим почвы, растет её рН, снижается ОВП (Проблемы деградации, 2007).

Техногенные радионуклиды. Наиболее серьезными источниками ТРН для почв наземных экосистем продолжают оставаться крупнейшие радиационные аварии в атомной промышленности и ядерной энергетике. Согласно Алексахину (2009) в наземных экосистемах почва – главный депозитарий ТРН, поступающих в экосферу. ТРН по трофическим цепочкам миграции включаются в биологический круговорот элементов, депонируются в растениях и животных, затем с агропродукцией поступают в организм человека, обуславливая его *внутреннее облучение*. Только в Уральском регионе ТРН загрязнено ~2,5 млн га. В результате аварии на ЧАЭС загрязнена ( $>1$  Ки/км<sup>2</sup>) территория 18 областей РФ на общей площади 3,4 млн. га, из них лидируют четыре области – Брянская, Калужская, Тульская и Орловская (Проблемы деградации..., 2007; Соколов с соавт., 2010). Для земельных угодий этих областей наиболее проблемными продолжают оставаться последствия радиоактивного загрязнения цезием-137 и стронцием-90. Почвы лесного фонда России (вследствие аварий на ЧАЭС и Урале) загрязнены ТРН на территории около 2.5 млн. га, причем в течение последних 10 лет плотность радиоактивного загрязнения здесь не снижается (Проблемы деградации, 2007; Доктрина, 2008).

Масштабы и последствия радиоактивного загрязнения почв наземных экосистем (и агроценозов) для агросферы и человека подробно рассмотрены в работе Алексахина (2009). Её автор применительно к оценке опасности ТРН для *агроценозов* полагает, что «...если обеспечено производство отвечающей радиологическим стандартам сельскохозяйственной продукции, то защищена от облучения и окружающая среда (биота)». Хотя в здоровой (чистой) почве сельскохозяйственных угодий и рекреационных территорий содержание наиболее опасных для человека ТРН не допускается, вследствие *глобального загрязнения* фактическая удельная активность пахотного слоя почвы по <sup>90</sup>Sr составляет в среднем 2,4-4,3 Бк/кг (0,02-0,04 Ки/км<sup>2</sup>), по <sup>137</sup>Cs, соответственно, 5,6-13,9 (0,05-0,12 Ки/км<sup>2</sup>); суммарно по этим ТРН – 12-18 Бк/кг или 0,07-0,16 Ки/км<sup>2</sup>. Эти величины и принимаются за *допустимый санитарно-гигиенический лимит ТРН для почвы* (Соколов с соавт., 2003). При этом опасность радиоактивного загрязнения почвы определяется, в первую очередь, не биологическим действием ионизирующего излучения на почвенную биоту, наземные растения и животных, а *уровнем радиоактивного загрязнения сельскохозяйственной продукции, потребляемой человеком* (Алексахин, 2009). Фактическое локальное загрязнение ТРН поверхностного горизонта почвы, а также

торфа, песка, других природных материалов на территории областей с загрязнением, локально превышающим 1 Ки/км<sup>2</sup> (или ~ 120 Бк/кг), должно обязательно уточняться согласно (Атлас, 1998).

### ***Экологические, санитарно-гигиенические и фитосанитарные регламенты чистой почвы***

#### Теоретические основы почвенного нормирования.

Чтобы в полном объёме эффективно контролировать загрязнение почвы разнообразными агрохимикатами, «неуправляемыми» поллютантами и биоагентами, надзорные государственные органы должны располагать научно-обоснованными нормативами этих вредных веществ и биоагентов. До последней трети XX в. как в нашей стране, так и за рубежом по разным причинам почва не рассматривалась в качестве обязательного объекта *гигиенического* и *экологического* нормирования. Тем не менее, для гигиенистов и экологов было очевидным, что содержащиеся в почве загрязняющие вещества и/или биоагенты оказывают, во-первых, *прямое отрицательное влияние* на организм человека и домашних животных. Во-вторых, из загрязненной почвы поллютанты и биоагенты могут переходить в контактирующие с почвой среды – приземную атмосферу, воду (открытых и подземных водоисточников), а также в сельскохозяйственные растения. Наконец, опаснейшие патогены, фитопатогены, паразиты человека и теплокровных животных значительный период своего жизненного цикла обитают в почве (Соколов, Марченко, 2011). Именно этими обстоятельствами диктуется необходимость научно обоснованного ограничения содержания загрязняющих веществ и биоагентов в почве, актуальность разработки их государственных нормативов (Гончарук, Сидоренко, 1986). Конечная цель исследований по нормированию в почве поллютантов и вредных биоагентов – прервать цепь их поступления из экосферы в организм человека и нецелевой биоты.

ПДК поллютанта в почве – это экспериментально обоснованная *максимальная концентрация* химического вещества, в которой оно не должно оказывать прямого или опосредованного влияния на здоровье человека и самоочищающуюся способность почв. Эта концентрация должна обеспечить возможный переход нормируемого поллютанта (агента) в контактирующие среды (воду, приземную атмосферу) и в сельскохозяйственные растения в количествах, не превышающих его ПДК, установленных для этих сред (объектов). В отличие от экспериментально обоснованной ПДК, *ориентировочная допустимая концентрация* (ОДК) поллютанта устанавливается расчетным методом. В основе этих расчётов – безопасность продуктов питания для человека, поскольку в подавляющем большинстве случаев лимитирующим показателем вредности поллютанта является его *транслокация из почвы в растение*. При наличии аналитических данных

по разным формам содержания вредного вещества (валовая, подвижная или водорастворимая формы) расчёты его ОДК проводят по наиболее «жесткому» нормативу (Ориентировочно-допустимые концентрации..., 2006).

Принципы нормирования вредных веществ в почве существенно отличаются от их нормирования в воде водоемов, атмосферном воздухе и пищевых продуктах. Подобные отличия обусловлены тем, что непосредственно из почвы в организм человека поллютант попадает достаточно редко. Например, вредный агент поступает в дыхательные пути с почвенной пылью при уходе за посевами, либо при нарушении требований гигиены – орально (через грязные руки). Пути основного поступления поллютанта в организм человека как бы опосредованы. Это биологические и трофические цепи миграции: «почва→растение→человек», «почва→растение→животное→человек», «почва→вода→человек», «почва→атмосферный воздух→человек» (Гончарук, Сидоренко, 1986). Поэтому кроме *токсикологического* (санитарно-токсикологического) показателя вредности загрязненной почвы – по действию на дыхательные пути, кожу, слизистые оболочки подопытных животных – вредное действие поллютанта оценивается, как правило, и по *транслокационному* показателю вредности. Этот показатель означает такой уровень содержания поллютанта в почве, при котором он даже в *экстремальных ситуациях* не депонируется в контактирующих средах – воде, воздухе, продуктах урожая в концентрации выше ПДК или МДУ (максимально допустимый уровень).

При почвенном нормировании учитывается также *санитарно-экологический* показатель вредности – уровень содержания загрязняющего агента в почве, обуславливающий ее *санитарный, эпидемиологический и фитосанитарный* режимы (титры патогенных, санитарно-показательных и фитопатогенных микроорганизмов), а также микробиологические (гетеротрофные, ассимиляционные и иные) процессы, ответственные за самоочищение, плодородие, питательный режим почвы и т. д. Наконец, для пестицидов, в первую очередь для гербицидов, весьма важен *фитосанитарный показатель вредности* – уровень содержания фитотоксиканта в почве, при котором он даже в *экстремальных ситуациях* не будет повреждать сельскохозяйственные культуры и/или негативно влиять на качество их урожая. Из всех отмеченных показателей вредности по наименьшему значению выбирается *лимитирующий показатель вредности*, который и утверждается как ПДК для почвы.

#### Особенности гигиенического нормирования загрязняющих веществ.

Наиболее часто лимитирующим показателем вредности пестицидов является *фитоаккумуляционный (транслокационный)*, гораздо реже – миграционный водный или миграционный воздушный норматив поллютанта. На этом основании при отсутствии ПДК для почвы предложены несложные функциональные зависимости, позволяющие расчетным путем опре-

делять ОДК (мг/кг) пестицида для почвы:  $ОДК = 0,195 + 3,298x - 2,234x^2$  (где  $x$  – МДУ для продуктов питания, мг/кг). Если остатки поллютанта в продукте не допускаются, то вместо МДУ при расчете используется предел чувствительности официального метода определения загрязняющего вещества (Спыну, Сова, 1980).

Загрязнение почвы редко бывает «монополлютантным», обычно оно «полиполлютантное», что вызывает значительные трудности при нормировании. Первые попытки разработки комплексных или сочетанных оценочных показателей вредного действия на почву были выполнены в отношении ТМ и токсичных металлоидов. Для расчёта показателя оценки аддитивного (суммарного) воздействия поллютанта на почву ( $Z_{ст}$ ) Саев с соавт. (1990) и Водяницкий (2008), предложили формулу:

$$Z_{ст} = S (K_{ki} \cdot K_{ti}) - (n-1), \text{ где}$$

$K_{ti}$  – коэффициент токсичности  $i$ -го элемента (см. табл. 2),  $n$  – количество оцениваемых поллютантов,  $K_{ki}$  – коэффициент концентрации поллютанта,  $S$  – знак суммирования.

Предложены критические значения, характеризующие суммарное загрязнение ( $Z_{ст}$ ) по степени опасности для почвы. Так, при  $Z_{ст} < 16$  загрязнение считается *неопасным* и оно принимается за допустимую величину; при  $16 < Z_{ст} < 32$  – *умеренно опасным*; при  $32 < Z_{ст} < 128$  – *опасным*; при  $Z_{ст} > 128$  – *чрезвычайно опасным* (Выборов с соавт., 2004). Поскольку пока ещё не все токсичные элементы распределены по классам опасности, Водяницкий (2008) предлагает приписывать им  $K_{ti} = 1$ . При подсчете суммарного показателя загрязнения рекомендуется ограничиваться учетом элементов с кларком  $> 1$  мг/кг. Для Cd, Hg, Se, Sb и других высокотоксичных ТМ при определении  $K_{ki}$  взамен кларкового содержания в расчете используют значение ПДК элемента.

При бонитировке почвы, загрязненной несколькими поллютантами (в первую очередь, 1 класса опасности) их *действие* на загрязнение характеризуется дополнительным лимитирующим показателем – *предельной буферной емкостью почвы* (ПБЕП) в отношении поллютанта (Марченко с соавт., 2008; Соколов, Марченко, 2009). Экспериментальные данные по оценке сочетанного вредного действия (т. е. по совокупной ПДК) пока экспериментально разработаны лишь для ограниченного набора опасных веществ. Показатель ПБЕП рассчитывается как отношение суммы  $1/2$  ПДК каждого поллютанта к их совокупной, экспериментально установленной ПДК (Соколов с соавт., 2010). Таким образом, ПБЕП – *это экспериментально устанавливаемый норматив допустимого суммарного содержания поллютантов, выраженный в ПДК и свидетельствующий об их вредном сочетанном воздействии на почву* – аддитивном (при ПБЕП=1), антагонистическом ( $> 1$ ) или синергетическом ( $< 1$ ) (Марченко с соавт., 2008). Так, согласно (Гигиеническая оценка, 1999; Предельно допустимые concentra-

ции, 2006;) при совместном загрязнении почвы свинцом и ртутью ПБЕП = 1,11. Следовательно, сочетанное негативное воздействие этих поллютантов на почву является *антагонистическим* (Марченко с соавт., 2008).

#### О гигиенических нормативах содержания в почве биоагентов.

Согласно российским санитарно-гигиеническим нормативам, «чистая» почва различных территорий (сельхозугодий, муниципальных, селитебных, рекреационных, сооружений защищенного грунта) и используемая в быту характеризуется санитарно-биологическими (гигиеническими) показателями безопасности (Гигиеническая оценка, 1999; Санитарно-эпидемиологические требования, 2005; Предельно допустимые концентрации, 2006). В частности, в «чистой» почве лимитировано содержание условно патогенных микроорганизмов (допустимое содержание коли-форм и энтерококков ограничено 9 кл/г). В чистой почве не должны содержаться патогенные бактерии (сальмонеллы и др.) и энтеровирусы, жизнеспособные яйца и личинки гельминтов, цисты кишечных патогенных простейших, личинки и куколки синантропных мух (Гигиеническая оценка, 1999; Соколов с соавт., 2003; Санитарно-эпидемиологические требования, 2005;).

#### Особенности фитосанитарного нормирования загрязняющих веществ по их фитотоксическому действию.

Благодаря многолетним исследованиям Спиридонова и его школы (Сметник с соавт., 2005; Спиридонов, Веневцев, 2008; Спиридонов с соавт., 2009) методология и методы поэтапной оценки действия *почвенных гербицидов* на чувствительные сельскохозяйственные культуры и нецелевые растения детально исследованы и систематизированы. В РФ для применения разрешены гербициды, ПДК<sub>ф</sub> которых (т. е. ПДК по фитотоксическому показателю) составляет всего 1-2 мкг/кг почвы (~3-5 г/га!). Это высокоэффективные селективные гербициды нового поколения – *производные сульфонилмочевины* (Гранстар, Ларен, Ленок, Логран, Оуст, Пик, Титус и др.). Они рекомендованы для применения в дозах всего 5÷20 г/га д.в. (Спиридонов, Веневцев, 2008; Список пестицидов, 2009). В случае превышения их ПДК<sub>ф</sub> поражаются такие высокочувствительные культуры, как свёкла, картофель, кукуруза, подсолнечник, рапс, рис, соя, люцерна, клевер, лук, гречиха, фасоль, огурец, дыня и др. Относительно устойчивые культуры – *пшеница, ячмень и овес* (ПДК<sub>ф</sub> = 40 мкг/кг). Предложенный подход (Спиридонов, Веневцев, 2008; Спиридонов с соавт., 2009) позволяет всесторонне изучить подобные соединения в системе «почва↔растение», оценить последствие исходного гербицида в совокупности с его фитотоксичными метаболитами, депонированными в почве. Биотестирование проб почвы пахотного горизонта по истечении четырех и более месяцев после обработки обеспечивает корректный прогноз негативно-



го последствия препарата на чувствительные культуры и их обоснованное чередование в севообороте.

#### Фитосанитарное нормирование фитопатогенов.

При оптимуме экоресурсов здоровая почва успешно реализует, по меньшей мере, две уникальные биотические функции – биодеструкцию (катаболизм) загрязняющих веществ и подавление (элиминирование) патогенной микробиоты *супрессорами-антагонистами*. В отличие от больной – *инфицированной* (кондуктивной) и/или *загрязненной* почвы, свойственной большинству «монокультурных» агроценозов и агроэкосистемам с нарушенными севооборотами и/или с интенсивным, несбалансированным применением минеральных удобрений и пестицидов – почва естественных экосистем и здоровых агроценозов (размещаемых по фитосанитарным предшественникам), обладает супрессивным действием в отношении фитопатогенной биоты (Филипчук с соавт., 1997; Соколов с соавт., 2009). *Супрессивность почвы – это один из показателей почвенного здоровья, проявляющийся в подавлении и/или элиминировании из почвы отдельных видов фитопатогенов (а также патогенов человека и теплокровных животных), обусловленный совокупным действием биологических, физико-химических и агрохимических свойств педоценоза* (Соколов, Марченко, 2009). Для оценки комплексного феномена почвенной супрессивности на практике используются коэффициенты паразитической активности возбудителя (КПА) и супрессивной активности почвы – КСА (Торопова, 2005; Соколов с соавт., 2009). Их получают, оценивая, например, степень поражения яровой пшеницы, выращенной на почве, инфицированной пропалами обыкновенной (гельминтоспориозной) корневой гнили. На основании экспериментальных данных почвы пахотных угодий лесостепи Западной Сибири классифицированы по этой методике как *высокосупрессивные, среднесупрессивные и кондуктивные*, или *больные* (Торопова, 2005).

Больная почва агроценозов – это основное депо, фактор выживания и передачи во времени инокулюма грибных фитопатогенов. На десятках миллионов гектаров РФ экономический ущерб от возбудителей гнилей корня и основания стебля зерновых злаков – гельминтоспориозной, фузариозной, питиозной, ризоктониозной, церкоспореллезной этиологии – ежегодно оценивается в 10–20% потерь урожая пшеницы и ячменя (Соколов с соавт., 2009). Вредоносность фитопатогенов определяется их вирулентностью в отношении восприимчивой культуры, степенью инфицированности почвы и ее гидротермическим режимом. По этим причинам знание допустимых порогов (ПВ, ЭПВ) содержания заразного начала фитопатогена в почве имеет важное практическое значение.

Тем не менее, до последнего времени сдерживающим фактором оздоровления зональных почв большинства агроэкосистем продолжает оставаться недостаток сведений о статистически доказанных *порогах вредо-*

носности (ПВ) почвообитающих фитопатогенов (Торопова, 2005; Соколов с соавт., 2009) и тем более, о комплексных порогах вредности фитопатогенов, фитофагов и сорняков (Зубков с соавт., 2005). Подобные регламенты должны, в первую очередь, разрабатывать зональные и отраслевые НИУ Россельхозакадемии, а также государственные аграрные университеты, что делается ими пока крайне недостаточно. Исключением является школа сибирских фитопатологов (Торопова с соавт., 2011). Эти исследователи полагают, что, в первую очередь, в агроценозах с преобладанием монокультуры, где в почвенной среде обострена конкуренция за ресурсы, естественный отбор способствует тому, что *почвенные* (корне-клубневые) *вредные организмы* эволюционно приобрели признаки жизненного цикла *K*- или *Kr*-стратегов. На длительное выживание в почве они тратят максимальное количество веществ и энергии. При этом в наиболее уязвимые периоды жизненного цикла паразитные микромицеты, например, дублируют функцию выживания двойными и тройными структурами (фазами).

Таблица 3. Статистически значимый порог вредности (ПВ) и длительность выживания в почве фитопатогенных микромицетов (Торопова с соавт., 2011)

Фитопатоген	Пропагулы, выживающие в почве	Статистически значимый ПВ, экз./г (100 г)	Выживание пропагул в отсутствие основных растений-хозяев, лет	Период для снижения численности пропагул ниже ПВ, лет
Fusarium	Хламидоспоры, склероции	50 пропагул	5-15	4-6*
Helminthosporium	Конидии, хламидоспоры, склероции	10-60 конидий	3-5	3-4
Ophiobolus	Сумки с аскоспорами, хламидоспоры, склероции	-	3-4	2-3
Phytophthora	Ооспоры, хламидоспоры	15 пропагул	2-8	2-5
Pythium, Aphanomyces	Ооспоры	-	5-8	6-7
Rhizoctonia	Склероции	(0,2-4 склероции)	5-6	3-5*
Sclerotinia	Склероции	(2-16 склероциев)	5-8	6-7*
Synchytrium	Цисты	20 цист	До 20	8-10
Verticillium	Хламидоспоры, склероции	0,1-9 склероциев	5-15	5-6*

\*Использование севооборота даёт неустойчивые результаты.

Так, возбудитель фузариозного увядания хлопчатника выживает в почве в форме склероциев, хламидоспор и покоящегося мицелия (табл. 3). Находясь в почве в состоянии фунгистазиса, подобные покоящиеся структуры постепенно теряют свою жизнеспособность и вирулентность. При этом разные виды обладают неодинаковым «запасом прочности» в отношении длительности выживания в почве (табл.3). Варьирование показателя ПВ авторы объясняют неодинаковой восприимчивостью к болезни районированных сортов яровой пшеницы и различиями в супрессивности почв региона в отношении конкретного фитопатогена.

Итак, в условиях широкомасштабного загрязнения и распространения почвенных болезней здоровье почвы (в динамике) следует контролировать в системе государственного экологического мониторинга. Его аналитическая база должна включать как новейшие инструментальные методы, так и регионально адаптированные биоиндикаторы и лабораторные биотесты. В почвенно-географических и административных регионах РФ актуально выделять эталоны-заказники с различными типами здоровой (эталонной) почвы. Объектами непрерывного экологического мониторинга должна быть почва агроландшафтных, селитебных, рекреационных, заповедных земельных угодий, а также промышленных территорий, смежных с агроэкосистемами.

### ***Заключение***

Реализуя с экологических позиций «Цели стратегии АПК 2020», отечественная аграрная наука в ближайшие 10 лет должна обеспечить решение трёх важнейших задач: а) *сохранение и улучшение плодородия почв и агроландшафтов*; б) *производство экологически безопасной продукции*; в) *восстановление растениеводства на неиспользуемых землях* (Ушачёв И.Г., устное сообщение 17.02.2011г.). Если землепользователи будут оперировать с деградированными, больными почвами и земельными угодьями, то в полной мере решить эти задачи не удастся. Научными коллективами должна быть решена проблема *диагностики почвенного здоровья* и предложены системы научно обоснованных методов *оздоровления деградированных, больных почв*.

Обсуждаемые функциональные и фактологические характеристики здоровья почвы нуждаются в углубленном осмыслении, дальнейшей всесторонней методологической проработке, а предлагаемые методы диагностики здоровья почвы – в широкой апробации экспертами. Только количественно оцениваемая и воспроизводимая *система диагностики здоровья почвы*, которая использует арсенал современных, доступных методов, позволит в обозримом будущем успешно решить триединую, актуальнейшую народно-хозяйственную проблему: 1) повысить бонитет, базисную стоимость и экологическую значимость агролесохозяйственных, селитебных и рекреационных земельных угодий, 2) упорядочить рыночные отношения в

сфере их купли-продажи, 3) ускорить оздоровление больных почв и земель.

В утвержденной Правительством РФ Концепции ФЦП «*Национальная система химической и биологической безопасности РФ (2009-2013 годы)*» качество почвы ряда регионов России характеризуется как *критическое*. В развитие этой Концепции учёными должна быть оперативно предложена *долгосрочная целевая программа по реабилитации деградированных и больных почв*, финансируемая из федерального и региональных бюджетов. Только в этом случае реально обеспечить постепенное оздоровление и улучшение наших почв – этого важнейшего, незаменимого и чрезвычайно медленно возобновляемого ресурса страны, дарованного нам природой. Если это удастся осуществить, то подобными активными действиями Россия внесёт весомый инновационный вклад в реализацию общемировой экономической концепции устойчивого (сбалансированного) развития стран мирового сообщества.

### *Литература*

- Агроэкология / В.А. Черников, Р.М. Алексахин, А.В. Голубев и др. М.: Колос. 2000. – 536 с.
- Алексахин Р.М. Радиоактивное загрязнение почв как тип их деградации // Почвоведение. 2009. № 12. – С. 1487-1498.
- Ананьева Н.Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука. 2003. – 223 с.
- Атлас радиоактивного загрязнения Европейской части России, Белоруссии и Украины. (колл. авторов под ред. Ю.А. Израэля). М.: ФС России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. 1998. – 142 с.
- Вернадский В.И. Биосфера. Химическое строение биосферы Земли. Избр. соч. М. Изд-во АН СССР. 1960. Т. 5. – 254 с.
- Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН. 2008. – 164 с.
- Выборов С.Г., Павелко А.И., Щукин В.Н., Яновская Э.В. Оценка степени опасности загрязнения почв по комплексному показателю нарушенного геохимического поля // Современные проблемы загрязнения почв. Межд. научн. конф. М.: 2004. – С. 195-197.
- Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Методические указания. МУ 2.1.7.730-99. М.: Минздрав России. 1999. – 38 с.
- Гончарук Е.И., Сидоренко Г.И. Гигиеническое нормирование химических веществ в почве: Руководство. – М.: Медицина. 1986. – 320 с.
- ГОСТ 17.4.1.02-83. Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М.: Стандартиформ. 2008. – 4 с.
- ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Стандартиформ. 2008. – 7 с.

- Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Московской области в 2002 году» М.: НИА-Природа. 2003. – С. 73-75.
- Государственный доклад: «О состоянии и об охране окружающей среды РФ в 1997 году». То же, 1998-2007 гг.
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах. – М.: Наука, 1990.– 260 с.
- Добровольский Г.В. Тихий кризис планеты // Вестник РАН. 1997. Т.67. № 4. С. 313–319.
- Добровольский Г.В. Глобальный характер угрозы современной деградации почвенного покрова: структурно-функциональная роль почвы в биосфере. М.: ГЕОС. 1999. –С. 209-216.
- Добровольский Г.В. Педосфера – оболочка жизни планеты Земля // Биосфера. 2009. Т. 1. № 1. – С. 6-14.
- Добровольский Г.В. Место и роль почвы в биосфере и жизни людей / Биосфера – почвы - человечество: устойчивость и развитие (отв. ред. В.В. Снакин). М.: Фонд «Инфосфера». НИА-Природа. 2011. – С. 5-14.
- Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации (проект). М. 2008. – 27 с.
- Захаров В.М. Здоровье среды: концепция. М.: Центр экологической политики России. 2000. – 26 с.
- Звягинцев Д.Г., Бабьева И.Л., Зенова Г.М. Биология почв. М.: Изд-во МГУ. 2005. – 455 с.
- Зубков А.Ф., Шпанёв А.М., Жуков В.Н. Комплексная вредоносность сорняков, вредителей и болезней культур полевого севооборота Юго-Востока ЦЧП России. СПб. 2005. – 72 с.
- Использование почв, загрязненных гербицидами. Рекомендации. Колл. авт. Главгарибиопром. М.: 1991. – 70 с.
- Керженцев А.С. Функциональная экология. 2006. – 259 с.
- Керженцев А.С., Кузьменчук Ю.А. Другой земли у нас нет // Вестник РАН. 2009. Т. 79. № 2. – С. 8-15.
- Кирюшин В.И. В.В. Докучаев и современная парадигма природопользования // Почвоведение. 2006. №11. – С. 1285-1292.
- Кирюшин В.И. Понятия почвенного плодородия и качества земли в свете биосферной парадигмы природопользования. В кн.: «Биосфера – почвы – человечество: устойчивость и развитие (отв. ред. В.В. Снакин). М.: Фонд «Инфосфера». НИА-Природа. 2011. – С. 202-209.
- Ковда В.А. Патология почв и охрана биосферы планеты (препринт). Пушкино. ОНТИ НЦБИ АН СССР. 1989. – 35 с. / Сб. научных трудов «Пространственно-временная организация и функционирование почв». Пушкино. 1990. АН СССР. НЦБИ. – С. 8-43.
- Кожевин П.А. Биотический компонент качества почвы и проблема устойчивости // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. 2001. №4. – С.45-47.

- Концепция ФЦП (федеральной целевой программы) "Национальная система химической и биологической безопасности РФ (2009-2013 годы) (Утв. Правительством РФ 28.01.08 № 74-р). 12 с. [http://www.mcx.ru/documents/document/show\\_print/235.153.htm](http://www.mcx.ru/documents/document/show_print/235.153.htm)
- Марченко С.А. Индикация загрязнения почвы стойкими органическими загрязнителями по функциональной реакции микробного сообщества / Автореферат дис. соиск. учен. степени канд. биол. наук. М.: 2008. – 20 с.
- Марченко С.А., Кожевин П.А., Соколов М.С. Функциональная реакция микробного сообщества почвы как индикатор загрязнения стойкими органическими загрязнителями // Агро XXI, 2008, №7-9. – С. 24-27.
- МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Методические указания. Минздрав России. М.:1999. – 7 с.
- Нейтрализация загрязненных почв: монография. Редактор Ю.А. Мажайский. Рязань: Мещерский ф-л ГНУ ВНИИГиМ РАСХН. – 2008. 528 с.
- Ориентировочно-допустимые концентрации химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. ГН 2.1.7.2042-06//Токсикологический вестник.2006.№6. С. 42-44.
- Почвоведение / Под ред. И.С. Кауричева. М. Агропромиздат. 1989. – 719 с.
- Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы. ГН 2.1.7.2041-06//Токсикологический вестник.2006.№6.С. 38-42.
- Проблемы деградации, охраны и восстановления продуктивности сельскохозяйственных земель России (колл. авт.) / Под ред. Г.А.Романенко. М.: ВНИИА. 2007. – 76 с.
- Проблемы техногенного воздействия на агропромышленный комплекс, реабилитации загрязненных территорий / Сб. материалов научной сессии Россельхозакадемии (27-29 июня 2002 г.). Отв. ред. Иванов А.Л. РАСХН. 2003. – 533 с.
- Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России / В.Н. Кудеяров, Г.А. Заварзин и др. М.: Наука. 2007. – 315 с.
- Саэт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. Геохимия окружающей среды. М.: Недра. 1990. – 335 с.
- Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. СанПиН 2.1.7.1287-03. М.: Федеральный центр Госсанэпиднадзора Минздрава России. 2005. – 14 с.
- Семенов А.М., Ван Бругген А.Х.К., Бубнов И.А., Семенова Е.В. Способ определения параметра здоровья у образцов почвы, компостов и других твердых субстратов. Пат. № 2009130742/12 (042941) (Россия). Заявл. 12.08.2009.
- Семенов А.М., Ван Бругген А.Х.К. К методу определения параметра здоровья почвы // Агро XXI. 2011. № 1-3. – С. 8-10.
- Семенов А.М., В.М. Семенов, А.Х.К. Ван Бругген Диагностика здоровья и качества почвы // Агрохимия. 2011. № 12. С. 4-20

- Сметник А.А., Спиридонов Ю.Я., Шеин Е.В. Миграция пестицидов в почвах. М.: РАСХН-ВНИИФ. 2005. – 336 с.
- Снакин В.В. Экология и природопользование в России. Энциклопедический словарь. М.: Academia. 2008. – С. 64-65, 528, 773.
- Соколов М.С., Павлова Т.В., Чуприна В.П., Дядищев Н.Р., Филипчук О.Д., Цаценко Л.В. Отклик агроландшафта на воздействие загрязняющих веществ и их экологическое нормирование // *Агрохимия*. 1999. № 6. – С. 46–60.
- Соколов М.С., Жариков Г.А., Соколова Л.М. Санитарно-эпидемиологические требования к качеству агрохимикатов при их государственной регистрации // *Агро XXI*. 2003. – С. 138-142.
- Соколов М.С., Марченко А.И. Здоровая почва агроценоза – неотъемлемое условие реализации его экологических и продукционных функций//*Агро XXI*.2009. №4. С.1-6.
- Соколов М.С., Марченко А.И., Санин С.С.,Торопова Е.Ю., Чулкина В.А., Захаров А.Ф. Здоровье почвы агроценозов как атрибут ее качества и устойчивости к биотическим и абиотическим стрессорам // *Известия ТСХА*. 2009. Вып. 1. С. 13–22.
- Соколов М.С., Дородных Ю.Л., Марченко А.И. Здоровая почва как национальное достояние // *Почвоведение*. 2010. № 7. – С. 858-866.
- Соколов М.С., Марченко А.И. Здоровая почва как основа благополучия России (концептуально-аналитические аспекты) // *Агрохимия*. 2011. № 6. – С. 5-13.
- Спиридонов Ю.Я., Ларина Г.Е., Шестаков В.Г. Методическое руководство по изучению гербицидов, применяемых в растениеводстве. Изд. второе. М.: 2009. – 247 с.
- Спиридонов Ю.Я., Веневцев В.З. Загрязнение почв пестицидами / В кн. *Нейтрализация загрязненных почв*. Рязань. 2008. – С. 287-335.
- Список пестицидов и агрохимикатов, разрешённых к применению на территории РФ. 2009 год. Справочное издание. М.: 2009. – 608 с.
- Спыну Е.И., Сова Р.Е. Принципы и расчетные методы гигиенического нормирования пестицидов в почве / В кн. «Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах». М.: Гидрометеиздат. 1980. – С. 36-41.
- Стратегия устойчивого развития России // *Экос*. 2002. №№ 2-3. – С. 6-54.
- Структурно-функциональная роль почв и почвенной биоты в биосфере / Г.В. Добровольский и др. М.: Наука. 2003. – 364 с.
- Таланов Г.А. Система мероприятий по охране окружающей природной среды, кормов и продуктов животноводства от загрязнений выбросами промышленных предприятий // *Проблемы техногенного воздействия на агропромышленный комплекс, реабилитации загрязненных территорий*. М.:РАСХН. 2003. – С. 30-39.

- Торопова Е.Ю. Экологические основы защиты растений от болезней в Сибири. Новосибирск. 2005. – 272 с.
- Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я., Чулкина В.А. Эпифитотология. Новосибирск. 2011. – 711 с.
- Тюрюканов А.Н., Фёдоров В.М. Тимофеев-Ресовский: биосферные раздумья. М.: 1996. – 368 с.
- Филипчук О.Д., Соколов М.С., Павлова Т.В. Использование супрессивности почвы в защите растений от корневых инфекций // Агрохимия. 1997. № 8. – С. 81–92.
- Фомин Г.С., Фомин А.Г. Почва. Контроль качества и экологической безопасности по международным стандартам. Справочник. М.: “Протектор”, 2001. – 304 с.
- Чулкина В.А., Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я. Экологические основы интегрированной защиты растений. М.: Колос. 2007. – 568 с.
- Чулкина В.А., Торопова Е.Ю., Стецов Г.Я. Интегрированная защита растений: фитосанитарные системы и технологии. М.: Колос. 2009. – 670 с.
- Экология микроорганизмов / А.И. Нетрусов, Е.А. Бонч-Осмоловская, В.М. Горленко и др. Под ред. А.И. Нетрусова. М.: «Академия». 2004. – С. 71-104.
- Burns R.G., P. Nannipieri, A. Benedetti, D. W. Hopkins, “Defining Soil Quality,” in *Microbiological Methods for Assessing Soil Quality*, J. Bloem, D. W. Hopkins, and A. Benedetti (Eds.) (CAB Publishing, UK, USA, 2006). – P. 15-22.
- Doran J.W., Sarrantonio M., Liebig M.A. Soil health and sustainability // *Advances in Agronomy*. 1996. V.56. – P. 1-54.
- Janvier C., Villeneuve F., Alabouvette C., Edel-Hermann V., Mateille T., Steinberg C. Soil health through disease suppression: Which strategy from description to indicators? // *Soil biology and Biochemistry*. 2007. V.39. – P.1-23.



## **Оценка почвенно-экологических рисков в связи с проблемой деградации сельскохозяйственных земель**

Проблема оценки почвенно-экологических рисков непосредственно примыкает к кругу задач, решаемых в области оценки экологических рисков в целом. Под экологией в данном контексте понимается широчайшая область современного естествознания (мегаэкология по Реймерсу, 1994), включающая в себя и биоэкологию, и экологию человека (как биологического вида и как индивида в социуме) и прикладную экологию. В рамках последней и развиваются, преимущественно, разнообразные подходы и методы оценки рисков<sup>1</sup>.

Несмотря на то, что проблема оценки экологических рисков разрабатывается в мировой науке уже более 40 лет, лишь относительно недавно были приняты первые документы (OECD Environment..., 2003), устанавливающие общепринятые базовые термины и определения в данной области. Эта работа далека от завершения, она продолжается в различных отраслях мегаэкологии (Proske, 2008) и соприкасающихся с ней дисциплин, в частности в почвоведении (Risk Assessment..., 2007). Это обстоятельство может быть объяснено как широтой предметной области, в которой проводится оценка экологических рисков, так и неравномерностью внимания к её различным точкам приложения, а, следовательно, и неоднородностью проработанности терминологических и методологических аспектов в зависимости от предмета оценки. В начальный период активного изучения проблем экологических рисков преобладали исследования антропоцентристского направления, в котором экологические риски оценивались почти исключительно с позиции установления степени опасности влияния техногенных поллютантов различного рода на человека, прямо или опосредованно через объекты окружающей среды подвергающегося воздействию ксенобиотиков. Именно эти исследования имели результатом установление разнообразных нормативных пороговых величин (ПДК, УДК и т.п.), призванных служить ориентирами при характеристике степени опасности различных природных сред для обитания в них человека. Несмотря на некоторое смещение акцента в последующие десятилетия, данная предметная область будет оставаться актуальной до тех пор, пока продолжится создание всё новых и новых искусственных химических соединений, а также искусственно созданных биологических объектов – продуктов генной инженерии. То, что технология создания генно-модифицированных

---

<sup>1</sup> состояние исследований по проблемам оценки рисков в области естественнонаучных дисциплин в целом подробно проанализировано в статье А.Л.Рагозина (1999)

организмов (ГМО) придала новый импульс исследованиям по проблеме оценки экологических рисков, иллюстрирует следующий весьма показательный факт: поисковый запрос на официальном сайте GREENPEACE по словосочетанию «оценка экологических рисков» с исключением результатов, содержащих аббревиатуру ГМО, выдал нулевой результат поиска.

О том, что именно человек, как объект воздействия со стороны компонентов среды обитания, остаётся главной точкой фокуса в проблематике экологических рисков, говорят программы многих ведущих мировых научных центров. Так, например, программа национальной лаборатории Беркли (Калифорния, США) направлена на «...разработку эффективных и экономичных стратегий оценки экологического риска с упором на оценку воздействия химических поллютантов и радиации на человека, общество и экосистемы, с выявлением механизмов такого воздействия на клеточном, органном и организменном уровнях, а также разработка и проверка биомаркеров в этих целях» (<http://www.lbl.gov/LBL-Programs/Risk-Research.html>).

Примеров подобных подходов можно привести множество, однако, в связи с рядом новых тенденций, возникших на рубеже веков в области охраны природной среды (прежде всего, в связи с проблемой сохранения природного биоразнообразия), наметился рост числа исследований, в которых объектами оценки экологических рисков стали выступать не человек и человеческое сообщество, а иные виды организмов и биологических сообществ. Декларация частью научного экологического сообщества принципов «глубинной экологии» привела к смещению внимания на те аспекты оценки экологических рисков, которые касаются взаимосвязей между самыми разнообразными организмами и надорганизменными системами различных уровней со средой их обитания. Такое смещение акцентов нашло своё отражение в целом ряде терминов и понятий, используемых в сфере оценки экологических рисков. Так, например, в документах межправительственной организации OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) приведено довольно удачное, на наш взгляд, определение риска в применении к оценке экологической опасности химических веществ: *Риск - вероятность негативного отклика в организме, системе или (суб-) популяции, обусловленная влиянием агента при определённых условиях.* (OECD Environment..., 2003). Касающееся риска, связанного с химическим воздействием, это определение, тем не менее, очень логично описывает суть понятия «риск» в применении к широкому кругу явлений, имеющих отношение к экологическим проблемам вообще и к проблеме экологических рисков в частности. Из этого определения ясно, например, что понятие экологического риска имеет разномасштабный характер, поскольку может быть применено как к отдельному организму, как объекту оценки риска, так и к сообществам и популяциям. Кроме того, уровень (или величина) экологического риска по отношению даже к конкретным

видам природных опасностей (агентов) не может быть инвариантным, поскольку зависит от условий, при которых этот риск себя проявляет. Это положение прямо согласуется с известным постулатом экологии – законом Лундегарда-Полетаева об относительности действия лимитирующих экологических факторов (Реймерс, 1994).

Не только объекты риска могут быть разнообразными организмами или их сообществами, но и агенты (факторы) риска могут быть принципиально разнородными по происхождению. В ранее упомянутой статье Рагозина (1999) предложено различать три генетических класса рисков: природный, социальный и техногенный. «Эти среды являются как объектами, так и источниками негативных воздействий и эффектов (процессов), что даёт основание для выделения девяти основных групп опасностей и рисков, различающихся по происхождению». Из этих девяти групп пять объединены Рагозиным в надгруппу экологических рисков. Он же (1995) даёт следующее определение природного риска в самом общем виде: «Природный риск – это вероятностная мера соответствующей природной опасности (совокупностей опасностей), установленная для определённого объекта в виде возможных потерь за единицу времени». И далее: «Под природной опасностью при этом понимается процесс, свойство или состояние определённых частей *литосферы (выделено нами)*, гидросферы, атмосферы и космоса, представляющие угрозу для *общества (выделено нами)*. Таким образом, риск возникает только при наличии источника и объекта (мишени) опасности и без них не существует». В этих важнейших определениях кроется предпосылка для разработки проблематики почвенно-экологических рисков, поскольку из них с очевидностью вытекает следующее. Во-первых, мерилем опасности почвы, как природного компонента, для общества является возможность представлять некие угрозы, под которыми можно понимать разные сущности – от утраты отдельных параметров плодородия почв до полного их исчезновения, т.е. утраты почвенного/земельного ресурса, как базиса существования самого общества. В связи с этим, всеобъемлющий учёт почвенных свойств, состояний и процессов, могущих оказать прямо или опосредованно негативное влияние на общество, можно рассматривать как научно-методологическую и информационную основу для оценки почвенно-экологического риска. Во-вторых, в приведённых определениях почвенный покров, как часть биосферы, незаслуженно оказался вне сферы оценки источников природных опасностей для общества (присутствуя лишь в скрытой форме в виде «определённой части литосферы», хотя разницу между литосферой и педосферой естествоиспытателям в наши дни объяснять излишне). И, наконец, в-третьих, объектами воздействия почвенной среды, как источника природных опасностей различного рода, могут выступать и отдельные организмы, и их сообщества различных рангов (биоценозы, агроценозы и т.п.), и человеческое общество в целом. Вне зависимости от масштаба воздейст-

вия почвы на любые живые объекты биосферы, которые в совокупности могут рассматриваться как в связи, так и вне связи с интересами и потребностями человечества, почва как среда обитания живых организмов (и человека) диалектически объединяет в себе источник жизни и источник угроз для жизни. Именно в этом последнем смысле почва и может рассматриваться как объект изучения в контексте проблемы почвенно-экологических рисков.

Рассмотрим почву как среду, способную представлять собой источник угроз для живых организмов, с агроэкологических позиций. Здесь объектом угрозы рассматриваются сельскохозяйственные культуры, а одним из возможных источников риска – почва (наряду с прочими источниками риска, такими, как атмосфера, вредители и болезни, агротехнология и т.д.). Ранее нами было показано (Розов, Куст, 2007, 2010), что вся совокупность рисков сельскохозяйственного производства может быть подразделена на организационно-управленческие, агротехнологические и агроэкологические риски. Последние могут быть разделены на климатические, биологические и собственно почвенно-экологические.

Проанализировав ситуацию с оценкой рисков в сельском хозяйстве, приходится признать, что в данной области существует заметный разрыв в учёте биоклиматических и почвенно-экологических параметров риска (Глобальные изменения, 2009). Среди рисков растениеводства при страховании урожая сельскохозяйственных культур чаще всего называются такие опасные природные явления, как засухи (атмосферная/почвенная); суховеи; заморозки; вымерзание, выпревание; выпирание; ледяная корка; вымокание; переувлажнение почвы; бури (пыльная/песчаная); град (градобитие); осадки (продолжительные сильные дожди, очень сильные дожди и ливни); половодья; сильный ветер; землетрясения; лавины, сели; вредители и болезни растений. Налицо явная диспропорция между оценкой условий влаго- и теплообеспеченности сельскохозяйственных культур и условий их обеспеченности функциональными почвенными ресурсами, принимая во внимание, что последние следует трактовать в самом широком смысле с учётом всевозможных функций, которые выполняет почва по отношению к жизнеобеспечению высших растений. Это и функция депо влаги и элементов минерального питания, и функция обеспечения приземного слоя атмосферы дополнительным запасом углекислоты, потребляемой при фотосинтезе, и функция механической опоры для корней, и фитосанитарная функция и целый ряд им подобных, которые обычно подразумеваются, как сами собой разумеющиеся условия существования растений. При этом, однако, эти функции редко оцениваются во всей их полноте и взаимосвязи друг с другом, что весьма часто приводит к негативным экономическим результатам как непосредственных производителей продукции растениеводства, так и страховщиков.

Утрата почвами способности полностью или частично выполнять свои производственные и/или экологические функции в почвоведении традиционно именуется деградацией. Нельзя не признать, что последние два-три десятилетия вместили в себя огромное количество научных исследований, посвящённых различным аспектам деградации почв. По любому из направлений, изучающих конкретные деградационные процессы, будь то эрозия, засоление, заболачивание, истощение, уплотнение, обесструктурирование почв и т.д. опубликованы тысячи статей и десятки, если не сотни, монографий. И в отечественной, и в мировой научной литературе накоплен огромный информационный пул по проблеме деградации почв. Одним из результатов обобщения этой информации стала практика регулярной оценки степени и масштабов деградации почв в глобальном масштабе, ежегодно проводимой ФАО – широко известная система GLASOD (Oldeman et al. 1990). Ведущие экономики мира, ориентированные на обеспечение собственной продовольственной безопасности и на доминирование в мировом экспорте сельскохозяйственной продукции, регулярно и пристально отслеживают состояние своих почвенных ресурсов с целью минимизации деградационных процессов в почвах. На практическое выполнение этой задачи там нацелены как законодательные меры, так и важнейшие экономические инструменты, такие, например, как страхование агропроизводственных рисков, в явной форме учитывающее риски деградации почв. В сводном отчете ЕС по программе RAMSOIL (Risk Assessment Methodologies for SOIL threats. Heesmans, 2007) приведены в определенную систему сведения о применяемых в настоящее время в Европе методах оценки рисков почвенной деградации применительно к пяти важнейшим угрозам: эрозии, уплотнения, оползнеобразования, засоления и потери органического вещества. По каждой из перечисленных угроз обобщены данные, касающиеся разнообразных качественных и количественных подходов к оценке рисков их возникновения, обсуждается опыт применения переносимых функций в моделях, предложенных для описания перечисленных деградационных почвенных процессов, а также обозначены проблемы идентификации пространственного распределения указанных рисков. Внимательное прочтение данного отчёта приводит к твёрдому убеждению, что речь идёт прежде всего о методологии оценки *почвенных рисков (выделено нами)*, т.е. об оценке вероятности возникновения той или иной опасности для п о ч в как таковых, и лишь в очень слабой степени – для организмов, сообществ или популяций, обитающих в почве и на почве. По крайней мере, предлагаемые в указанном отчете методы и модели направлены в первую очередь именно на предсказание вероятности возникновения собственно деградационных процессов и явлений в почвах, и лишь немногие из них в опосредованном виде позволяют судить о негативных последствиях этих процессов – тех последствий, которые могут проявляться в биологических объектах или системах.

Таким образом, можно заключить, что даже в странах с развитой экономикой не в достаточной степени разработаны методы оценки такой категории экологических рисков, как почвенно-экологические. Даже сам термин «почвенно-экологический риск» отсутствует как в отечественной, так и в зарубежной научной литературе в явном виде, хотя определённые аспекты проблемы затрагиваются в некоторых публикациях (Christensen, et al., 2003, Tzilivakis, 2005). На наш взгляд, это не позволяет перейти от научно обоснованных методов количественной оценки деградации почв к полноценной количественной же оценке потерь ресурсного потенциала почв хотя бы в отношении их агроэкологических функций, не говоря уже о таких экологических свойствах и функциях почв, как средообразующие, санитарные, регулирующие биогеоценологические и биосферные и ряд других, не менее важных и не менее сложных, чем агроэкологические. По нашему мнению, определенный шаг в решении этого вопроса может быть сделан путем использования следующего методологического подхода: интегральной оценки совокупности рисков при решении агропроизводственных задач и вычленения в этой оценке почвенно-экологических рисков, имеющих самостоятельное значение.

Дадим определение понятия «*почвенно-экологический риск*» и рассмотрим его смысловое содержание.

**Определение:** Почвенно-экологический риск - это вероятностная мера соответствующей опасности (совокупностей опасностей), непосредственно связанной с почвенными свойствами или процессами, установленная для определённого объекта (организма, популяции, сообщества) в виде его возможных потерь за единицу времени.

Ключевым моментом в данном определении является категория «опасность», которая понимается как некое свойство или процесс, присущие почве, способное вызвать нарушение в биологическом объекте, в отношении которого оценивается риск. Оценивая почвенно-экологический риск в отношении какого бы то ни было организма или надорганизменной общности, мы задаёмся следующими вопросами:

- существует ли для данного биологического объекта опасность в виде конкретного почвенного свойства или процесса?

- какова вероятность проявления/наступления данного вида опасности (данного почвенного свойства или процесса) в заданный период времени?

- каков масштаб (степень, распространённость) проявления данного вида опасности (данного свойства или процесса)?

- каковы возможные последствия (виды ущерба) для биологического объекта при наступлении в почве опасных свойств или процессов установленной вероятности и масштаба?

- каковы параметры количественной оценки ущерба для биологического объекта?

- и, наконец, каков риск потерь биологического объекта в связи с проявлением действия данного почвенного свойства или процесса?

Нетрудно видеть, что последовательное получение ответов на данные вопросы представляет собой выполнение основных стадий процедуры оценки экологического риска согласно сложившейся практике ("Red Book", 1983). Проблема в том, что до сих пор в процедурах оценки воздействия на окружающую среду большинство почвенно-экологических оценок проводятся формально, без опоры на количественные методы оценки почвенно-экологических рисков. Необходимость разработки таких методов позволяет наметить следующие два направления активизации исследований в экологическом почвоведении:

- диагностика и типологизация почвенно-экологических рисков (как по видам и источникам угроз, так и по объектам воздействия) и прогноз функционирования почв и сопряженных с ними биологических объектов при разных сценариях изменения среды, в том числе под влиянием человеческой деятельности;
- установление новых (может быть более тонких, чем известные) явлений, механизмов, процессов и свойств почв, регулирующих рискообразующие потоки вещества и энергии в экосистемах (агроэкосистемах или любых других искусственных или преобразованных природных системах с почвенным компонентом).

Опыт первого практического применения методики оценки почвенно-экологических рисков был показан нами (Розов, Куст, 2010) на примере анализа существующей агротехнологии выращивания сои на чернозёмах Кубани с целью её оптимизации по критерию снижения почвенно-экологических рисков. Применение этого в целом универсального подхода для планирования и оптимизации хозяйственной деятельности, включая такие приемы, как оценка вероятности и степени рисков, управление факторами рисков, оценка эффективности выбранных стратегий, и другие, может дать полезный эффект при разработке экономических стратегий и форм землепользования.

### *Литература*

- Глобальные изменения климата и прогноз рисков в сельском хозяйстве России.// Под ред. акад. РАСХН А.Л.Иванова и В.И.Кирюшина – М. Россельхозакадемия, 2009, 518 с.
- Рагозин А.Л. Общие положения оценки и управления природным риском//Геоэкология, 1999, №5, с.417-429.
- Рагозин А.Л. Современное состояние и перспективы оценки и управления природными рисками в строительстве //Анализ и оценка природных рисков в строительстве / Под ред. А.Л.Рагозина. М.: ПНИИС, 1995. С. 9-25.
- Реймерс Н.Ф. Экология. М.:Молодая гвардия, 1994. 365 с.

- Розов С.Ю., Куст Г.С. Принципы оценки почвенно-экологических рисков в сельскохозяйственном производстве (на примере возделывания сои на черноземах типичных Краснодарского края)//Доклады по экологическому почвоведению (электронный журнал), 2007, выпуск 6, №2, с. 64-89.
- Розов С.Ю., Куст Г.С. Оптимизация агротехнологии сои на основе методики оценки почвенно-экологических рисков //Экологическое нормирование, сертификация и паспортизация почв как научная основа рационального землепользования: Междунар. научно-практ. конф. (с элементами научной школы для молодежи); 30 сентября – 01 октября 2010 г.; Материалы докладов/ Сост. : Кулачкова С.А., Макаров О.А., -М.: МАКС Пресс, 2010.-С. 227-228.
- Christensen, F.M., Andersen, O., Duijm, N.J., Harremoës, P., 2003. Risk terminology--a platform for common understanding and better communication. *Journal of Hazardous Materials* 103, 181-203.
- Heesmans, H., 2007. Bibliography on current risk assessments in EU. Project Report from Specific Support Action SSPEO-CT-2006-044240 (RAMSOIL), EU Sixth Framework Programme.
- OECD Environment, Health and Safety Publications, Series on Testing and Assessment, No.44, 2003.
- Oldeman L.R., Hakkeling R.T.A., Sombrock W.G. Global Assessment of Soil Degradation/ An Explanatory Note to the World Map of the Status of Human-induced Soil Degradation. 1990.
- Proske D. Catalogue of risks: natural, technical, social and health risks. 2008
- Risk Assessment in the federal government: managing the process. 1983. The US National Research Council (<http://www.lbl.gov/LBL-Programs/Risk-Research.html>)")
- Tzilivakis, J., Lewis, K.A. & Williamson, A.R. 2005. A prototype framework for assessing risks to soil functions. *Environmental Impact Assessment Review*, 25, 181-195.



## **Экологическая оценка и менеджмент городских почв**

### ***Введение***

Проблема количественной оценки и нормирования экологического состояния городских почв с целью его управления человеком относится к одной из наиболее сложных и важных проблем урбоэкологии. Состояние городских почв напрямую определяет не только продуктивность и устойчивость зеленых насаждений, но и экологическую обстановку в мегаполисе в целом. Почвы, наряду с плодородием, осуществляют жизненно важные функции по ремедиации окружающей среды – деструкцию органических отходов, очищение атмосферы и поверхностных вод, формирование микроклимата, закрепление земной поверхности и геостабилизацию, депонирование зачатков жизни и генной информации, биофильных элементов и макроэргических химических соединений (Добровольский, Никитин, 1986, Смагин, Шоба, Макаров, 2008, Soils..., 2006). В природе на формирование почв и поддержание их в должном состоянии затрачивается до 50% и более ежегодно синтезируемой органической продукции и биогенных потоков энергии (Хильми, 1978). В агро- и урбоэкосистемах человек, активно использующий вещество и энергию почвенных ресурсов, должен взять на себя заботу об их воспроизводстве во избежание необратимой деградации и экологического кризиса. Поэтому для сельскохозяйственных и городских экосистем должна быть организована *система управления* (менеджмента) почвенными ресурсами на базе современных средств и методов их экологической оценки и технологий воспроизводства.

В зарубежной практике экоменеджмента в последние десятилетия активно используется концепция *экологических сервисов* с дифференцированной оценкой *экологического риска* здоровью населения, комфортности проживания, загрязнения и деградации окружающей среды. Согласно такому подходу различные компоненты городской среды выступают в качестве «сервисных» по отношению к человеку и урбоэкосистеме в целом, выполняя те или иные экологические функции, а значит, их услуги могут быть оценены в денежном эквиваленте. При очевидной неприемлемости подобного положения для природных экосистем и биосферы в целом, концепция оказывается вполне эффективной для сферы взаимоотношения человека и природы, особенно в переживаемый историей человечества прагматичный период. Идея проста – дать каждому компоненту окружающей среды свою цену с учетом «сервисных» функций, затрат на ремедиацию или производство, и взыскивать ее полностью или частично с населения, землевладельцев и иных юридических и физических лиц, пользующихся данным сервисным компонентом природы, или приводящих к его ухудше-

нию. Для водных ресурсов, например, подобный порядок давно существует и используется в городских поселениях во всем мире.

С почвами в мегаполисе дело обстоит еще сложнее – ведь этот базовый компонент сосредотачивает в себе все три фазы – твердую, жидкую и газообразную и, по сути, является природным предприятием по воспроизводству и ремедиации этих жизненно-важных ресурсов городской среды (земли, воды, воздуха), причем данная работа осуществляется во многом благодаря жизнедеятельности почвенных организмов (четвертой фазы по А.А.Роде). Однако подобное жизненно-важное функционирование почв остается за пределами внимания населения и властей и фактически не оценивается. Вместе с тем, на озеленение, комплексное благоустройство городских территорий и соответствующую подготовку почвы («растительного слоя») из городского бюджета затрачиваются миллиардные средства, то есть в конечном итоге налогоплательщик все же оплачивает данный вид экологического сервиса. Вопрос в том насколько эффективно расходуются при этом средства? Доминирующие примитивные технологии озеленения сегодня сводятся к подсыпке на поверхность рекультивируемой территории «растительных почвогрунтов» на основе низинного торфа или его смесей с песком, в которые внесены семена газонных трав. Это дает хороший сиюминутный эффект в виде быстрого формирования зеленого газона с возможностью сдачи объекта заказчику. Однако по прошествии 2-3 лет торф разлагается, а с ним неминуемо исчезает и сам зеленый газон, уступая место сорной растительности (рис.1). Объект «ремонтируется» или рекультивируется заново с соответствующими затратами и так из года в год, что позволяет процветать данному роду городского бизнеса на виду у ни о чем не подозревающего налогоплательщика. Аналогичные примеры можно привести и для посадки древесной растительности, приживаемость которой остается крайне низкой опять-таки по причине эдафических факторов – из-за нехватки почвенного ресурса, его низкого качества или (в наиболее частых случаях) из-за неблагоприятных почвенных режимов, в первую очередь – водно-воздушного.

Характеризуя ситуацию в целом, можно констатировать отсутствие сколь либо разработанной и обоснованной в научном плане системы менеджмента городских почвенных объектов в мегаполисе. Нормативно-правовая основа такой системы в г. Москве заложена в законе «О городских почвах» от 4 июля 2007г № 31. Для ее реализации на данном этапе одной из первостепенных задач следует назвать разработку унифицированной совокупности критериев и нормативов качества городских почвенных объектов для проведения их экологической и экономической оценки, инвентаризации, нормирования возможных антропогенных и техногенных воздействий и, в конечном итоге, – принятия оптимальных управленческих решений по воспроизводству и ремедиации почвенных ресурсов с применением современных технологий и технических средств.

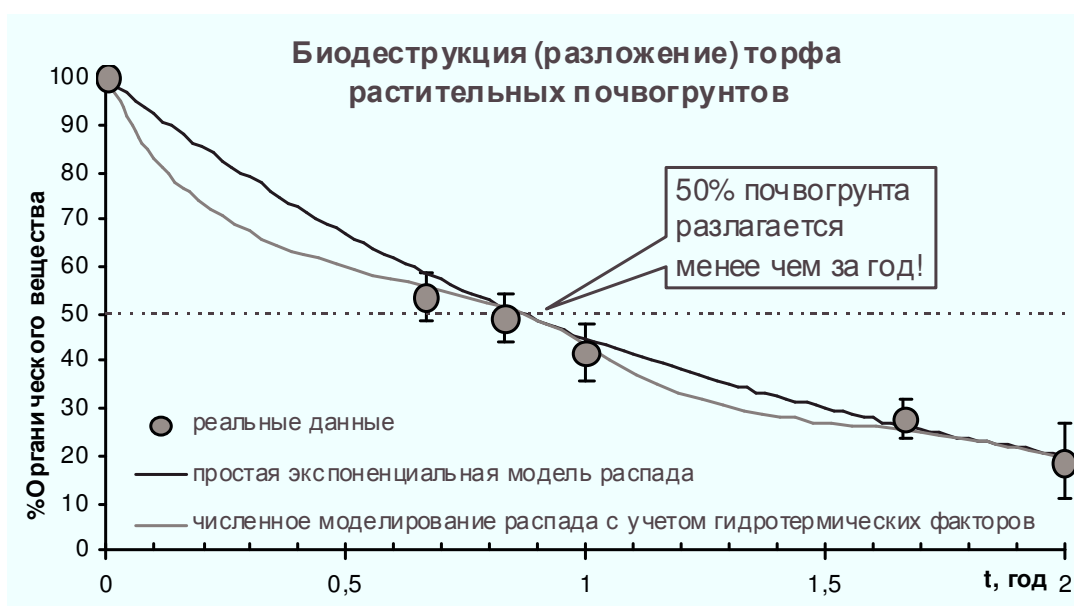


Рис.1. Деградация зеленых газонов по причине неустойчивости органогенных почвогрунтов (по Смагин, 2012)

Кратко суть системы можно представить триадой «*почвенные ресурсы – почвенные режимы – почвенные технологии*» (Смагин, Шоба, Макаров, 2008). Ресурсная часть подразумевает оценку количества почвы в пределах условно-нормативного слоя (1 м согласно закону г. Москвы «О городских почвах») и в границах данного земельного участка, а также качества имеющегося ресурса с использованием критериев запасов биофильных элементов и загрязняющих веществ. Она касается собственно почвенного ресурса в виде твердофазных компонентов, имеющих тот или иной состав, структуру и рыночную стоимость единицы массы или объема (на-

пример, 1 т плодородного почвогрунта в г. Москве стоит около 1000 руб.). Однако, для выполнения почвами их экологических функций («сервисов» в зарубежной терминологии) этого недостаточно. Почва может быть нормативно чистой, содержать оптимальное количество элементов питания, но растительность на ней будет угнетена, поверхность будет пылить, ремедиационные функции сведены к минимуму из-за неблагоприятных *почвенных режимов*, связанных с другими (мобильными) фазами почвы – жидкой и газовой (недостаток влаги или воздуха, обилие солей в растворе), ее температурой (тепловой режим), жизнедеятельностью почвенной биоты и т.д. Нормирование почвенных режимов, их оперативный мониторинг являются столь же важной составляющей системы менеджмента городских почвенных объектов, как и ресурсная оценка. Наконец, если произведены ресурсная оценка, анализ закономерностей почвенных режимов, остается принять оптимальные управленческие решения выявленной почвенно-экологической проблемы и провести их реализацию с использованием современных технологий и технических средств. Все вместе должно составлять современную систему менеджмента почвенных объектов муниципального уровня, и в данной главе приводятся результаты разработки ее элементов в рамках инициативных исследований и ряда Госконтрактов Московского Правительства (Смагин, Шоба, Макаров, 2008, Смагин, 2012).

### ***Ресурсная оценка городских почвенных объектов***

#### Методология ресурсной оценки почв

При осуществлении экологической оценки загрязнения почв, равно как и их позитивных характеристик, отражающих уровень плодородия, необходим учет структурно-функциональной организации почвы, ее гетерогенности, существенной вертикальной анизотропии как сложного поликомпонентного, многофазного пространственно-распределенного объекта. На практике сложился подход, перенесенный из других наук, занимающихся экологической оценкой и нормированием состояния сопредельных, достаточно гомогенных, однофазных сред – воздуха (атмосферы) и воды, а также биологических объектов (растительности, животных) с явными границами в пространстве и характерным временем жизни. Речь идет о концентрационных стандартах (нормативах) в виде ПДК (ОДК), отнесенных к массе (объему) однородной среды или отдельного организма и вызывающие гибель живых существ или их необратимое нарушение. Для почв - гетерогенных, биокосных единств, сочетающих живое и неживое, жидкую, твердую и газовую фазу - такой подход весьма проблематичен. Различия в профильном распределении веществ, характерных временах их динамики (жизни), объемных массах (плотности) и множестве других свойств, приводят к неопределенности в экологической оценке лишь по концентраци-

онным критериям. Для иллюстрации данного положения обратимся к рис. 2, на котором показаны варианты оценки загрязнения почв поллютантом (свинцом) с условной ПДК 32 мг/кг почвы. Так, по существующим подходам почва 1 в верхней части рисунка должна быть признана загрязненной, поскольку в приповерхностном слое достигнута ПДК. На самом деле запас поллютанта в корнеобитаемой 30 см толще выше вдвое в почве 2, хотя по существующим правилам она не загрязнена. Соответственно и растения в почве 2 будут испытывать большее угнетение, чем в почве 1, так как они реагируют именно на запас – реальное количество вещества в данном слое на данной площади. То же касается и элементов питания, определяющих плодородие почвы.

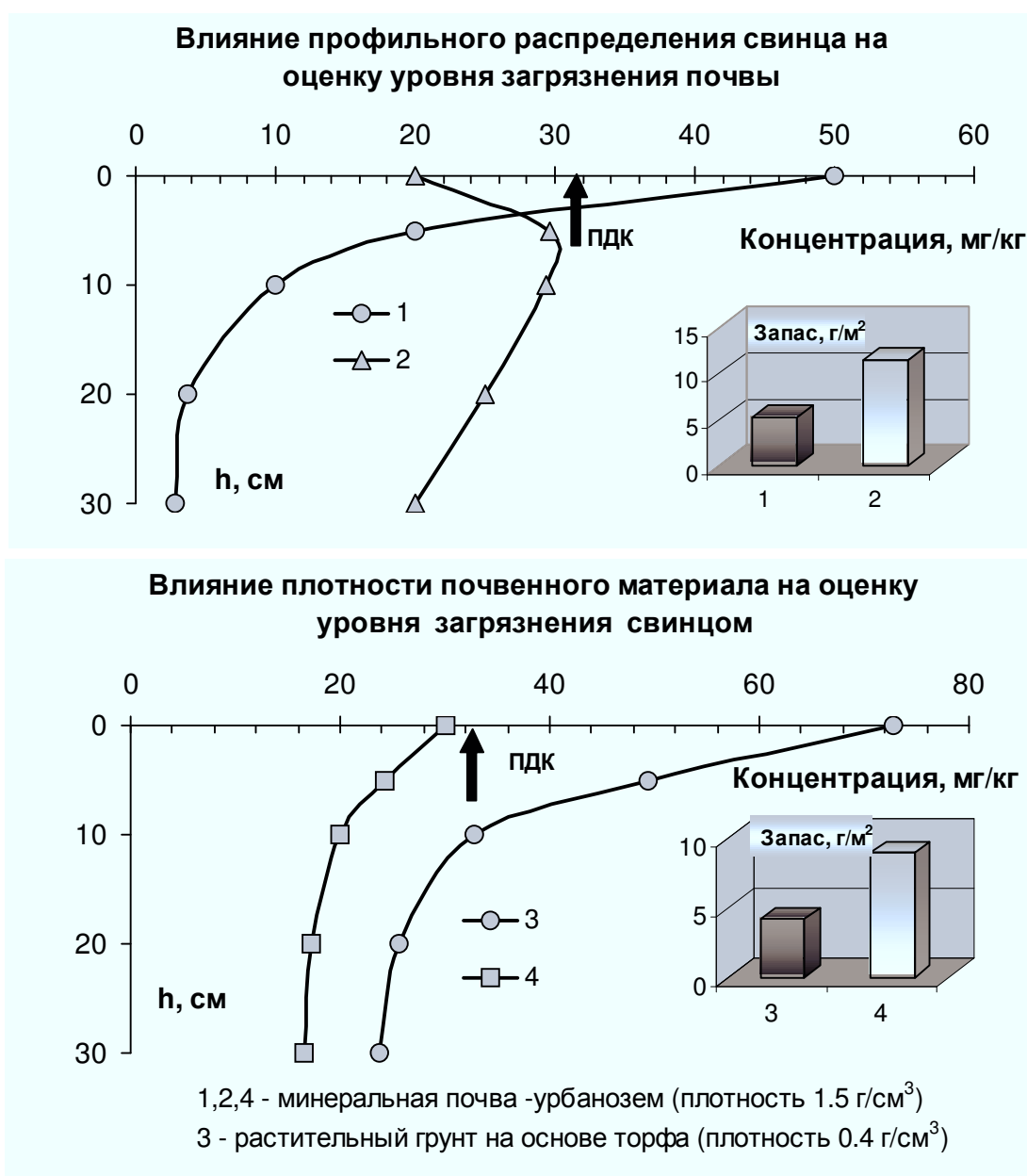


Рис. 2. Проблема учета структурной организации почв при оценке ее загрязнения

Нижняя часть рисунка иллюстрирует влияние на оценку загрязнения различий в плотности почвенных материалов. Как видно, по существующим правилам торфяная смесь должна быть признана негодной, так как содержит 1-2 ПДК загрязнителя. Реально же минеральная почва загрязнена сильнее и, соответственно, она хуже для растений, так как запас поллютанта в ней практически вдвое выше. Поэтому легкие органогенные материалы (торфяные смеси, осадки сточных вод, компосты) могут содержать значительно больше вредных веществ по отношению к массе и при этом оказывать такое же влияние на загрязнение местности, как и минеральные тяжелые грунты, так как различия в их плотности достигают нескольких раз.

В связи с изложенными фактами, при инвентаризации городских почвенных ресурсов следует наряду с традиционными формами критериев использовать показатели запасов тех или иных веществ в сопоставлении этих запасов с нормативными количествами, установленными в законодательном порядке (Смагин, 2004, Смагин, Шоба, Макаров, 2008). Это понятно, поскольку почва как наиважнейший ресурс должна характеризоваться определенным количеством полезных или вредных компонентов ресурса, находящихся в наличии на данной территории. Им можно дать цену, и взыскивать эту цену при нарушении землепользования, закладывать ее в экономику рекультивационных работ. Расчет запасов (ЗВ) осуществляется по первичной информации – данным о профиле распределения концентраций в исследуемой почве (С), ее плотности ( $\rho_b$ ) и мощности слоя (z):

$$ЗВ = \int_0^z (\rho_b C) dz \quad (1)$$

В качестве эталона при оценке загрязнения рассчитываются аналогичные запасы в слоях по общепринятым ПДК и ОДК (СанПиН 2.1.7.1287-03, ГН 2.1.7.2041-06 и ГН 2.1.7.2042-06). Тем самым экологическая оценка осуществляется в полном соответствии с принятыми нормативами федерального уровня и вместе с тем отражает специфику структурной организации почв как гетерогенных пространственно распределенных объектов.

#### Дифференцированная система критериев и нормативов городских почвенных ресурсов

В большинстве развитых стран оценка экологического состояния городских почв осуществляется на базе дифференцированной системы нормативов в виде *критических концентраций* веществ с учетом как способности почв различного генезиса и дисперсности удерживать химические элементы и соединения, так и принадлежности почв к тем или иным компонентам урбоэкосистемы. Тем самым минимизируется экологический риск неблагоприятного воздействия загрязненных почвенных объектов на компоненты окружающей среды и, главное – на здоровье населения.

В различных странах Европы и за ее пределами критерии качества почв были установлены, исходя из аспекта их полифункционального использования. Обзор указанных критериев, существующих под различными названиями (величина качества (Великобритания), критерии цели (Нидерланды), максимально разрешенные величины (Швейцария), величины почвенной ориентации (Германия), и критерии предварительной оценки (Канада)), представлен в таблице 1.

Таблица 1. Пороговые значения критериев качества почв некоторых стран по содержанию тяжелых металлов (по (Смагин, Шоба, Макаров, 2008))

Пороговые значения содержания тяжелых металлов в почвах, мг/кг					
Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	Cr
Нидерланды:					
85	0.8	36	140	35	100
Германия (2 варианта):					
50	0.6	40	120	-	-
100	1	50	150	40	50
Швейцария:					
50	0.8	50	200	50	75
Дания:					
40	-	200	-	-	100
Финляндия:					
60	0.5	100	150	60	100
Чехия:					
70	0.4	70	150	60	130
Россия:					
32	0.5	33	55	20	-
Канада:					
25	0.5	30	50	20	20
Среднее:					
56.9	0.6	67.7	126.9	40.7	82.1

При сопоставлении предельных величин критериев качества почв в различных странах для большинства поллютантов отмечаются достаточно большие пределы варьирования, например для Pb 25-100, Cd 0.5-1, Cu 30-200, Ni 20-85, Cr 20-130 мг/кг. Как видно, российские нормативы оказываются практически для всех загрязнителей, исключая ртуть, ниже среднего уровня, то есть требования к качеству почв в нашей стране более жесткие. На наш взгляд, необходимо сохранить эти требования, и вместе с тем перенять опыт зарубежных стран в экологическом нормировании качества городских почв, с применением дифференцированной системы нормативов в зависимости от свойств почв и их принадлежности к той или иной функциональной зоне города. В работе анализируются возможности такого рода совмещения на принципиально иной методологической основе в виде ресурсного подхода к оценке и нормированию качества городских почвенных объектов по запасам заключенных в них веществ с условным разде-

лением на вредные (загрязняющие) и полезные, определяющие плодородие и иные функции почв в мегаполисе.

Нормативно-правовой основой для муниципальной системы критериев качества почв в отношении загрязнения можно считать утвержденные на федеральном уровне гигиенические нормативы в виде ПДК и ОДК токсичных веществ в почвах (ГН 2.1.7.2041-06 и ГН 2.1.7.2042-06). Нормативы дифференцируются в зависимости от дисперсности (гранулометрического состава) и реакции среды, причем ОДК для наиболее буферных тонкодисперсных почв с нейтральной и щелочной реакцией могут в 3-5раз превышать ПДК, что создает достаточно широкое законодательное поле при формировании дифференцированной системы критериев качества почв в различных функциональных зонах города (табл. 2). Нормативы действуют на всей территории Российской Федерации и устанавливают допустимые концентрации химических веществ в почве разного характера землепользования. Они распространяются на почвы населенных пунктов, сельскохозяйственных угодий, зон санитарной охраны источников водоснабжения, территории курортных зон и отдельных учреждений. В соответствии с российским законодательством выполнение настоящих нормативов должно быть обеспечено во всех субъектах Федерации, включая г. Москву. Поэтому в настоящей разработке они положены в основу дифференцированной системы критериев качества городских почвенных ресурсов.

В городе действует закон «Градостроительный кодекс г. Москвы» №28 от 25.06. 2008, согласно которому устанавливаются следующие типы и виды функционального использования, назначения территории:

- природные (А) (в соответствии с более детальным делением предшествующего закона о градостроительном зонировании территории г. Москвы в ред. от 27.04. 2005 №14 в том числе, природоохранные (А1) и природно-рекреационные (А2);
- общественно-деловые (Б), (в соответствии с более детальным делением вышеупомянутого предшествующего закона о градостроительном зонировании в том числе, административно-деловые (Б1), учебно-образовательные (Б2), торгово-бытовые (Б3), культурно-просветительные (Б4), спортивно-рекреационные (Б5), лечебно-оздоровительные (Б6), учебно-воспитательные (Б7));
- жилые (В); производственные (Г), а также их смешанные комбинации.

Очевидно, что наиболее жесткие нормативы в виде ПДК должны соблюдаться в соответствии с федеральным законодательством (ГН 2.1.7.2041-06 и ГН 2.1.7.2042-06) для почв, где возникает максимальный риск негативного воздействия на человека (жилые зоны (В), часть общественных (Б2, Б5, Б6, Б7) и водоохранная зоны (условно индекс А3)). Для



этих объектов, независимо от свойств почв (дисперсности, буферности), качество нормируется ПДК (табл. 2).

Таблица 2. Действующие гигиенические нормативы загрязнения почв Российской Федерации (по ГН 2.1.7.2041-06 и ГН 2.1.7.2042-06).

ПДК, мг/кг							
	Cd	Cu	As	Ni	Pb	Zn	Hg
	0.5	33	2	20	32	55	2.1
ОДК, мг/кг							
Градации	Cd	Cu	As	Ni	Pb	Zn	Hg
пески, супеси	0.5	33	2	20	32	55	2.1
суглинки, рН<5,5	1.0	66	5	40	65	110	4.2
сугл, глины, рН>5,5	2.0	132	10	60	130	220	8.4
ОДК/ПДК	4	5	3	4	4	4	4

Во всех остальных зонах допустимы менее жесткие нормативы в виде ОДК, дифференцированных по дисперсности (гранулометрическому составу) и способности почв к удерживанию загрязнителей. Так, если в производственной зоне доминируют песчаные и супесчаные почвы с высокой пропускной (фильтрационной) способностью и низким удержанием загрязняющих веществ, нормативы будут численно равны ПДК, то есть самыми жесткими (табл. 2). Вместе с тем, если почвы суглинистые или глинистые (добавляем также отсутствующие в ГН перегнойные, торфяные) с высокими буферными свойствами и способностью поглощать поллютанты, планка нормативов завышается в 2-4 раза, согласно принятым ОДК (табл. 2).

Получив тем самым систему отсчета в виде дифференцированных по зонам и свойствам почв нормативов ПДК и ОДК для городских объектов, продолжим ее развитие для нормирования различных степеней (уровней) загрязненности и соответствующих им категорий опасности химического загрязнения. Традиционно в нормативных документах РФ используется пятибалльная шкала категорий загрязненности почв: «чистая», «допустимая», «умеренно-опасная», «опасная», «чрезвычайно опасная» (табл. 3). Причем для последней категории в случае химического загрязнения единственно возможным управленческим решением является эвакуация загрязненного почвогрунта и замена на чистый. Для органических поллютантов отнесение почв к той или иной категории загрязнения осуществляется по превышению ПДК. В частности, при 2-5-кратном превышении почву можно отнести к «опасной» категории (СанПиН 2.1.7.1287-03). Видимо, столь большая разница (от 2 до 5 раз) относится к разным по химическому составу и персистентности соединениям, однако отсутствие четких указаний порождает здесь неопределенность при проведении оценочных работ.

Не менее проблематичная методика предполагается для оценки загрязненности неорганическими соединениями (табл. 3). Как видно, «чистая» и «допустимая» категория фактически тождественны, поскольку для

обеих планка не выше ПДК. Для «умеренно-опасной» категории нормативов по содержанию вообще нет, так же как и в случае органических загрязнителей. Предельное загрязнение оценивается сложно и весьма относительно по некоему максимальному значению допустимого уровня содержания элемента одного из четырех показателей вредности ( $K_{max}$ ). Наиболее простой и четкий способ отнесения базируется на использовании интегрального индекса загрязнения  $Z_c$  с численными нормативами для всех категорий. Однако при внимательном анализе оказывается, что данный индекс, заимствованный из геохимии и вошедший во многие нормативные документы, является весьма неопределенным, сильно зависящим от числа включенных в него характеристик отдельных загрязнителей (Смагин, Шоба, Макаров, 2008).

Таблица 3. Оценка степени химического загрязнения почвы (СанПиН 2.1.7.1287-03)

Категории загрязнения	$Z_c$	Содержание в почве (мг/кг)			
		I класс опасности		II класс опасности	
		Орг. соединения	Неорг. соединения	Орг. соединения	Неорг. соединения
Чистая	–	от фона до ПДК	от фона до ПДК	от фона до ПДК	от фона до ПДК
Допустимая	< 16	от 1 до 2 ПДК	от 2 фоновых значений до ПДК	от 1 до 2 ПДК	от 2 фоновых значений до ПДК
Умеренно опасная	16 - 32				
Опасная	32 - 128	от 2 до 5 ПДК	от ПДК до $K_{max}$	от 2 до 5 ПДК	от ПДК до $K_{max}$
Чрезвычайно опасная	> 128	> 5 ПДК	> $K_{max}$	> 5 ПДК	> $K_{max}$

$K_{max}$  - максимальное значение допустимого уровня содержания элемента по одному из четырех показателей вредности.  $Z_c$  - суммарный показатель загрязнения, расчет которого проводится в соответствии с методическими указаниями по гигиенической оценке качества почвы населенных мест.

Описанные выше методологические проблемы на практике приводят к достаточно произвольным действиям по отнесению городских почв к той или иной категории загрязнения и последующим управленческим решениям, вплоть до реплантации (замены) относительно пригодных для города почвогрунтов. В результате на муниципальном уровне часто руководствуются методическими указаниями (МУ2.1.7.730-99), содержащими более четкие градации для всех пяти уровней загрязненности почвы, однако нижний уровень (ПДК) здесь, как мы видим, представлен на самом деле федеральными ОДК для тонкодисперсных почв с нейтральной реакцией среды, т.е. завышен в 4-5раз (табл. 2 и 4).

Вместе с тем, именно этот документ дает возможность оценить реальные уровни превышения ПДК для тех или иных степеней (категорий) загрязнения городских почв, что так необходимо для правового экологического нормирования. Такая оценка приведена в нижней строке таблицы 4, и именно ее мы используем в дальнейшем для разработки системы дифференциальных нормативов качества почвенных ресурсов г. Москвы в связи с проблемой техногенного загрязнения. Единственное отступление сделано для последней – пятой категории (чрезвычайно высокий уровень), где вместо получаемого в среднем шестикратного превышения над ПДК, взято пятикратное, как и для органических поллютантов в соответствии с СанПиН 2.1.7.1287-03 .

Таблица 4. Степень загрязнения почв тяжелыми металлами (МУ2.1.7.730-99)

Наименование	Содержание (мг/кг), соответствующее уровню загрязнения				
	1-й уровень - допустимый < ПДК	2-й уровень низкий	3-й уровень средний	4-й уровень высокий	5-й уровень очень высокий
Химические элементы:					
Кадмий	<2	2-3	3-5	5-10	>10
Свинец	<65	65-130	130-250	250-600	>600
Ртуть	<2,1	2,1-3	3-5	5-10	>10
Мышьяк	<10	10-20	20-30	30-50	>50
Цинк	<220	220-450	450-900	900-1800	>1800
Медь	<132	132-200	200-300	300-500	>500
Никель	<80	80-160	160-240	240-500	>500
Суммарный индекс (Zc)	<8ед.	8-16 ед.	16-32 ед.	32-128 ед.	>128 ед.
Среднее превы- шение ПДК (ОДК)	1	2	3	6	>6

Итак, мы имеем дифференцированную в зависимости от свойств почвы и принадлежности к функциональной зоне города пятиуровневую систему нормативов качества, базирующуюся на действующих нормативно-правовых документах РФ в виде концентрационных показателей. Но куда ее приложить? К какой точке почвенного профиля? Ведь реальные почвы в отличие от привозных гомогенных «растительных грунтов» неоднородны и имеют свои закономерности профильной организации (рис. 2). И в зависимости от того, откуда взят образец, насколько он разбавлен при составлении физически средней пробы, во многом будут появляться те или иные результаты и выводы о загрязнении. Очевидно, для здоровья человека важны первые сантиметры поверхности почвы, поскольку именно они загрязнены сильнее всего и при пылении и непосредственном контакте мо-

гут попадать в организм, вызывая серьезные заболевания. Для растительности важен весь объем, в котором сосредоточены корни и в случае древесных культур он может даже превышать нормативный по закону «О городских почвах» метровый слой. То же важно и для грунтовых вод, поскольку вероятность их загрязнения напрямую зависит от мощности рыхлых почвенных отложений надуровнем залегания подземных вод и способности всего их объема удерживать вредные вещества. Без знания закономерностей профильного распределения загрязнителей в почве невозможно провести адекватную оценку загрязнения, а таких данных крайне мало.

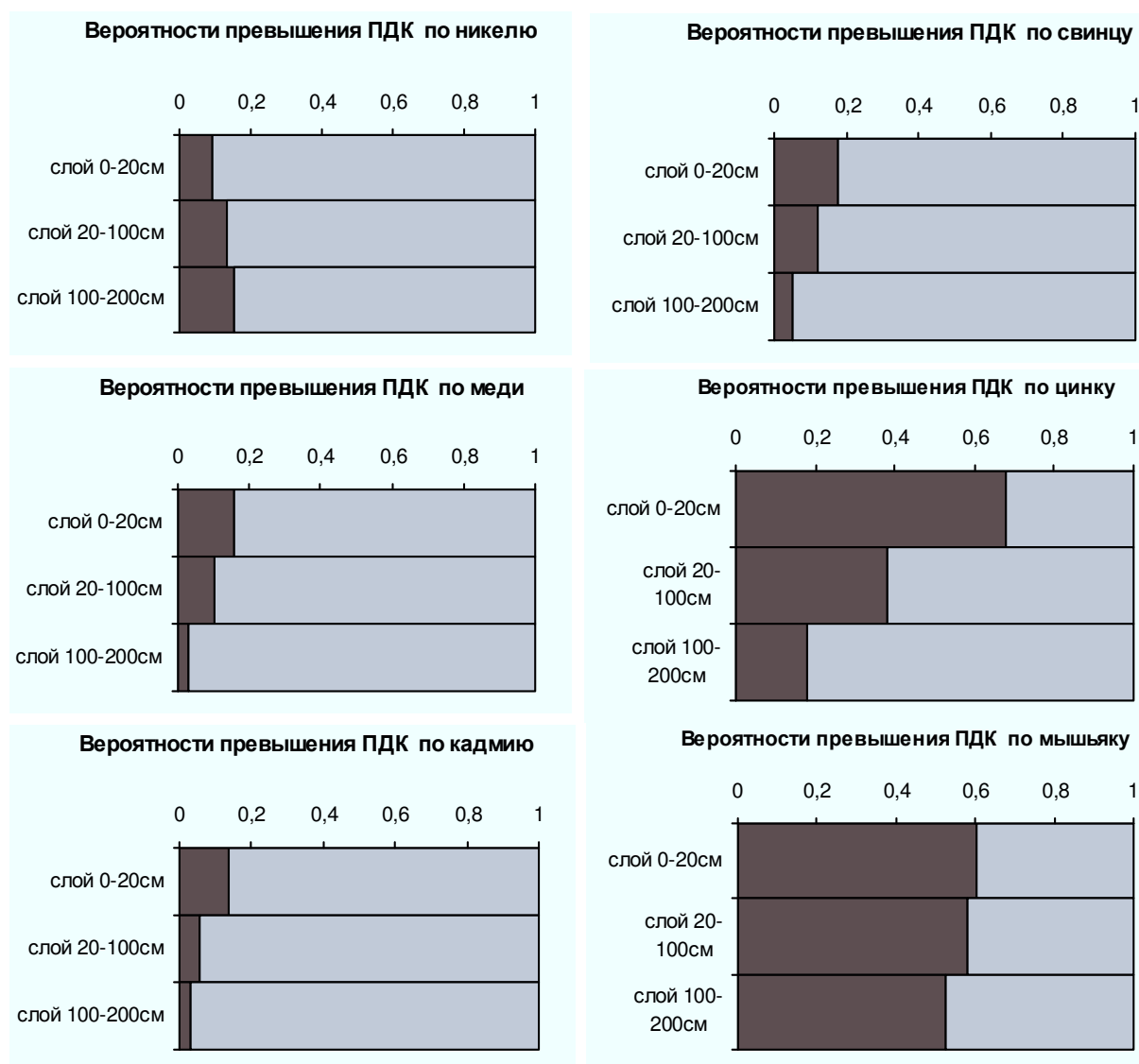


Рис.3. Закономерности профильного распределения загрязняющих веществ в почвах г. Москвы

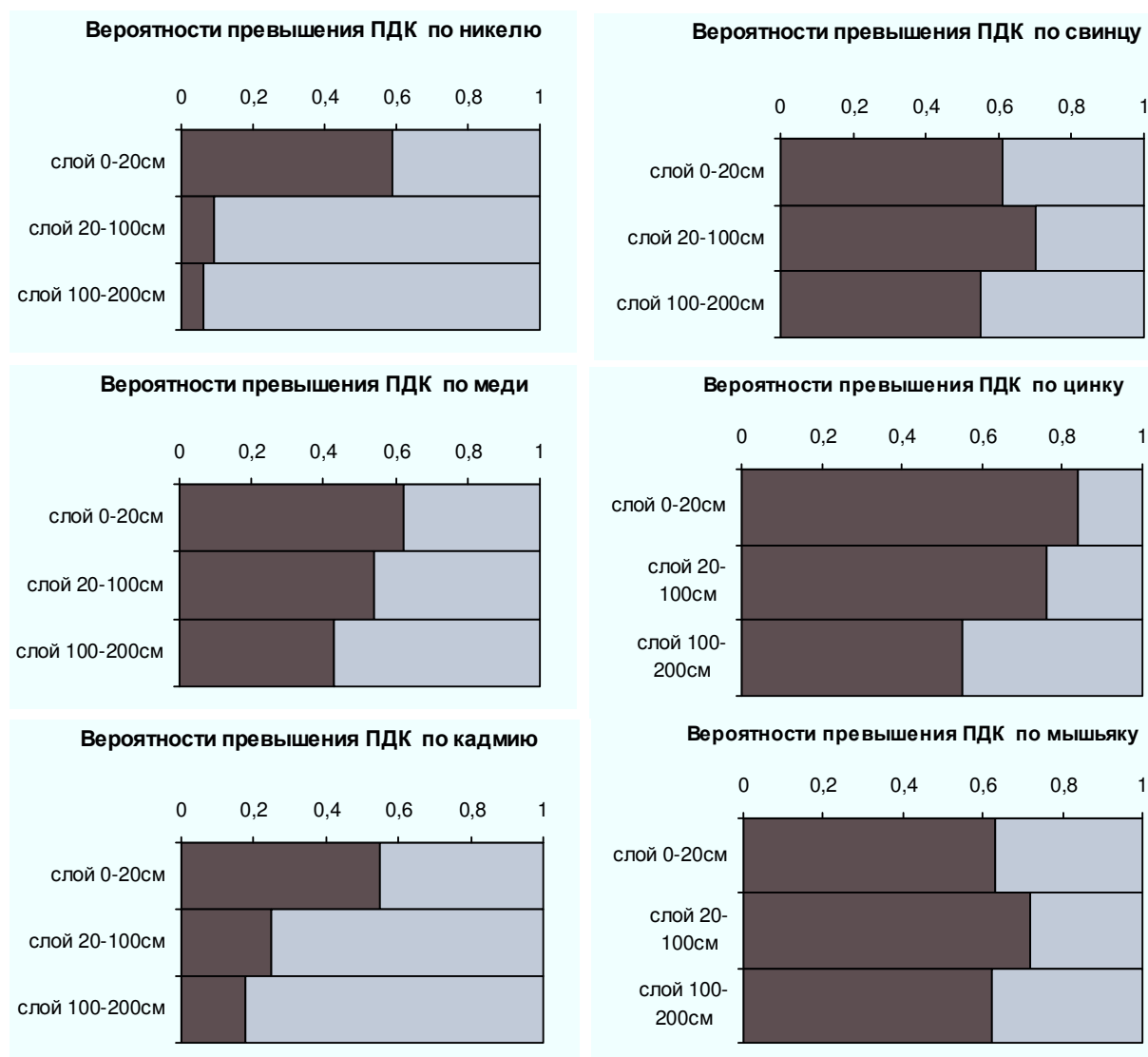


Рис.4. Закономерности профильного распределения загрязняющих веществ в почвах ЦАО г. Москвы

В качестве примера нами были проанализированы опубликованные ранее данные ООО НИиПИ Экологии Города (Экологические функции, 2004) по загрязнению почв г. Москвы тяжелыми металлами и мышьяком в количестве 2166 образцов. Данные по различным районам (округам) кадастрово-административного деления были усреднены с использованием весовых коэффициентов в виде долей площади территории района от общей площади города. На рис. 3. представлены результаты такой осредненной оценки в виде доли образцов, загрязнение которых на той или иной глубине почвы превышало ПДК. В целом, как видно из рисунка, большинство почв Москвы не исчерпало 15-20% потенциальной экологической емкости по накоплению загрязнителей. Для того чтобы в целом признать почвы Москвы полностью загрязненными, то есть достигнувшими ПДК по всей условной толще (1м), еще весьма далеко. Однако по отдельным формам загрязнения (цинк, мышьяк) эта величина уже близка к половине (50%).

Отметим еще одну общую особенность техногенного загрязнения, а именно – убывание содержания загрязнителя с глубиной. Это и понятно, поскольку основной пресс техногенного загрязнения приходится на поверхность почвы. В результате для большинства загрязнителей потенциальная емкость, нормированная величиной ПДК, в нижних слоях почвы остается заполненной в меньшей степени, чем в верхних (рис. 3, 4). Наличие такой емкости у почвы как распределенного объемного тела позволяет выполнять ей важнейшую экологическую функцию барьера для загрязняющих веществ по отношению к грунтовым водам. Как видно из рисунка, для большинства загрязнителей вероятность проникновения в слой почвы ниже метра остается невысокой (5-10%), хотя имеются и исключения (никель, мышьяк).

Приведенная выше информация касалась осредненной оценки загрязнения по всему мегаполису, и ситуация в целом еще вполне благополучная. Однако, при переходе к отдельным районам, в особенности к наиболее долго эксплуатируемым, картина меняется. Так для ЦАО большинство загрязнителей заняли уже около половины потенциальной экологической емкости почвы, а в поверхностных слоях вероятность превышения ПДК достигла 60 и даже 80% (рис. 4). По всей видимости, здесь сказывается не только более значительная техногенная нагрузка на поверхность почв в центре города, но и элиминирование самой открытой поверхности за счет застройки и запечатывания асфальто-бетонными покрытиями. Остатки открытых почв подвергаются дополнительным воздействиям в виде стока и сноса загрязняющих веществ со стороны непроницаемых покрытий и зданий.

Имея информацию о профильном распределении загрязняющих веществ, легко оценить почвенный ресурс в целом, для чего, как уже упоминалось ранее, вводится новый показатель – *запасы загрязняющих веществ* в расчетной толще. По действующей системе ПДК и ОДК рассчитываются нормативные запасы, а по профильным распределениям загрязнителя в нормативной метровой толще – реальные запасы поллютантов. Единицы запаса –  $г/м^2$ . То есть, сколько загрязняющего вещества сосредотачивается в почвенной толще на единице площади. В простейшем случае при плотности почвы в  $1г/см^3 = 1000 кг/м^3$  нормативный запас в метровой толще в  $г/м^2$  численно равен ПДК в  $мг/кг$ : норма = ПДК $мг/кг \cdot 1000кг/м^3 \cdot 1м = ПДК г/м^2$ . Поскольку средняя плотность минеральных почв в метровой толще составляет порядка  $1.5 г/см^3$ , допустимо при нормировании использовать величину, численно равную  $1,5ПДК$  (в  $г/м^2$ ). Ниже приводятся результаты таких расчетов в виде предлагаемой дифференцированной системы нормативов уровня субъекта Федерации для оценки качества почвенных ресурсов г. Москвы (табл.5).

Как видно из таблицы, допустимое содержание в метровой толще неорганических поллютантов – тяжелых металлов и мышьяка (1 и 2 клас-

сов опасности) варьирует весьма значительно в зависимости от буферных свойств почвы, определяемых ее дисперсностью (гранулометрическим составом) и обогащенностью органическим веществом, как и должно быть в связи с общепринятыми международными стандартами нормирования. Вместе с тем, для класса грубодисперсных почв и соответствующих приоритетных функциональных зон города, включая жилую и водоохранную, в системе заложены самые жесткие нормативы, рассчитанные по ПДК федерального уровня, которые практически для всех загрязнителей ниже, чем средние показатели в большинстве зарубежных стран (табл. 1,2,5).

Аналогичный способ экологического нормирования городских почвенных ресурсов был применен и для условно «позитивных» веществ, определяющих почвенное плодородие и рост зеленых насаждений (табл. 6). Среди них были выбраны биофильные элементы первостепенной значимости – органический углерод (С), минеральный азот (N), подвижный фосфор (Р) и калий (К). Расчет проводился по общепринятым в почвоведении и агрохимии нормативам с учетом федеральных стандартов, ограничивающих содержание минерального азота и фосфора по транслокационным показателям как эвтрофицирующих элементов (СанПиН 2.1.7.1287-03 ГН 2.1.7.2041-06 и ГН 2.1.7.2042-06). Поскольку более жестких федеральных стандартов в данной области нет, предложенные нормативы следует рассматривать в качестве ориентировочных и в дальнейшем возможна их корректировка.

В дополнение к ресурсной характеристике запасов загрязняющих веществ и позитивных химических элементов в условной метровой толще при обследовании и экологической оценке городских почвенных объектов анализируются традиционные санитарно-эпидемиологические показатели (индекс бактерий группы кишечной палочки, индекс энтерококков, патогенные бактерии, в т.ч. сальмонеллы, яйца гельминтов, содержание нефтепродуктов и 3,4-бензпирена), радиационный фон и захламленность поверхности, уплотнение, засоление и реакция почвенной среды. Очевидно, что эти критерии и соответствующие им нормативы характеризуют преимущественно поверхностные слои почвы, однако четких представлений о глубине отбора проб, как показывает анализ нормативных документов, здесь пока нет. Даже для многократно регламентированных в ГОСТ 17.4.3.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-84, МУ 2.1.7.730-99, СанПиН 2.1.7.1287-03 процедур отбора проб при санитарно-эпидемиологической и гигиенической оценках почв населенных мест можно найти противоречивые значения характерных глубин взятия образцов от 5 (10) до 20 см. В результате такой неопределенности ряд организаций при оценке городских почв анализируют весь слой 0-20 см, вместо положенных по ГОСТ 0-5 см и 5-20 см послойно, что может приводить к «физическому разбавлению» проб и занижению реальных концентраций загрязняющих веществ и патогенных организмов.

Таблица 5. Показатели и нормативы качества почвенных ресурсов г. Москвы в связи с проблемой техногенного загрязнения (негативные ресурсные компоненты)

Градации (степень загрязнения):	пески, супеси	легкие, средние суглинки	тяжелые суглинки, глины, перегной, торф
Pb, г/м <sup>2</sup>			
Норма	50	100	200
Слабая	100	200	400
Средняя	150	300	600
Сильная	250	500	1000
Очень сильная	≥250	≥500	≥1000
Zn, г/м <sup>2</sup>			
Норма	80	170	300
Слабая	160	340	600
Средняя	240	510	900
Сильная	400	850	1500
Очень сильная	≥400	≥850	≥1500
Cd, г/м <sup>2</sup>			
Норма	1	2	3
Слабая	2	3	6
Средняя	3	5	9
Сильная	5	8	15
Очень сильная	≥5	≥8	≥15
Hg, г/м <sup>2</sup>			
Норма	3	6	15
Слабая	6	12	30
Средняя	9	18	45
Сильная	15	30	75
Очень сильная	≥15	≥30	≥75
As, г/м <sup>2</sup>			
Норма	3	8	15
Слабая	6	15	30
Средняя	9	23	45
Сильная	15	38	75
Очень сильная	≥15	≥38	≥75
Cu, г/м <sup>2</sup>			
Норма	50	100	200
Слабая	100	200	400
Средняя	150	300	600
Сильная	250	500	1000
Очень сильная	≥250	≥500	≥1000
Ni, г/м <sup>2</sup>			
Норма	30	60	90
Слабая	60	120	180
Средняя	90	180	270
Сильная	150	300	450
Очень сильная	≥150	≥300	≥450



Таблица 6. Показатели и нормативы качества почвенных ресурсов г. Москвы в связи с проблемой озеленения (позитивные ресурсные компоненты)

Свойства почвы (гранулометрический состав):	Нормативы (1, 2, 3)
Запас органического углерода почвы, кг/м <sup>2</sup>	
пески, супеси	6
легкие, средние суглинки	8
тяж. суглинки, глины, торф, перегной	10
Избыток	Более чем утроенная норма
Запас минерального азота, г/м <sup>2</sup>	
пески, супеси	60
легкие, средние суглинки	80
тяж. суглинки, глины, торф, перегной	100
Избыток	Более чем утроенная норма
Запас подвижного фосфора, г/м <sup>2</sup>	
пески, супеси	80
легкие, средние суглинки	120
тяж. суглинки, глины, торф, перегной	160
Избыток	Более чем утроенная норма
Запас подвижного калия г/м <sup>2</sup>	
пески, супеси	120
легкие, средние суглинки	160
тяж. суглинки, глины, торф, перегной	200
Избыток	Более чем утроенная норма

Для системы нормативов муниципального уровня, которые, согласно природоохранному законодательству, должны быть не ниже установленных на федеральном уровне, целесообразно выбрать фиксированную глубину отбора – самый верхний 0-5см слой почвы при отборе проб на анализ патогенных организмов и токсичных веществ. Именно там они концентрируются, и оттуда попадают при непосредственном контакте или опосредованно (через атмосферу) в организм человека, вызывая различные заболевания. Поэтому при количественной оценке санитарно-эпидемиологического (гигиенического) состояния городских почв следует в первую очередь учитывать концентрацию в этом поверхностном слое, сравнивая ее с четко определенными концентрационными нормативами из СанПиН 2.1.7.1287-03, МУ 2.1.7.730-99, ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.7.2042-06.

Радиационный фон определяется с поверхности по МЭД внешнего гамма-излучения, которая, согласно действующим в РФ нормативам не должна превышать 0,3 мкЗв/час. Измерения проводятся дозиметрами на высоте 0,1 м над поверхностью почв. Участки, на которых фактический уровень МЭД превышает обусловленный естественным гамма-фоном, рассматриваются как аномальные. В зонах выявленных аномалий гамма-фона интервалы между контрольными точками должны последовательно сокращаться до размера, необходимого для оконтуривания зон с уровнем МЭД > 0,3 мкЗв/час.

Таблица 7. Отдельные показатели мониторинга экологического состояния почв и грунтов в связи с проблемой озеленения (по Смагину и др., 2006)

<b>Градации:</b>	Комментарии (влияние на плодородие почв, окружающую среду, растительность и здоровье человека):
<i>Плотность сложения (для 0-20см минерального слоя), <math>\rho_b</math>, г/см<sup>3</sup>.</i>	
0.9-1.2 оптимум	Почва хорошо проводит воду и воздух. Растения чувствуют себя нормально
1.2-1.4 слабое уплотнение	Частичное снижение впитываемости влаги и аэрации. Большая часть растений не реагирует.
1.4-1.5 среднее уплотнение	Резкое снижение впитываемости и газообмена, усиление поверхностного стока. Проявляется угнетение роста, развитие анаэробных процессов.
1.5-1.6 сильное уплотнение	Сильное угнетение роста, анаэробнозис, сильные поверхностный сток и эрозия почвы.
>1.6 переуплотнение	Почва полностью непригодна для растений и без рыхления они обречены на гибель. Почва практически не проводит воду и воздух.
<i>Электропроводность порового раствора, <math>E_s</math>, дСм/м</i>	
<2 незасоленные	Растения развиваются нормально.
2-4 очень слабо засоленные	Наступает угнетение роста чувствительных к засолению видов (бобовые, зонтичные, луковичные, розы, плодовые деревья и кустарники, ягодные, лещина).
4-8 слабозасоленные	Гибель чувствительных видов, угнетение роста и снижение до 50% продуктивности большинства растений, неблагоприятные изменения физико-химических свойств почв.
8-16 средnezасоленные	Снижение до 50-70% продуктивности толерантных к засолению видов (тополь, осина, ольха, райграс, пырей, овсяница), гибель большинства растений, необратимые изменения структуры почвы.
16-32 сильнозасоленные	Гибель практически всех растений, необратимая деградация почвы и разрушение ее структуры.
> 32 очень сильно засоленные	Бесплодные и безжизненные грунты.
<i>Степень кислотности/щелочности порового раствора, pH</i>	
<4 очень сильно кислые	Большинство высших растений гибнет. Активное разрушение и вынос элементов минерального питания (оподзоливание почвы).
4-4.5 сильно кислые	Культурные растения угнетены. Оподзоливание почвы.
4.5-5.5 средне кислые	Оптимум для хвойных растений и сопутствующей бореальной группы напочвенного покрова
5.5-6.5 слабо кислые	Нормальное состояние растений, включая культурные. Сочетание хвойных и лиственных пород с сопутствующей неморально-бореальной группой напочвенного покрова.
6.5-7.5 нейтральные	Нормальное состояние растений, включая культурные. Доминирование лиственных пород и неморальной группы.
7.5-8.5 щелочные	Угнетение роста многих видов растений в сочетании с засолением почвы.
>8.5 избыточно щелочные	Сильное угнетение и гибель большинства растений, необратимая деградация структуры, засоление, осолонцевание и осолодение почв.

Для оставшихся количественных критериев (уплотнение, засоление, реакция среды), отражающих преимущественно функцию поддержания роста зеленых насаждений, допустимо исследовать приповерхностную корнеобитаемую толщу 20 см мощности. Поскольку, в отличие от санитарно-эпидемиологических показателей, здесь пока нет законодательно утвержденных нормативов качества, можно воспользоваться принятыми в почвоведении градациями данных показателей, адаптированными к условиям г. Москвы и снабженными необходимыми комментариями (табл. 7).

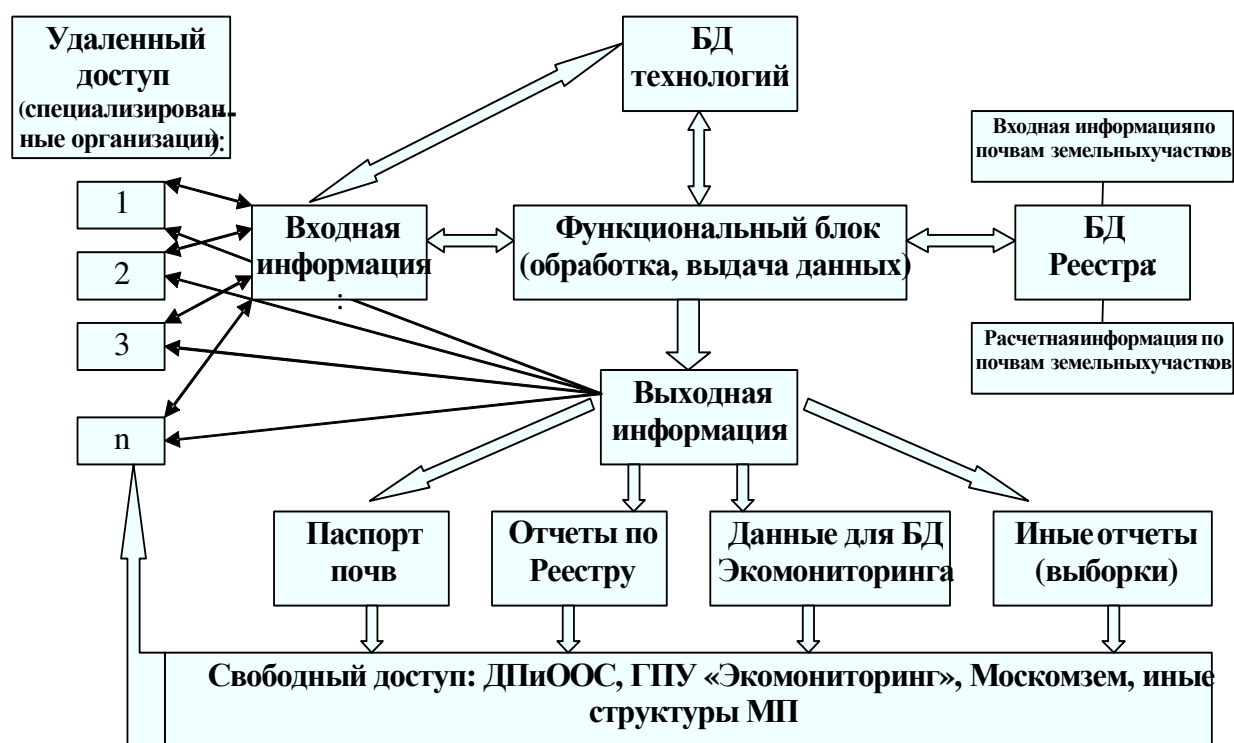
### ***Автоматизированная информационная система менеджмента городских почвенных ресурсов (пилотная версия)***

#### Структура и входные данные АИС

Описанная выше система дифференцированных показателей и нормативов качества городских почвенных ресурсов была положена в основу АИС для их экологической оценки, инвентаризации и подбора технологий ремедиации и воспроизводства (Смагин, Иванов, 2008). Структура АИС представлена на рис.5 и включает блоки входной информации (ввода и корректировки данных) как для Реестра, так и для базы данных по технологиям восстановления почв, блоки хранения информации в виде БД Реестра и БД по технологиям ремедиации почв, основной (функциональный) блок, посредством которого осуществляются необходимые расчеты, обработка данных и их выдача пользователю, и наконец, блок выходной информации, среди которой главную позицию представляет паспорт почв (заключение о состоянии почв) земельного участка г. Москвы. Наличие конкретной привязки земельных участков в виде адресов, а также точечных GPS- координат, дает принципиальную возможность осуществить встройку информации как в московские картографические системы, например, электронные карты Москвы типа «MosMap», а также в любые ГИС профессионального уровня с вводом данных по GPS-координатам объекта. Входные данные для АИС в виде результатов обследования почв земельного участка фиксируются в БД Реестра как первичная информация, на основании обработки которой в автоматическом режиме формируется паспорт почв земельного участка с характеристикой экологического состояния и подбираются оптимальные технологии воспроизводства и ремедиации почвенных объектов из соответствующей адресной БД.

Структура адресной базы данных по технологиям обработки и рекультивации почв г. Москвы представлена в табл. 8. Как видно, она включает буквенно-цифровой код технологии, краткое описание, анализ стоимости ремедиации единицы объема или площади почвенного объекта, также адресную часть и данные для быстрого контакта» (наименование, адрес, телефон, факс, e-mail, web-сайт практикующей организации, владельца или разработчика технологии). Внедренный в БД список техноло-

гий по сути покрывает все наиболее приемлемые для городских условий методы, разработанные как в нашей стране, так и за рубежом. Им в соответствие поставлены конкретные почвенные проблемы, что позволяет осуществлять автоматизированный выбор технологий по показаниям качества почв на участке. В базу данных по технологиям включаются преимущественно технологии и организации, находящиеся в г. Москве или в ближайшем доступе (Подмосковье). Первичное заполнение БД с помощью Интернет-поиска ограничилось списком порядка 150 организаций, практикующих в г. Москве в данной сфере деятельности. В перспективе (развитие АИС) легко организовать пополнение БД новыми технологиями, не прописанными ранее, для чего надо лишь продолжить автоматическую кодировку и при вводе новой информации обеспечить выбор из списка какую почвенную проблему решает новая технология, причем возможно совмещение нескольких проблем из следующих групп: радиационное заражение, заражение патогенными организмами, загрязнение 3,4-бензпиреном, загрязнение нефтепродуктами, захламление поверхности, засоление почв, закисление/зашелачивание, уплотнение, недостаток элементов питания, загрязнение тяжелыми металлами и мышьяком.



↔ ↔ – прямые и обратные связи между структурными элементами АИС, поставщиками и пользователями информации.

Рис. 5. Принципиальная блок-схема АИС для ведения реестра, инвентаризации и подбора технологий обработки и ремедиации почв г. Москвы

Таблица 8. Структура БД технологий обработки и ремедиации почв г. Москвы

Код	Название технологии, краткое описание	Оценочная стоимость культивации (рекультивации) для единицы объема (площади)		Адрес, контакт
		руб/м <sup>3</sup>	руб/м <sup>2</sup>	
<b>Группа А Технологии культивации (обработки) и реабилитации почв</b>				
A1	Мех обработка почвы (перекопка, вспашка с оборотом, рыхление, фрезерование, чизелевание, дискование, виброкультивация, ГМЛ, и т.д.)			
A2	Гербокультивация (подбор почво-улучшающих травосмесей, траво-сеяние, задернение поверхности и откосов, проколка дернины, и др.)			
A3	Мульчирование поверхности почвы, пескование			
A4	Внесение удобрений (минеральных, органических, комплексных)			
A5	Очистка от мусора и скрининг почвы			
A6	Дезинфекция (обеззараживание) и дезинсекция почвы			
A7	Удаление сорной растительности, обработка гербицидами			
A8	Полив и биостимуляция растворами БАД			
A9	Ирригация и промывка почвы от солей			
A10	Известкование (нейтрализация повышенной кислотности); подкисление и гипсование (нейтрализация повышенной щелочности)			
A11	Почвенное кондиционирование (внесение природных или синтетических биополимеров (почвенных кондиционеров), почвомодификаторов и мелиорантов для оптимизации структуры, вододерживающей и поглотительной способности, фильтрационных свойств и противозерозионной стойкости)			
A12	Реабилитация (комплексное возделывание) почв			
<b>Группа Б Технологии рекультивации загрязненных почв</b>				
B1	Локализация и эвакуация радиоактивных и сильнозагрязненных почвогрунтов 1-3 классов опасности (вывоз, захоронение, утилизация по лицензиям)			
B2	Реплантация почв (вывоз загрязненных почвогрунтов и замена на чистые)			
B3	Перекрытие (подсыпка чистого грунта и экранирование загрязненных слоев)			
B4	Разбавление чистым почвогрунтом загрязненного слоя с перемешиванием			
B5	Биоремедиация in situ (очистка почвы от органических поллютантов внесением микробных препаратов и легкогидролизуемых веществ, а также пленочных покрытий)			

Код	Название технологии, краткое	Оценочная стоимость культивации (рекультивации) для единицы объема (площади)	Адрес,		
Б6	Биокомпостирование, вермикомпостирование ex situ (эвакуация почвогрунта и компостирование в ферментерах- реакторах)				
Б7	Химическая и физико-химическая детоксикация in situ (очистка почвы или перевод поллютантов в инертную форму при внесении химически и биохимически активных веществ, ПАВ, адсорбентов и других мелиорантов)				
Б8	Химическая и физико-химическая детоксикация ex situ (то же с эвакуацией почвогрунта и обработкой в реакторах))				
Б9	Физические методы ремедиации почв (термообработка, пиролиз, электромелиорация, принудительная аэрация (газификация), вакуум-экстракция, вентинг, промывки, стеклование				
Б10	Фиторемедиация, фитоэкстракция, фито-биодegradация (посадка устойчивых растительных культур-аккумуляторов вредных веществ с последующей утилизацией фитомассы, использование хемотаксически активных микроорганизмов-биодеструкторов ризосферы растений)				
<b>Группа В Технологии почвенно-ландшафтного конструирования</b>					
В1	Строительство дренажных и поливных систем для оптимизации водно-воздушного режима почвы				
В2	Планировка поверхности, террасирование, формирование рельефа				
В3	Сплошные (газоны) и локальные (деревья, кусты) почвенные конструкции с набором функциональных слоев и защитой от загрязнения (засоления).				
В4	Сплошные почвенные конструкции с грубодисперсными покрытиями и отводом загрязненных (засоленных) вод в канализационный сток.				
В6	Геотекстильные, габионные и иные промышленные конструкции				
<b>Группа Г. Технологии нормированного техногенного воздействия на почвы, экоконтроль.</b>					
Г1	Локализация и эвакуация источников загрязнения почв				
Г2	Оградительные механические, противозерозионные, физико-химические барьеры, очистные сооружения для предотвращения загрязнения почв				
Г3	Альтернативные методы борьбы с гололедом				
Г4	Экологический контроль, экологические проекты, ОВОС, штрафные и другие обременительные санкции в адрес физических и юридических лиц, способствующих загрязнению, захлапленению и деградации почв				

Выбор той или иной технологии (комплекса технологий) осуществляется по данным паспорта почв земельного участка – основного документа, регламентирующего текущее экологическое состояние почвенных ресурсов. Паспорт формируется АИС на базе входной информации (обследования), выдается сроком на 7-10 лет в случае плановой инвентаризации почвенных ресурсов Департаментом Природопользования и Охраны Окружающей Среды г. Москвы (ДПиООС), визируется Департаментом Земельных Ресурсов (Москомзем), и подписывается балансодержателем участка. С данного момента он приобретает статус юридического документа, фиксирующего состояние почвенных ресурсов участка и налагающего ответственность землепользователя (владельца) участка за их деградацию.

Исходными данными АИС служат результаты обследования почв земельного участка по стандартным показателям экологического состояния. В качестве примера ниже приводятся заполненные формы результатов обследования почв земельного участка г. Москвы (Парк 800-летия Москвы, р-н Марьино) с комплексным почвенным покровом, взятых из общей выборки для тестирования пилотной версии АИС по инвентаризации городских почвенных ресурсов (Смагин, Шоба, Макаров, 2008). Помимо аналитических данных, форма результатов обследования содержит необходимую земельно-кадастровую и адресную информацию по участку, даты проведения обследования и контактную информацию по выполнявшей изыскания специализированной организации. Лист обследования дублирует интерфейс АИС для ввода первичной информации, ее последующей обработки и хранения в БД Реестра городских почвенных объектов (врезка 1).

По аналогии дается характеристика другим почвенным выделам на обследуемом земельном участке, число которых может быть различным в зависимости от размера участка и комплексности его почвенного покрова, но по экономическим соображениям рекомендуется не превышать норму в 4-6 выделов.

#### Алгоритмы и принципы работы АИС

В процессе обработки исходных данных по почвам для подготовки Паспорта в АИС заложен ряд операций. Охарактеризуем их по отдельности в порядке последовательности обработки входных данных. Ресурсные показатели запасов веществ рассчитываются после аппроксимации профильного распределения объемных концентраций с помощью специальных алгоритмов, включающих сплайн-аппроксимацию исходных данных, интерполяцию на 1 м толщ и численное интегрирование в пределах указанной толщи (автор компьютерной программы М.В. Глаголев). В процессе автоматизированной обработки данных для начала осуществляется расчет объемных концентраций ( $C$ ) анализируемых веществ по данным об их массовом содержании и плотности почвы ( $\rho_b$ ) на исследуемых глубинах.  $C$

учетом различий в исходных размерностях определяемых показателей содержания веществ на массу сухой почвы эти расчеты проводятся по следующим формулам:

#### Врезка 1.

<b>ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОБСЛЕДОВАНИЯ ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ ЗЕМЕЛЬНОГО УЧАСТКА «ПАРК 800-ЛЕТИЯ МОСКВЫ»</b>										
- Дата обследования 10.07.2005										
- Административный округ: ЮВАО										
- Район: Марьино										
- Кадастровый номер: 77:09:010546										
- Доминирующий тип функционального назначения участка территории: Б5 (спортивно-рекреационные)										
- Общая площадь земельного участка: 41.5 га										
- Площадь открытых почвенных поверхностей: 32.6 га										
- Площадь запечатанных почвенных поверхностей: 8.2 га										
- Наименование и адрес землепользователя: ГУП «Дирекция парка 800-летия Москвы ; Москва, Марьино 7; Телефон (495) 743-56-48.										
- Наименование и адрес организации-поставщика данных: АНО «Экотерра» 119992, г. Москва, Ленинские горы, Научный парк МГУ, владение 1, строение 77, офис 401А тел./факс: (095) 939-22-84, 939-38-59, E-mail: <a href="mailto:admin@ecoscience.ru">admin@ecoscience.ru</a>										
<b>Характеристика отдельных почв земельного участка:</b>										
- Порядковый №: 1										
- GPS-координаты отбора проб:	<table border="1"> <tr> <td>55°38'24.21"N</td> <td>37°42'30.65"E</td> </tr> <tr> <td>55°38'29.76"N</td> <td>37°44'39.40"E</td> </tr> <tr> <td>55°38'29.77"N</td> <td>37°42'54.51"E</td> </tr> </table>				55°38'24.21"N	37°42'30.65"E	55°38'29.76"N	37°44'39.40"E	55°38'29.77"N	37°42'54.51"E
55°38'24.21"N	37°42'30.65"E									
55°38'29.76"N	37°44'39.40"E									
55°38'29.77"N	37°42'54.51"E									
- Название почвы (тип): урбо-дерново-подзолистая										
- Название функционального элемента участка с типом растительности: парки										
- Доля занимаемой площади: 85 %										
<i>Санитарно-эпидемиологические радиационные и токсикологические показатели с поверхности:</i>										
- Индекс бактерий группы кишечной палочки: 40 кл/г,										
- Индекс энтерококков: 10 кл/г,										
- Патогенные бактерии, в т.ч. сальмонеллы: 0 кл/г,										
- Яйца гельминтов: 0 экз/кг,										
- Содержание нефтепродуктов: 110 мг/кг,										
- 3,4-бензпирен: 0.005 мг/кг,										
- Радиационный фон с поверхности почвы: 0.15 мкЗв/ч,										
- Захламленность поверхности: 10 %										
<i>Послойная характеристика почвы:</i>										
Глубина отбора пробы, см	12	37	59	93						
Гранулометрический (текстурный) состав:	легкий суглинок	легкий суглинок	супесь	средний суглинок						
Плотность почвы, г/см <sup>3</sup>	0.95	1.48	1.55	1.58						
pH водного раствора:	6.8	7.5	7.2	7.1						
Электропроводность насыщенного раствора, дСм/м	1.3	0.9	1.0	0.8						
Содержание общего органического углерода, %	2.2	1.1	0.3	0.5						
Содержание минерального азота. мг/100г	15	22	8	3						
Содержание подвижного фосфора. мг/100г	22	24	11	6						
Содержание подвижного калия мг/100г	48	35	7	4						
Содержание валовых форм тяжелых металлов, мг/кг										
Pb	52	37	28	46						
Cd	1.40	0.55	0.28	0.79						
Hg	0.20	0.13	0.15	0.42						
Zn	415	128	31	55						
As	7.2	4.1	1.5	4.8						



- для загрязняющих веществ с содержанием, выраженным в мг/кг почвы:  $C \text{ (г/м}^3\text{)} = C \text{ (мг/кг)} \cdot \rho_b \text{ (г/см}^3\text{)}$ ;
- для легкорастворимых солей (оценка по электропроводности порового раствора  $E_c$  (дСм/м)):  $C = \text{(г/м}^3\text{)} = 600 \cdot E_c \cdot (1 - \rho_b / 2.6)$  с учетом коэффициента перевода  $E_c$  в твердый остаток и порозности (полной влагоемкости) насыщенной почвы;
- для органического углерода:  $C \text{ (кг/м}^3\text{)} = C \text{ (}\% \text{)} \cdot \rho_b \text{ (г/см}^3\text{)} \cdot 10$ ;
- для минерального азота:  $C \text{ (г/м}^3\text{)} = C \text{ (мг/100г)} \cdot \rho_b \text{ (г/см}^3\text{)} \cdot 10$ ;
- для подвижного фосфора:  $C \text{ (г/м}^3\text{)} = C \text{ (мгP}_2\text{O}_5\text{/100г)} \cdot \rho_b \text{ (г/см}^3\text{)} \cdot 10 \cdot 62/142$
- и подвижного калия:  $C \text{ (г/м}^3\text{)} = C \text{ (мг K}_2\text{O/100г)} \cdot \rho_b \text{ (г/см}^3\text{)} \cdot 10 \cdot 78/94$  с учетом мольной доли элементов в их оксидах.

Далее осуществляется операция сплайн-аппроксимации профильных распределений объемных концентраций анализируемых веществ и интерполяции на всю метровую толщу. После чего посредством численного интегрирования производится оценка запасов веществ в метровой толще. Одновременно АИС рассчитывает запасы в промежуточных слоях почвенной толщи фиксированной мощности 0-10 см, 0-30 см, 0-50 см. По ним осуществляется оценка типа профильного распределения вещества, необходимая для принятия управленческих решений по рекультивации. Для оценки используются логические функции, оперирующие неравенствами: запас 50 см < 0.5 · запас 100 см; «глубокопрофильное»; запас 30 см < 0.5 · запас 50 см; «профильное»; запас 10 см < 0.5 · запас 30 см; «неглубокопрофильное»; «поверхностное». При наличии дефицита или избытка питательных веществ, их значения фиксируются в ходе обработки данных посредством логических конструкций: (запас 100 см < > норма; 0; (норма - запас 100 см)). В качестве граничного значения, маркирующего избыток полезных веществ, условно принимается их утроенная норма.

Важным достижением является использование в АИС дифференцированной системы нормативов качества городских почв в зависимости от их дисперсности (гранулометрического состава) и приуроченности к той или иной функциональной зоне мегаполиса (см. ранее). С данной целью предварительно осуществляется интегральная оценка гранулометрического состава метровой почвенной толщи. Для этого классам гранулометрического (текстурного) состава присваиваются цифровые индексы: 1 – песок, супесь, 2 – легкий и средний суглинок, 3 – тяжелый суглинок, глина, торф, перегной. Таким образом, для каждой глубины отбора проб фиксируется свой индекс. После интерполяции индексов на весь почвенный профиль и их численного интегрирования с помощью приведенного выше алгоритма, получается средневзвешенный индекс всей толщи 0-100 см, который и является основой для выбора системы нормативов, наряду с принадлежностью почвы к той или иной функциональной зоне. Наиболее жесткие требования (ПДК) – норматив 1 устанавливаются для почв с доминирующим в

толще 0-100 см легким гранулометрическим составом, а также для почв участков жилой, общественной и водоохранной зон (А3, Б2, Б5, Б6, Б7, В) по действующему классификатору административно-функционального деления (см. ранее), независимо от гранулометрического состава. Для других почвенных объектов используются принятые ОДК, которые могут превышать ПДК в зависимости от дисперсности (состава) в 2-3 раза.

Для «подключения» той или иной нормативной системы используется компьютерная логика по схеме выбора: «функциональное назначение» = «А3»; норматив1; «функциональное назначение» = «Б2»; норматив1; «функциональное назначение» = «Б5»; норматив1; «функциональное назначение» = «Б6»; норматив1; «функциональное назначение» = «Б7»; норматив1; «функциональное назначение» = «В»; норматив1; интегральный индекс грансостава  $< 1.5$ ; норматив1; интегральный индекс грансостава  $\geq 2.5$ ; норматив3; норматив2, где нормативы 1, 2, 3 – дифференцированные в зависимости от гранулометрического состава и функциональной принадлежности почвы градации (см табл. 5, 6).

Помимо изложенной выше характеристики, АИС производит обычную оценку качества почв с поверхности по общепринятым нормативам биологического, химического и радиационного загрязнения, градациям уплотнения, засоления, кислотности/щелочности и т.д. Значения градаций соответствуют утвержденным в законодательном порядке ПДК (ОДК) для химических веществ в почвах и нормативам биологического загрязнения (СанПиН 2.1.7.128-03, ГН 2.1.7.2041-06, ГН 2.1.7.2042-06) и принятым в науке о почвах величинам для ряда других показателей (табл.7).

После характеристики каждой почвы исследуемого участка производится интегральная оценка состояния *почвенного ресурса всего земельного участка* с учетом доли площади индивидуального типа почв. Если в процессе сравнения с нормативами выявляется какая либо почвенная проблема, АИС выписывает долю площади, занимаемую данной почвой и GPS-координаты точек опробования (взятия точечных проб). Последовательно анализируются:

- опасность радиационного загрязнения (по радиационному фону с поверхности), причем, если даже в одной точке опробования существует превышение фонового значения, всему участку приписывается «подозрение на загрязнение»;
- общее санитарно-эпидемиологическое состояние и загрязнение участка. При этом если хотя бы для одного из исследуемых показателей (патогенные организмы, тяжелые металлы и мышьяк, бензпирен, нефтепродукты) выявлено локальное загрязнение «чрезвычайно-опасной» и «опасной» категории – всему участку приписывается эта категория. Если «умеренно-опасная» категория выявлена на более чем 20% площади участка хотя бы для одного показателя, также всему участку приписывается данный статус. Категория «чистая» присваивается участку,

если более 90% его площади по всем показателям соответствуют этой категории, а остальные 10% – не хуже «допустимого» загрязнения. В оставшихся случаях участку прописывается категория «допустимая» по загрязнению и общему санитарно-эпидемиологическому состоянию.

- угроза здоровью населения (отсутствует при категории участка «чистая», допустимая при категории «слабая», в остальных случаях – сильная угроза здоровью населения);
- доминирующий тип распределения загрязнителя (если суммарная доля площади участка с глубокопрофильными распределениями поллютантов превышает 80% – тип «глубокопрофильное», если сумма долей с профильными и глубокопрофильными распределениями более 80% – тип «профильное», если доля площадей с поверхностными распределениями превышает 80% – тип по участку «поверхностное», в оставшихся случаях – тип распределения «неглубокопрофильное»);
- опасность заражения патогенными организмами, и фиксируются площади и GPS-координаты точек опробования, где хотя бы для одного из четырех исследуемых показателей биологического загрязнения (кишечная палочка, энтерококки, патогенные бактерии, яйца гельминтов) выявлена категория выше «допустимой»;
- геометрические характеристики проблемных территорий по показателям загрязнения органическими поллютантами на поверхности почв (степень загрязнения 3.4-бензпиреном, нефтепродуктами) по аналогии с предыдущей позицией биологического загрязнения;
- степень захламленности (по критериям: 0-10% - нет захламления, 10-50% - захламление,  $\geq 50\%$  - мусорная свалка);

Далее оцениваются средняя плотность почвы, электропроводность и рН порового раствора для корнеобитаемого слоя 0-20 см. Данные интерполируются на слой 0-20 см и после численного интегрирования по глубине и деления на 20 узнаются средние характеристики. По ним производится оценка степени уплотнения, засоления и кислотности/щелочности почв участка, согласно градациям табл. 7. После чего компьютер выявляет участки с соответствующими почвенными проблемами (уплотнение, засоление, неблагоприятная реакция среды) в структуре территории и выписывает GPS - координаты точек опробования, где та или иная проблема обнаружена.

Далее формируются сводные по участку таблицы ресурсной характеристики по запасам позитивных и негативных веществ, а также рассчитывается ряд интегральных показателей состояния участка в целом:

- биоресурсный потенциал участка (сумма отношений текущих запасов позитивных веществ ( $C_{орг}, N, P, K$ ) к нормативным запасам (табл. 7) в пропорциях площадей данного почвенного выдела от общей площади открытых поверхностей участка). Во избежание стимула завысить биоре-

сурсный потенциал участка минеральными удобрениями, отношение «реальные запасы»/«норма» для любого элемента фиксируется если оно меньше 1, а в остальных случаях ( $\geq 1$ ) ему присваивается значение 1, не зависимо от кратности превышения норматива. В результате суммарный индекс биоресурсного потенциала участка ( $\Sigma БП$ ), взвешенный по площадям индивидуальных почвенных выделов не превышает в идеале 1. При его равенстве 0.5 и меньше, участок характеризуется низким биоресурсным потенциалом. Высокий потенциал при значениях индекса от 0.8 до 1. В оставшихся случаях биоресурсный потенциал участка считается «средним»;

– суммарный недостаток элементов по участку (кг) – общая масса недостатка (разницы между нормативным и текущим запасом) того или иного элемента (С, N, P, K) на участке рассчитывается как («недостаток1»·«доля1»+«недостаток2»·«доля2»+«недостаток3»·«доля3»+...) $\cdot S_{\text{п}}$ , где  $S_{\text{п}}$  – общая площадь открытых поверхностей с «долями» индивидуальных почвенных выделов;

– суммарный индекс загрязненности почв (рассчитывается по формуле:  $\Sigma ЗВ = (P/H_1 + P/H_2 + P/H_3 + \dots) / m$ , где  $P/H$  – отношение текущего запаса данного загрязнителя к нормативному,  $m$  – число проанализированных загрязнителей). Для позитивных элементов (N,P,K) и солей участие в данной таблице возможно лишь в том случае, если выявляется их избыток (то есть более чем утроенная норма для N,P,K и  $500 \text{ г/м}^2$  для солей электролитов). Если такового нет, позиции N,P,K и соли не заполняются, и соответственно уменьшается число  $m$ .

– интегральный индекс загрязненности участка (рассчитывается по формуле:  $\Sigma ЗУ = \Sigma ЗВ_1 \cdot \text{доля}_1 + \Sigma ЗВ_2 \cdot \text{доля}_2 + \Sigma ЗВ_3 \cdot \text{доля}_3 + \dots) / 100$ ). Для почв, где  $P/H > 1$ , выписываются GPS – координаты точек опробования;

– показатель «экологического баланса» участка (расчет осуществляется по формуле  $\Theta = \Sigma БП - \Sigma ЗУ$ ). Поскольку условный биоресурсный потенциал участка не может превышать единицу, итоговый «баланс» в идеале может быть нулевым, а при загрязнении почв – отрицательным. Численные эксперименты с характеристиками при варьировании долей площадей загрязненных почв и индексов загрязненности показали, что границе состояния «деградации» можно присвоить значение баланса  $-0.5$ . Таким образом, если  $\Theta < -0.5$  – на участке диагностируется деградация почвенных ресурсов, а при  $-0.5 \leq \Theta \leq 1$  – норма;

– степень риска для пограничных сред. Условно, если интегральный индекс загрязненности участка  $\Sigma ЗУ \geq 2$  (по всему участку доминирует двукратное превышение ПДК и более) степень риска для пограничных сред (воды, атмосферы) оценивается как «сильная». При  $\Sigma ЗУ \leq 1$  риск «отсутствует», а в оставшихся случаях ( $1 < \Sigma ЗУ < 2$ ) диагностируется «слабая» степень. При этом в оценку уже заложена дифференциация почв по функциональным зонам и дисперсности (гранулометрии) исходным выбором сис-

темы нормативов и, соответственно допустимых уровней содержания загрязняющих веществ и солей (удобрений), согласно таблицам 5,6.

Для принятия *управленческих решений* по участку осуществляется автоматизированный выбор технологий из БД по методам обработки и рекультивации городских почв. Технологические рекомендации подразделяются на собственно технологии ремедиации почв и превентивные меры. Подбор осуществляется в зависимости от выявленной почвенной проблемы с использованием кодировок технологий (см. табл.8).

В автоматическом режиме оценивается ориентировочная стоимость реализации той или иной технологии с учетом цены для единицы площади(массы почвогрунта) и площади участка с выявленной проблемой. Для стоимостной оценки осуществляются следующие расчеты:

- производится оценка мощности рекультивируемого слоя (h): по доминирующему типу распределения загрязнителя: «Поверхностное» – 10см, «Неглубокопрофильное» – 20 см, «Профильное» – 30 см, «Глубокопрофильное» – 50 см;
- осуществляется ориентировочная оценка стоимости обработки и рекультивации почв (Ст):

Для расценок по площади:  $Ст=100 \cdot Ц \cdot S \cdot \text{доля } \%$ ,  
где Ц – цена обработки 1м<sup>2</sup> площади,

S – площадь открытых почв участка, га,  
доля % – доля площадей почв с данной проблемой от S в %.

Для расценок по массе почвы: осуществляется расчет массы почвы, подлежащей рекультивации (т):  $M=100 \cdot \rho_b \cdot h \cdot S \cdot \text{доля } \%$ ,  
где h– мощность рекультивируемого слоя в см,

$\rho_b$  – плотность почвы, (г/см<sup>3</sup>),  
S– площадь открытых почв участка, га,  
доля% –доля площадей почв с данной проблемой от S в %.

Расчет стоимости:  $Ст=Ц \cdot M$ , где Ц – цена обработки 1т почвы.

### Пример работы АИС

Рассмотрим приведенные ниже результаты ресурсной оценки почв тестового участка – территория «Парк 800-летия Москвы» (до коренной рекультивации), входные данные обследования которого частично были представлены в разделе 1.

## **ВЫХОДНАЯ ИНФОРМАЦИЯ АИС ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ РЕСУРСОВ ЗЕМЕЛЬНОГО УЧАСТКА «ПАРК 800-ЛЕТИЯ МОСКВЫ» ПРАВИТЕЛЬСТВО МОСКВЫ**

Департамент Природопользования и Охраны Окружающей Среды

Паспорт почв земельного участка г. Москвы, Инв.№ 200700002

Кадастровый номер: 77:09:010546

Административный округ: ЮВАО

Район: Марьино

Тип функционального назначения территорий участка: *спортивно-рекреационные*

Общая площадь участка: *41.5 га*

Площадь открытых почв участка: *32.6 га*

Площадь запечатанных почв участка: *8.2 га*

Радиационное загрязнение: *не выявлено*

Общее санитарное состояние территории: *опасное*

Общее экологическое состояние почвенного ресурса участка: *деградация*

Угроза здоровью населения: *сильная*

Степень экологического риска для пограничных сред: *слабая*

Организация, выполнившая обследование: *АНО «Экотерра» (подпись, печать)*

Землепользователь: *ГУП «Дирекция парка 800-летия Москвы» (подпись, печать)*

Согласовано: *Департамент земельных ресурсов г. Москвы (подпись, печать)*

Дата выдачи: *10. 07. 2005 г.*

Действителен до: *10. 07. 2015 г.*

Без приложений А-М – недействителен

### Ресурсные характеристики:

#### - А. Типы доминирующих почв и их экологическое состояние

Название, грансостав, приуроченность к функциональному элементу участка	Доля %	Биоресурсный потенциал	Негативные техногенные и санитарно-эпидемиологические факторы		
			Степень уплотнения	Степень засоления	Категория загрязнения
урбо-дерново-подзолистая, суглинок, скверы	85	высокий	норма	норма	умеренно-опасная
урбанозем, суглинок прибрежные газоны и открытые поверхности	10	высокий	слабое	норма	умеренно-опасная
урбанозем суглинок, придорожные газоны и цветники	5	высокий	сильное	норма	опасная

#### - Б. Опасность радиационного заражения (по радиационному фону с поверхности):

	Нет загрязнения	Подозрение на загрязнение	GPS
Доля, %	100	0	

#### - В. Опасность заражения патогенными организмами

	Нет заражения	Заражение	GPS	
Доля, %	0	100	55°38'24.21"N	37°42'30.65"E
			55°38'29.76"N	37°44'39.40"E
			55°38'29.77"N	37°42'54.51"E
			55°38'27.88"N	37°44'30.81"E
			55°38'29.02"N	37°43'11.93"E
			55°38'25.98"N	37°42'45.73"E
			55°38'32.78"N	37°44'46.65"E

			55°38'35.00"N	37°43'27.44"E
			55°38'32.98"N	37°42'26.11"E

**- Г. Степень загрязнения 3.4-бензпиреном**

	Нет загрязнения	Загрязнение	GPS	
доля, %	95	5	55°38'32.78"N	37°44'46.65"E
			55°38'35.00"N	37°43'27.44"E
			55°38'32.98"N	37°42'26.11"E

**- Д. Степень загрязнения нефтепродуктами**

	Нет загрязнения	Загрязнение	GPS
Доля, %	100	0	

**- Е. Степень захламленности**

	Нет захламления	Захламление	GPS	
Доля, %	0	100	55°38'24.21"N	37°42'30.65"E
			55°38'29.76"N	37°44'39.40"E
			55°38'29.77"N	37°42'54.51"E
			55°38'27.88"N	37°44'30.81"E
			55°38'29.02"N	37°43'11.93"E
			55°38'25.98"N	37°42'45.73"E
			55°38'32.78"N	37°44'46.65"E
			55°38'35.00"N	37°43'27.44"E
			55°38'32.98"N	37°42'26.11"E

**- Ж. Степень засоления почв**

Степень засоления	Доля %	GPS	
незасоленные	95		
очень слабо засоленные	5	55°38'32.78"N	37°44'46.65"E
		55°38'35.00"N	37°43'27.44"E
		55°38'32.98"N	37°42'26.11"E
слабозасоленные	0		
среднезасоленные	0		
сильнозасоленные	0		
очень сильно засоленные	0		

**- З. Степень кислотности/щелочности почв**

Степень кислотности/щелочности	Доля %	GPS	
очень сильно кислые	0		
сильно кислые	0		
кислые	0		
нейтральные	95		
щелочные	5	55°38'32.78"N	37°44'46.65"E
		55°38'35.00"N	37°43'27.44"E
		55°38'32.98"N	37°42'26.11"E
избыточно щелочные	0		

**- И. Степень уплотнения участка**

Степень уплотнения	Доля %	GPS	
нет уплотнения	85		
слабое уплотнение	10	55°38'27.88"N	37°44'30.81"E
		55°38'29.02"N	37°43'11.93"E
		55°38'25.98"N	37°42'45.73"E
среднее уплотнение	0		
сильное уплотнение	5	55°38'32.78"N	37°44'46.65"E
		55°38'35.00"N	37°43'27.44"E
		55°38'32.98"N	37°42'26.11"E
очень сильное уплотнение	0		

**- К. Позитивные ресурсные компоненты (сводная таблица)**

№	Название, приуроченность к функциональному элементу участка	Доля %		Запасы веществ				GPS
				Сорг. кг/м <sup>2</sup>	N г/м <sup>2</sup>	P г/м <sup>2</sup>	K г/м <sup>2</sup>	
1	урбо-дерново-подзолистая суглинок, скверы	85	P	12.4	122.9	76.8	210.0	55°38'24.21"N 37°42'30.65"E 55°38'29.76"N 37°44'39.40"E 55°38'29.77"N 37°42'54.51" E
			H	8.0	80.0	120.0	160.0	
2	урбанозем, лег. суглинок, скверы	10	P	11.4	160.7	96.4	235.6	55°38'27.88"N 37°44'30.81"E 55°38'29.02"N 37°43'11.93"E 55°38'25.98"N 37°42'45.73"E
			H	8.0	80.0	120.0	160.0	
3	урбанозем суглинок придорожн. газоны и цветники	5	P	13.5	83.2	137.1	355.1	
			H	8.0	80.0	120.0	160.0	
суммарный недостаток элементов по участку (кг)				0	0	12 748	0	

**- Л. Негативные ресурсные компоненты (сводная таблица)**

№	Название, приуроченность к функциональному элементу участка	доля %		запасы загрязняющих веществ, г/м <sup>2</sup>						GPS
				Pb	Cd	Hg	Zn	As	соли	
1	урбанозем, лег. суглинок, скверы	85	P	55.0	1.0	0.3	197.5	5.8		55°38'24.21"N 37°42'30.65"E 55°38'29.76"N 37°44'39.40"E 55°38'29.77"N 37°42'54.51" E
			H	50.0	1.0	3.0	80	3.0		



2	урбанозем, лег. суглинок, прибрежные газоны и открытые поверхности	10	P	63.6	1.3	0.4	162.8	5.2		55°38'27.88"N 37°44'30.81"E
			H	50.0	1.0	3.0	80	3.0		55°38'29.02"N 37°43'11.93"E 55°38'25.98"N 37°42'45.73"E
3	урбанозем, лег. суглинок, придорожные газоны и цветники	5	P	104.3	1.8	0.4	386.5	4.8	503	55°38'32.78"N 37°44'46.65"E
			H	50.0	1.0	3.0	80	3.0	500	55°38'35.00"N 37°43'27.44"E 55°38'32.98"N 37°42'26.11"E

**- М. Управленческие решения по земельному участку (оптимальные технологии и ориентировочная стоимость)**

Выявленная почвенная проблема, меры по устранению	Коды технологий	Ориентировочная стоимость по участку (руб)
<i>Заражение патогенными организмами</i>		
Рекультивация	A6, B1, Г1,	652000
Превентивные меры	A3,A5,A7,A8, A12, Г2,Г4	391200
<i>Загрязнение 3,4-бензпиреном</i>		
Рекультивация	A12, B3, B4, B5, B6, B9, B1, B4, B6, Г1	1222500
Превентивные меры	A1, A2, A4, A5, B2, Г2, Г4	48900
<i>Захламление поверхности</i>		
Рекультивация	A5	4890000
Превентивные меры	A3, Г2,Г4	9780000
<i>Засоление почв</i>		
Рекультивация	A19,B1,B3,B4,B6	48900
Превентивные меры	A2,A4,A5,A8,B2,Г2,Г4	16300
<i>Закисление/защелачивание</i>		
Рекультивация	A10	65200
Превентивные меры	A1,A2,A8	19560
<i>Уплотнение</i>		
Рекультивация	A1,A2,A8,A12	489000
Превентивные меры	A3,Г2	1467000
<i>Недостаток элементов питания</i>		
Рекультивация	A1,A2,A8,A12	277100
Превентивные меры	A3,Г2	332520
<i>Загрязнение тяжелыми металлами и мышьяком</i>		
Рекультивация	A1,A2,A8,A12	3260000
Превентивные меры	A3,Г2	391200

Резюмируя раздел, можно заключить, что система ресурсной оценки почв земельных участков г. Москвы и АИС для проведения инвентаризации почвенных ресурсов позволяют дать объективную и оперативную информацию по качеству и количеству городских почвенных ресурсов, а

также подобрать в автоматическом режиме оптимальные управленческие решения по участку с рекомендациями ответственным землепользователям и задействованным в сфере экологического сервиса организациям. Не менее важным следствием внедрения дифференцированных по функциональным зонам критериев и нормативов качества городских почвенных объектов является перевод системы управления экологическим состоянием и функциями почв в городе на уровень стандартов, принятых в современной мировой практике, при сохранении отраженных в федеральном законодательстве России высоких требований к качеству почв.

Вместе с тем, как уже отмечалось, одной лишь ресурсной оценки, отражающей достаточно стабильные характеристики преимущественно твердой фазы, недостаточно. Для выполнения почвами их экологических функций не менее важным фактором являются *почвенные режимы* (температурный, водно-воздушный, солевой, кислотно-щелочной, биологической активности и т.д.), связанные с мобильными фазами (флюидами), физическими полями и, конечно, живыми организмами почв, как сложных биокосных систем в потоках веществ, энергии и информации.

### *Экологическая оценка и нормирование почвенных режимов в городских условиях*

#### Мониторинг гидротермических характеристик почв на базе программируемых микроэлектронных сенсоров

Программируемые электронные датчики «термохрон» и «гигрохрон» – новейшие электронно-технические средства так называемого скрытого экологического автоматического мониторинга наиболее важных физических параметров окружающей среды – температуры и влажности. Перечень и краткая характеристика наиболее подходящих для экологического мониторинга разновидностей таких датчиков содержатся в табл. 9.

Таблица 9. Характеристика электронных датчиков «термохрон» и «гигрохрон» для мониторинга гидротермических параметров.

Кодировка датчика	Диапазон температур, °С	Точность, °С	Разрешающая способность, °С	Количество записанных значений	Минимальная периодичность считывания
DS1921G	-40 – +85	1	0.5	2048	1 мин
DS1921Z-F5	-5 – +26	1	0.125	2048	1 мин
DS1922L	-40 – +85	0.5 (ПК)	0.5 или 0.0625	8192 или 4096	1 сек
DS1922T	0 – +125	0.5 (ПК)	0.5 или 0.0625	8192 или 4096	1 сек
DS1923* «гигрохрон»	-20 – +85	0.5 (ПК)	0.5 или 0.0625	8192 или 4096	1 сек

(ПК) – программная коррекция

\*Измеряет так же влажность от 0 до 100% с разрешением 0.6 либо 0.04% и погрешностью не более чем  $\pm 3\%$ , нормируемая величина температурной погрешности не более  $\pm 1^\circ\text{C}$ . Стоимость датчиков – от 600 руб. (2007 г)

Как видно, с помощью датчиков возможно проведение мониторинга температуры и относительной влажности воздуха объектов окружающей среды с высокой точностью и оперативностью при небольшой стоимости оборудования. При этом в отличие от традиционных технологий контроля, требующих постоянного или периодического присутствия на опытных площадках исследователя, данная разработка позволяет осуществлять мониторинг полностью автоматически без каких либо коммуникаций со стационарной базой. Датчики программируются посредством поставляемой разработчиком компьютерной программы на определенный интервал (частоту) измерений для заданного периода мониторинга и помещаются в исследуемую среду. По прошествии этого периода их необходимо извлечь, присоединить через COM- или USB-порт к компьютеру и считать накопленную информацию за весь срок наблюдений.

С целью оценки влияния температурного режима почв на состояние городской растительности можно воспользоваться следующей системой градаций, разработанных для условий г. Москвы (табл. 10). При этом удобно использовать метод частотных распределений мониторинговых показателей, наглядно демонстрирующий вероятность проявления тех или иных значений за исследуемый период на соответствующей территории (Смагин и др., 2006). При этом общая выборка данных ранжируется по характерным классам (градациям из таблицы 10) и для каждого класса температурных градаций рассчитывается вероятность попадания в него значения исследуемого показателя (температуры). В качестве примера приведем данные мониторинга температурного режима в м-рне Куркино за 2003-2004гг, обработанные таким способом во времени и по разным функциональным элементам территории (рис.6). Анализ данных показывает, что в течение вегетационного сезона вероятность благоприятного периода с повышенной теплообеспеченностью (15-20 °С) варьировала в диапазоне 18-24% независимо от антропогенной нагрузки на почвенный покров. Неблагоприятных температурных условий в почвах не возникало, и вероятность появления температур верхнего 5см слоя почвы выше 20°С составила 0.05-0.3% (2-6 раз за 1900 случаев измерений). При этом температура воздуха достигала экстремально больших величин (28-38 °С) в 2-3% случаев измерений. Аналогичным образом за холодный период, несмотря на оттепели с положительной температурой воздуха и сильные морозы до -20-25 °С, температура почвы оставалась стабильно близкой к точке замерзания (0- -0.5 °С). То есть по отношению к холоду, равно как и к теплу почва имела большой запас буферности, позволяющий сглаживать неблагоприятные внешние воздействия.

Таблица 10. Нормативы температурного режима почв и грунтов в связи с проблемой озеленения территорий г.Москвы (по (Смагин и др., 2006))

Показатель, обозначение, единицы измерения, метод определения:	Градации:	Комментарии (влияние на плодородие почв, окружающую среду, растительность):
Температура почвы (для верхнего - 20см слоя), °С, метод программируемых датчиков «термохрон» и «гигрохрон»	< - 2 весьма низкая температура	Почва проморожена, биологическая активность подавлена, возможна гибель корневых систем и почвенных организмов
	-2 - 0 –низкая	Почва проморожена, или содержит незамерзшую влагу с высоким осмотическим давлением, слабая биологическая активность микрофлоры, анабиоз растений
	0-5 –холодная	Оттепель, оттаивание почвы, прорастание семян и луковиц (злаки, бобовые, зонтичные, луковичные), активизация микрофлоры
	5-10 – умеренно холодная	Прогрев почвы, прорастание теплолюбивых культур, активизация почвенной фауны.
	10-15 –умеренно теплая	Достаточная теплообеспеченность почвы, умеренная биологическая активность и рост растительных культур.
	15-20 – теплая	Повышенная теплообеспеченность; активизация испарения и иссушения почвы, нормальная биологическая активность и рост при достатке влаги.
>20 – высокая температура	Весьма высокая температура почвы, возможна засуха и снижение биологической активности и фотосинтеза.	

Однако стоит отметить, что в холодный период проявились отличия, связанные с приуроченностью почвы к той или иной функциональной зоне. В рекреационной зоне (пойма р. Сходня, парк «Березовая роща») с естественным почвенным покровом, температура верхнего 5см слоя почвы не снижалась за ноль градусов в течение всей зимы, а в более глубоких слоях 10-20см была положительной (0.5-1 °С). Антропогенно-нарушенные почвы и реплантоземы новостроек (3-5мр-ны) промерзали до -0,5 °С в верхней 5см части начиная с конца декабря, и в слое 10-20 см – с первой декады января, стабильно оставаясь в таком состоянии вплоть до начала апреля, несмотря на многочисленные оттепели. Причиной таких отличий служат, по-видимому, нарушение естественного рыхлого сложения почвы и небольшой снеговой покров (вплоть до его отсутствия) на урбанизированной территории. Заметим, что длительное промерзание почвы может негативно сказываться на состоянии зеленых насаждений и в первую очередь – газонов и цветников с неглубокой корневой системой растений.

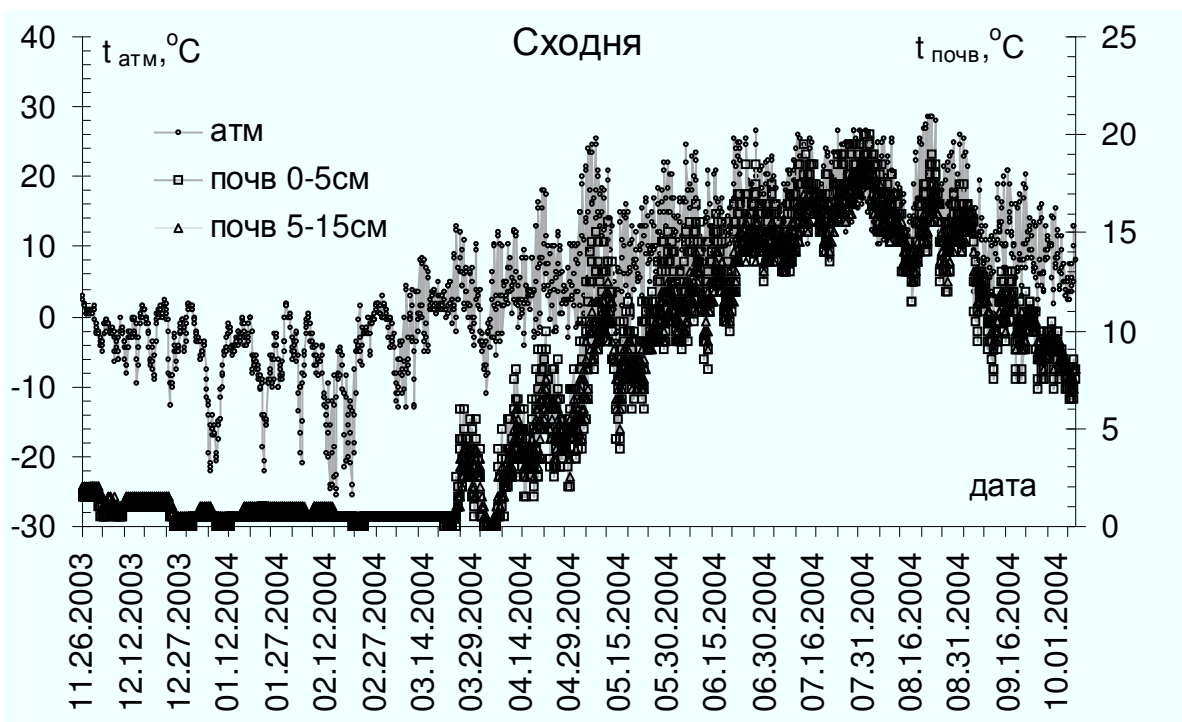
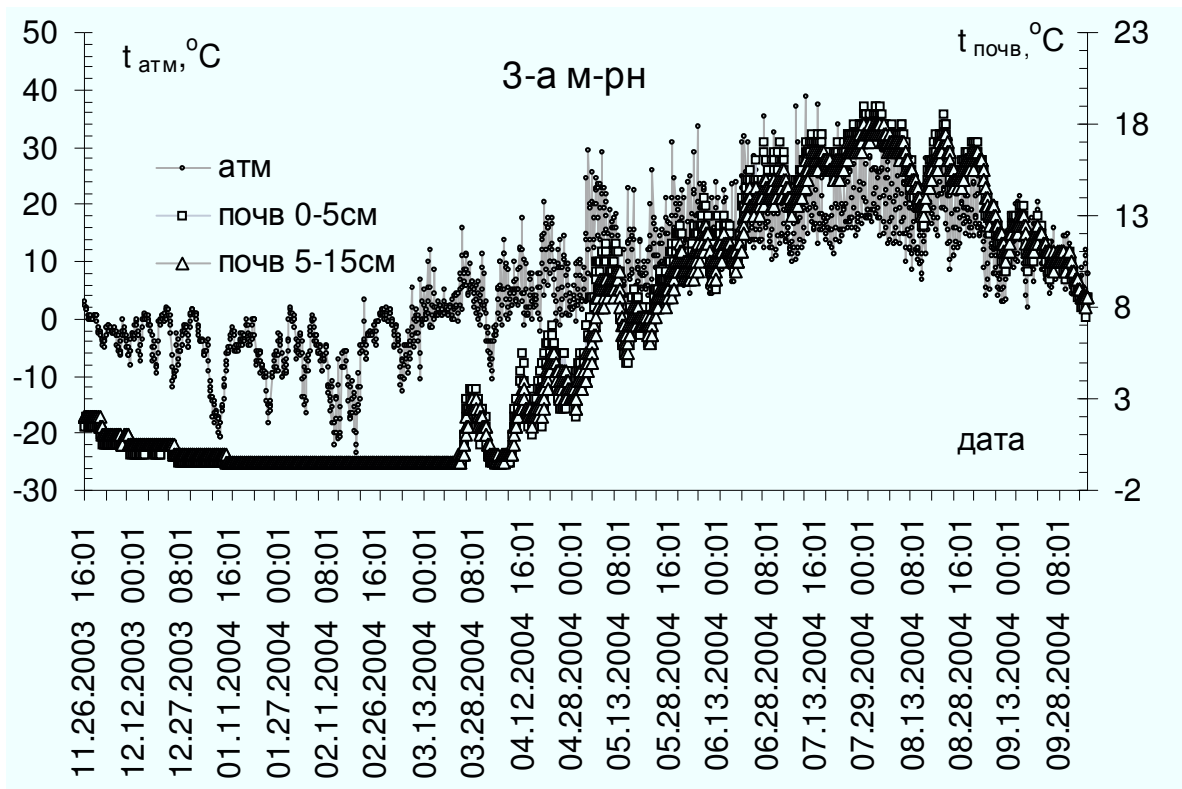


Рис.6. Фрагменты экологического мониторинга температурного режима почв в мр-не Куркино (2003-2004 гг.)

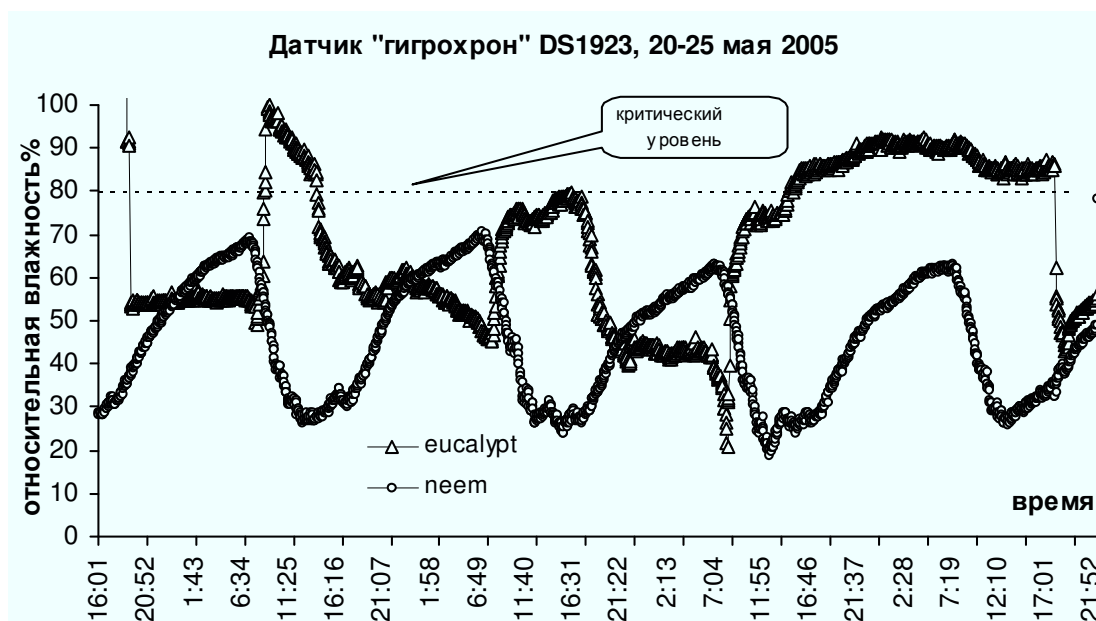


Рис.7. Мониторинг относительной влажности почвенного воздуха (резиденция «Сахир», королевство Бахрейн 2005 г.)

Еще один пример (рис. 7) относится к аридным условиям (королевство Бахрейн, Персидский залив, 2005 г.), где с помощью программируемых электронных датчиков «гигрохрон» DS-1923 осуществлялся скрытый контроль гидротермического режима орошаемых почв под древесными культурами на закрытом для посещения объекте (королевская резиденция «Сахир»). Целью мониторинга было выяснить причину угнетения роста отдельных деревьев на фоне в целом хорошего состояния, посаженных по российской технологии древесных культур с использованием оригинального почвomodификатора «Arid Grow» (Смагин, 2006, Смагин и др., 2006). Как видно из иллюстрации (рис.7), причиной угнетения роста дерева «неем» является недостаток поливной влаги и соответственно, перегрев поверхности почвы. По сравнению с соседним, хорошо чувствующим себя эвкалиптом, это растение явно усыхало, как оказалось по причине неисправности поливного устройства. Таким образом, использование датчиков «гигрохрон» позволило оперативно выявить и в дальнейшем устранить причину угнетения роста дорогостоящих древесных посадок на ответственном объекте без присутствия непосредственных наблюдателей.

#### Мониторинг водно-воздушного режима городских почв с использованием гравиметрии

Водно-воздушный режим является наиболее значимым в определении функционирования городских почв, и в частности, в поддержании роста зеленых насаждений. Недостаток влаги в засушливые сезоны, или воздуха - в периоды повышенного увлажнения (затопления) почв, приводит к гибели растительности независимо от уровня загрязнения или обеспечен-

ности почв элементами минерального питания и органикой. Для количественной характеристики этого режима удобно использовать *показатель степени насыщенности почвы влагой (W/Ws)*, представляющий собою долю пор, занятую влагой от общей пористости (водовместимости) или так называемой влажности насыщения (Ws) (Смагин и др., 2006). Показатель безразмерен и варьирует от 0 до 1.

Для экологического нормирования данного показателя были разработаны соответствующие градации, дифференцированные в зависимости от дисперсности (гранулометрического состава) и, соответственно, водоудерживающей способности различных почв и почвенных материалов (табл. 11). Выделение градаций показателя W/Ws в зависимости от дисперсности почв и грунтов основано на фундаментальной теории физического состояния почв и многочисленных экспериментах по термодинамической оценке их водоудерживающей способности (Смагин, 2003, Смагин и др., 1999, 2006). Как видно из таблицы, недостаток воздуха и, соответственно, анаэробизис практически во всех почвах возникает при заполненности пор влагой на 85-90%, тогда как недостаток влаги четко дифференцирован. В зависимости от дисперсности и в тонкодисперсных тяжелых почвах даже значительные запасы влаги в 30-40% от максимального влагосодержания могут быть недоступны растениям, и их снижение до указанных критических величин будет вызывать гибель зеленых насаждений.

Таблица 11. Нормативы водно-воздушного режима почв и грунтов в связи с проблемой озеленения городских территорий (Смагин и др., 2006)

Показатель, обозначение, единицы измерения, метод определения:	Градации:				Комментарии (влияние на плодородие почв, окружающую среду, растительность):
	Пески:	Супеси, торфа:	Легкие и средние суглинки:	Тяжелые суглинки и глины:	
Степень насыщенности почвы влагой, W/Ws:					Различия в градациях в зависимости от вида почв и грунтов
W- влажность почвы (запасы влаги),	>0,85-0,9	>0.85-0.9	>0.85-0.9	>0.85-0.9	Высокие непродуктивные потери влаги (сток, испарение), угнетение роста из-за переувлажнения
Ws-полная влагоемкость	0.2-0.85	0.4-0.85	0.5-0.85	0.6-0.85	Оптимум для растений, но остаются высокие непродуктивные потери влаги и часто неблагоприятны технологические свойства.
Гравиметрический или диэлькометрический методы	0.05-0.3	0.15-0.4	0.3-0.5	0.4-0.6	Доступная для растений влага при невысоких непродуктивных потерях
	<0.05	<0.1-0.15	<0.2-0.3	<0.3-0.4	Недоступная влага, гибель растений

Обратимся к возможным инструментальным методам мониторинга этого показателя. Несмотря на уникальные технические характеристики, датчики «гигрохрон», к сожалению, нельзя использовать для контроля полевой влажности почв и грунтов в обычных гумидных условиях и они могут функционировать лишь в условиях засушливого климата при влажности почвы ниже максимальной гигроскопии (рис. 7) (Смагин, 2005). Для влажных почв равновесная влажность почвенного воздуха, регистрируемая «гигрохроном», всегда будет близка к 100%, поскольку уже при максимальной гигроскопии, то есть в сухой на ощупь почве, равновесная влажность почвенного воздуха составляет 98%.

Для оценки полевой влажности капиллярно-пористых сред и материалов, а также ее пространственной вариабельности можно порекомендовать *индуктивные влагомеры и диэлькометры* (Смагин и др., 2006). Однако эти приборы дают косвенную оценку содержания влаги в почве, нуждаются в постоянной калибровке и чаще всего имеют высокую стоимость (зарубежные производители). Значительно более простой способ мониторинга водно-воздушного режима корнеобитаемого слоя почв под газонной растительностью базируется на *гравиметрии* в полевых условиях. Рассмотрим его на примере исследования искусственных почв Московского зоопарка (Смагин, Шоба, Макаров, 2008). Монолит корнеобитаемого слоя с газонной травой помещается на тонкую перфорированную пластину, в которой вмонтированы держатели для крепления электронных весов с подвесом (ТН-312, Tsinghua Co., Ltd, Китай) с точностью 0.01 кг. Периодически (1 раз в сутки) пластина с монолитом взвешивается, для чего ее механически приподнимают от поверхности почвы. По данным об исходной влажности почвы в момент закладки эксперимента и массе корнеобитаемого слоя легко найти массу абсолютно сухой почвы и рассчитывать текущую влажность (запасы влаги) и, соответственно индекс  $W/W_s$ .

Результаты мониторинга за двухлетний период приведены на рис. 8. Для исследуемого класса почв по гранулометрическому составу состояние переувлажнения соответствует  $W/W_s > 0.9$ , засухи почвы  $W/W_s < 0.3$  (табл.11). Мониторинг водно-воздушного режима корнеобитаемого слоя по степени насыщенности влагой (величина  $W/W_s$ ) показал, что в течение вегетационного периода 2006 года большинство значений (66 %) лежит в пределах оптимума. В 10 % случаев нами был отмечен недостаток влаги, но не значительный, а в 24 % случаев наблюдалось переувлажнение. Данные за более сухой вегетационный период 2007 года следующие: 55 % значений лежат в пределах оптимума, в 38 % случаев наблюдался недостаток влаги и 7 % – в зоне переувлажнения (рис. 8). Сезонное уменьшение количества влаги в период дефицита осадков, по-видимому, характерно для городских почв Москвы (Смагин и др., 2006). Поэтому для газонов и цветников с неглубокой корневой системой необходима организация периодических поливов и запрещение скашивания фитомассы в такое время, во из-



бежание необратимого увядания, а для особо ответственных объектов в центре города вообще целесообразно устанавливать стационарные ирригационные системы с поливом дождеванием (газоны) или капельно-струйным орошением (цветники, ценные древесные солитеры).

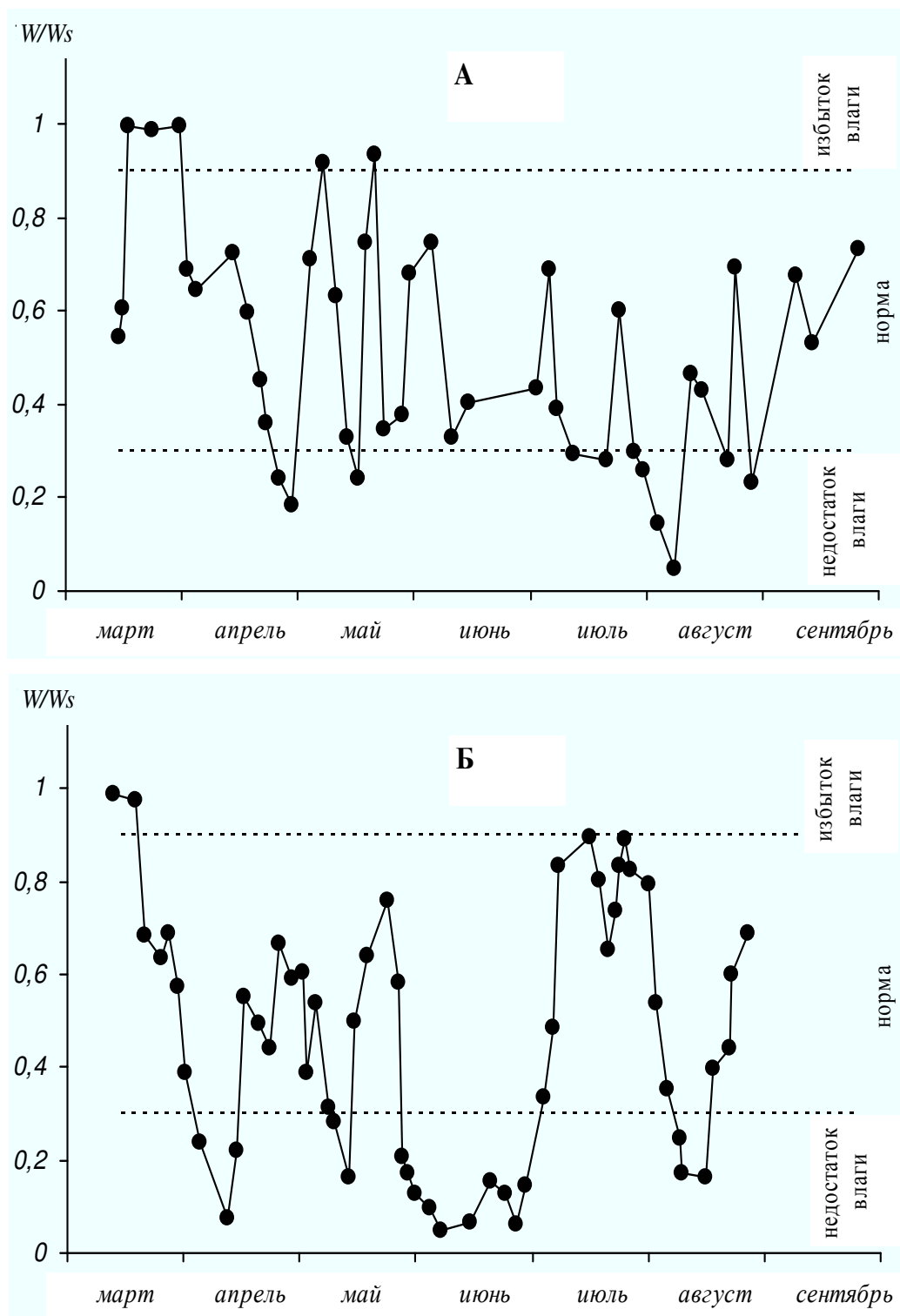


Рис.8. Мониторинг водно-воздушного режима почв Московского зоопарка под газонной растительностью А- 2006 г., Б-2007 г

## Мониторинг солевого и кислотнo-щелочного режимов городских почв на базе портативных кондуктометров-pH-метров

В связи с кардинальной для городских условий проблемой засоления почв и грунтов растворимыми веществами-электролитами (противогололедными средствами, минеральными удобрениями), предложено использовать интегральный физический показатель – электропроводность порового раствора (см. ранее). Экспрессную оценку засоленности почв, качества и доступности влаги растениям по электропроводности ирригационных вод, почвенных растворов и паст удобно проводить на базе портативных кондуктометров.

Техника измерений сводится к двум последовательным процедурам – помещению встроенных в корпус электродов в раствор и снятию отсчета значений электропроводности (или других измеряемых параметров) с электронного дисплея прибора после нажатия кнопки энергопитания. Для получения результатов относительно насыщенного порового раствора (нормативные величины) достаточно измерить  $E_c$  почвенной суспензии в дистиллированной воде (обычно разведение 1:5) и поправить полученный результат на отношение  $500/W_s$ , где  $W_s$  – полная влагоемкость образца (см. выше). Синхронно определяется pH раствора.

На иллюстрации приведены примеры экологической оценки засоления городских почв аридных и гумидных ландшафтов с помощью кондуктометров (рис.9). Интересно отметить, что техногенное засоление, вызванное применением противогололедных реагентов-электролитов в условиях мегаполиса Москвы (гумидный климат) достигает в отдельных случаях уровня, свойственного аридным территориям (более 4 и до 20-30 дСм/м), где засоление почв и вод является природным бедствием. Именно этот фактор, и лишь потом техногенное загрязнение атмосферы и почв, вызвал массовую гибель и низкую приживаемость растительности в г. Москве в конце 90<sup>х</sup> годов – начале нового века.

Нормативы кислотнo-щелочного режима почв, оцениваемого показателем pH при помощи стандартных потенциометрических методик и лабораторных или полевых pH-метров, приводятся в таблице 7. Ниже содержится иллюстрация подобной оценки с использованием способа вероятностных распределений для реплантоземов м-рна Куркино г. Москвы (рис. 11). По данному показателю нарушений режима выявлено не было, по-видимому, в связи с малым сроком существования новых реплантоземов после ввода в эксплуатацию микрорайона. Однако для центральных районов мегаполиса и объектов вдоль автодорог, частично в селитебной зоне, где активно применяются противогололедные средства, накапливается строительная пыль, весьма часто отмечается сдвиг pH в щелочную область с соответствующим угнетением растительности, зооценоза и микрофлоры почв.

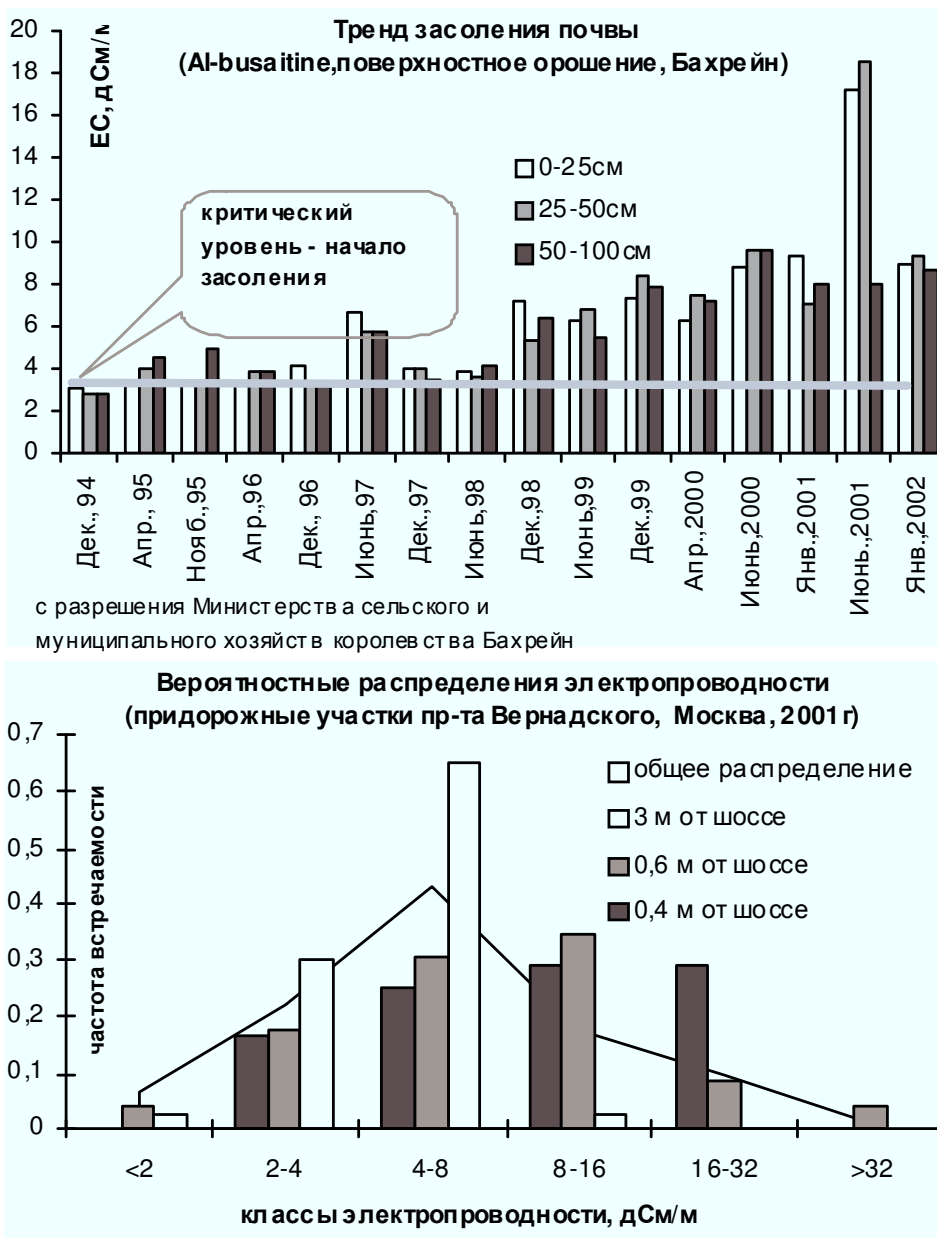


Рис.9. Экологическая оценка засоления почв кондуктометрическим методом

Мониторинг биологической активности городских почв с инструментальной оценкой по дыханию

Заключительный мониторинговый критерий оценивает потенциальную биологическую активность почвы, а значит и эффективность ее функционирования, по величине дыхания (поглощения кислорода) в стандартизованных условиях биологического оптимума (температура 25-30°C, влажность – (0.7-0.8)Ws) (Смагин, 2005). Выбор последних основан на предварительных массовых экспериментах по анализу кинетики биодеструкции органического вещества в различных термодинамических условиях (Смагин, 2005, Смагин и др., 2001). Определение дыхания по поглощению кислорода предпочтительнее по сравнению с традиционными методами

оценки по выделению  $\text{CO}_2$ , поскольку этот газ в отличие от  $\text{O}_2$  хорошо растворяется в почвенной влаге и сорбируется, что приводит к занижению показателя биологической активности. Также рекомендуется определять дыхание не в свежих, а в воздушно-сухих образцах, увлажняемых в ходе эксперимента до оптимального влагосодержания, чтобы нивелировать исходные различия во влажности, составе микрофлоры и исключить дыхание живых растительных органов, попадающих в образец почвы, особенно под газонами. Если дыхание измеряется по выделению  $\text{CO}_2$ , обязательно надо делать поправку на межфазные взаимодействия, согласно нашим разработкам (Смагин, 2005, Смагин и др., 2001). Проверка двух разных методик в процессе разработки метода на различных образцах почв (Смагин, 2005, Смагин, Смагина, 2008) подтверждает данное положение (рис.10). Так, оценка по кислороду стабильно дает более высокие величины биологической активности по сравнению с традиционной методикой определения дыхания по эмиссии  $\text{CO}_2$  без учета межфазных взаимодействий. Дегазация и десорбция потенциально иммобилизованного  $\text{CO}_2$  посредством вакуумирования или нагрева позволяет получить сопоставимые с оценкой по кислороду результаты (рис.10).

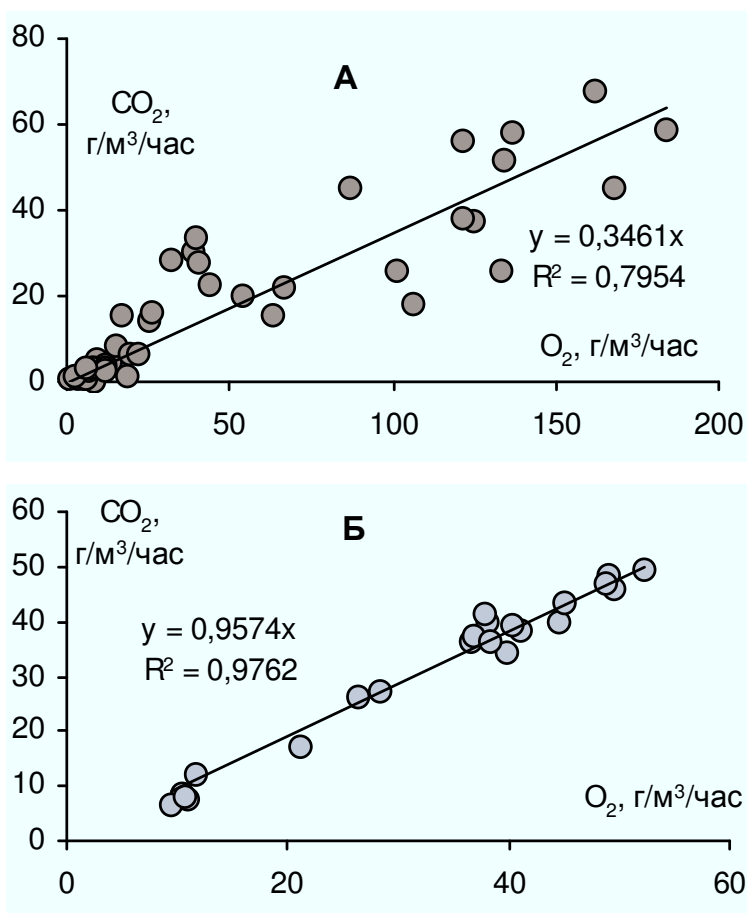


Рис. 10. Сравнение методов оценки биологической активности (дыхания) по эмиссии  $\text{CO}_2$  и поглощению кислорода: А – традиционный метод, Б – с поправкой на межфазные взаимодействия  $\text{CO}_2$  в почве

Для данного варианта метода разработана ориентировочная нормативная шкала биологической активности минеральных почв г. Москвы в связи с проблемой озеленения и мониторингом деструкционной экологической функции городских почв – способности разлагать поступающие на ее поверхность многочисленные растительные остатки, фекалии животных и мусор (табл. 12).

Таблица 12. Нормативы биологического поглощения кислорода минеральными почвами и грунтами в г. Москве (по (Смагин и др., 2006))

Показатель, обозначение, единицы измерения, метод определения:	Градации:	Комментарии (влияние на плодородие почв, окружающую среду, растительность и здоровье человека):
Дыхание почвы в стандартизированных условиях (оптимум биологической активности), Д, мгО <sub>2</sub> /кг/час.  Инкубационный метод на базе портативных газоанализаторов с электрохимическим датчиком на кислород.	0-2 – очень низкая биологическая активность	Отсутствие или очень низкое содержание органического вещества почвы и (или) угнетение биологической активности загрязняющими веществами и электролитами (солями). Почва непригодна для выращивания растений.
	2-4 – низкая биологическая активность	Недостаточный уровень плодородия и (или) значительные загрязнение и засоление почвы. Растительность будет испытывать угнетение.
	4-8 – оптимальная биологическая активность	Нормальное функционирование почвы, обеспечивающее продуктивность растений. Отсутствие или не существенный уровень загрязнения и засоления.
	>8 – высокая биологическая активность	Наличие в почве свежего органического субстрата, высокая концентрация ферментов. Растения в хорошем состоянии, однако, почва генерирует избыточное количество газов, приводя к локальному ухудшению городской атмосферы.

Серия завершающих раздел иллюстраций касается мониторинга почвенных режимов (кислотно-щелочного и биологической активности) м-рна Куркино за 2002 г в качестве примеров экологической оценки по анализируемым выше показателям (рис. 11). Засоление и щелочная реакция почвы встречаются на исследуемых участках относительно редко, поскольку район новый, и противогололедные средства здесь еще не успели накопиться в больших количествах, в отличие от других территорий г. Москвы. По показателю кислотности/щелочности в 97% случаев исследуемые почвы и грунты находились в норме. Спорадические случаи подщелачивания выявлены в 7-а микрорайоне, где уже произведено заселение и, соответственно, вероятно использование противогололедных средств зимой 2002г, а также не исключено попадание в почву электролитов и щелочных материалов, использующихся при строительстве. В целом, по данному режиму ситуация пока в норме.

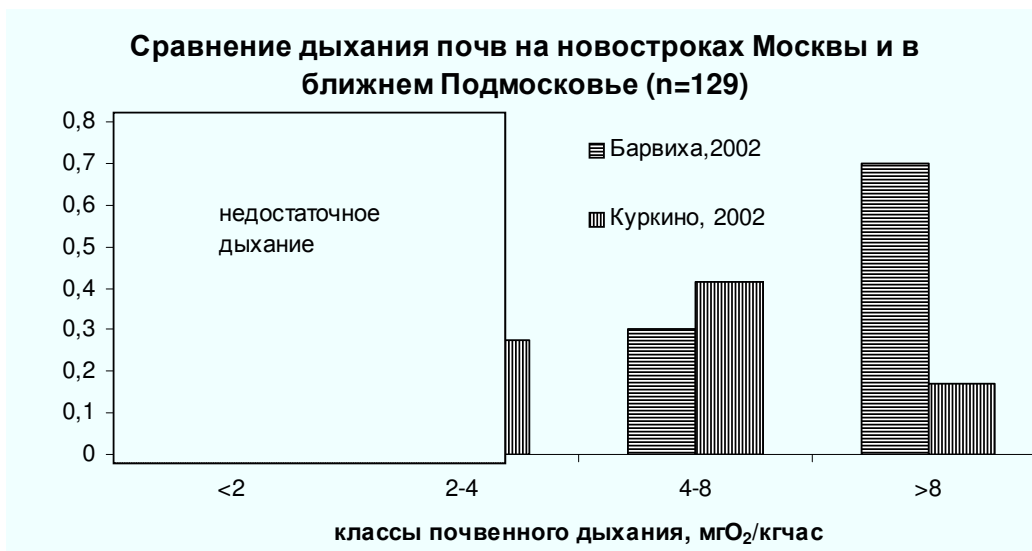
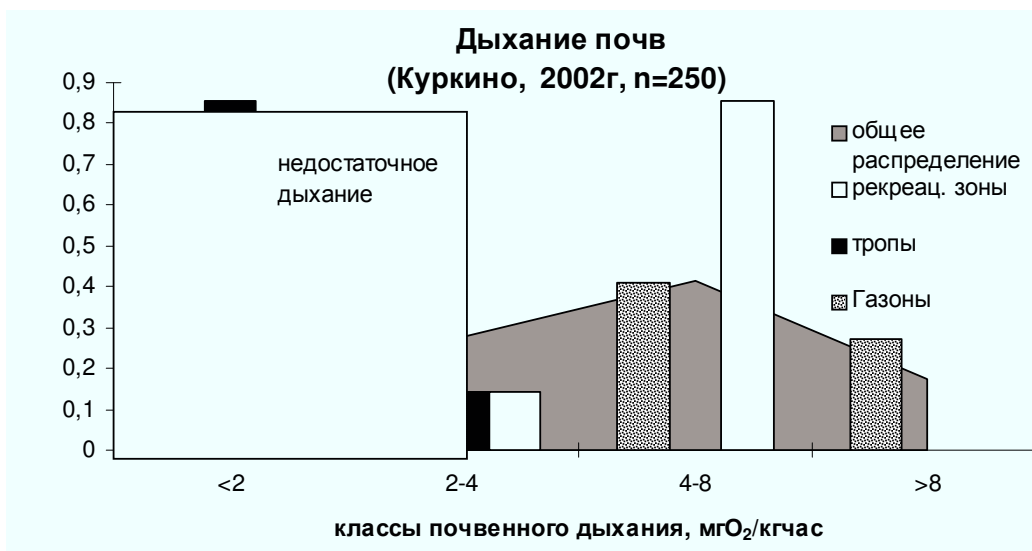
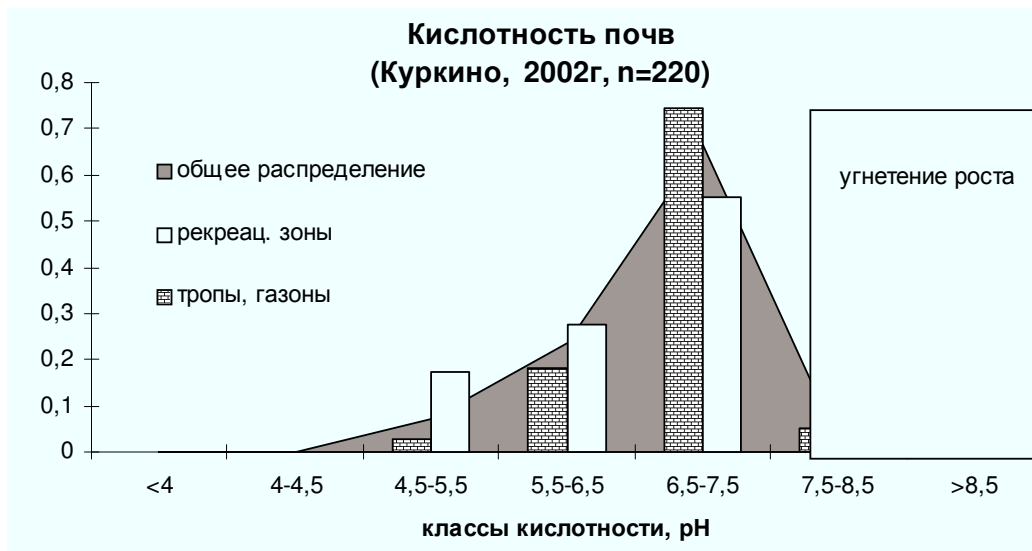


Рис. 11. Результаты мониторинга кислотно-щелочного режима и биологической активности почвенных объектов м-рна Куркино и ближнего Подмосковья

Вместе с тем, обращают на себя внимание частые случаи *низкой биологической активности* почв и грунтов придорожных и придомовых территорий (газонов) (рис.11). Приблизительно 40% участков имели низкую и очень низкую интенсивности почвенного дыхания, а в остальном большинстве случаев увеличение этого показателя, по-видимому, кажущееся – из-за добавок торфа. В рекреационных зонах показатель в норме (86% измерений), если не считать тропиной сети, где происходит резкое снижение биологической активности (в 100% измерений низкое дыхание). На фоне рекреационных зон и заповедных участков в пойме р. Сходни дыхание в городских почвах в 1.5-2 раза меньше, несмотря на использование органоматериалов (торфосмесей). То же следует из сравнения городских территорий с пригородным участком «Барвиха», где средняя интенсивность дыхания минеральных гумусовых горизонтов составила  $11 \pm 6$  мгО<sub>2</sub>/кг/час, против  $5 \pm 3$  мгО<sub>2</sub>/кг/час в Куркино, а подстилка поглощала в среднем  $215 \pm 180$  мгО<sub>2</sub>/кг/час, причем вариантов с низким уровнем дыхания по предложенной шкале не было вообще (рис.11). Выявленная в целом низкая биологическая активность почв и грунтов Куркино при нормальных солевом состоянии и физико-химических свойствах косвенно указывает на возможность химического загрязнения, наличия микробных токсинов и развития патогенной микрофлоры, что требует организации дополнительных исследований в этом направлении.

При проведении экомониторинга почвенных режимов важно учитывать, что сопоставление отдельных критериев косвенно позволяет оценить вероятность недостатка элементов минерального питания, загрязнения (отравления) почв химическими поллютантами, радионуклидами и микробными токсинами. Как уже отмечалось, низкая биологическая активность (дыхание) при нормальном кислотно-щелочном и солевом режимах, благоприятных физических свойствах (плотность, водно-воздушный и температурный режимы) указывают на возможное загрязнение и (или) отравление почвы. Угнетенное состояние растительности при благоприятных режимных показателях, включая почвенное дыхание, свидетельствует о недостатке питательных веществ или, что более вероятно в случае древесных насаждений – недостаточной площади питания и влагопотребления. Тем самым простые и недорого стоящие почвенные анализы с использованием описанных выше критериев и нормативов позволяют оперативно диагностировать эффективность выполнения городскими почвами их основных экологических функций, включая рост зеленых насаждений (синтез) и обратные процессы – деструкции и утилизации органических остатков.

## ***Технологии воспроизводства почвенных ресурсов и конструирования почв в мегаполисе***

### Технологии ремедиации, рекультивации и воспроизводства почвенных ресурсов мегаполиса (общие положения)

Почвенные ресурсы, очевидно, можно отнести к категории возобновимых, и в природных экосистемах протекают перманентные процессы почвообразования, восполняющие ежегодные потери веществ и энергии почвами при выполнении их экологических функций. В урбо- и агро- экосистемах с высокой антропогенной нагрузкой и дестабилизацией природных циклов веществ и потоков энергии спонтанное почвообразование не позволяет поддерживать почвенные ресурсы в надлежащем состоянии, и требуется вмешательство человека в виде их менеджмента (управления) на базе эффективных технологий. Примерный перечень подобных технологий ремедиации, рекультивации, реабилитации и воспроизводства городских почвенных ресурсов, наряду с превентивными мерами (нормированным техногенным воздействием на почвы, изоляцией участков) и обязательным экологическим контролем за нарушениями приведен в виде соответствующей БД анализируемой ранее АИС менеджмента городских почв (см. табл. 8). Наряду с традиционными приемами возделывания (обработки), рекультивации и ремедиации почв, в настоящее время все большее внимание уделяется поиску альтернативных рециклинговых технологий, приближающихся по своей сути к природным процессам «безотходного производства». Как сельскохозяйственные, так и бытовые отходы могут вполне быть утилизированы в природных процессах почвообразования, распада и синтеза новой органической продукции, что является основой подобных технологий. В частности, для города вполне реально наладить производство плодородных почвогрунтов (смесей), используемых в озеленении, на базе комбинаций органических осадков питьевых и сточных вод, порубочных остатков и скашиваемой фитомассы газонов с минеральными котлованными грунтами легкого гранулометрического состава, изымаемыми в ходе строительства фундаментов и коммуникаций. При этом механическое разбавление часто сильно загрязненных ОСВ позволяет довести уровень тяжелых металлов и иных стойких загрязнителей в продукции до нормативно допустимого для городских почвогрунтов состояния, а компостирование с определенными химическими агентами и биодобавками способствует разложению вредных органических веществ и уничтожению патогенных организмов, включая гельминты.

Производство и завоз новых почвогрунтов с надлежащей сертификацией качества является одним из основных путей воспроизводства городских почвенных ресурсов. Однако специалисты в области почвоведения хорошо понимают, что почвогрунты это не почвы, а лишь возможный материал для их создания. От того, как расположить этот материал, скомби-



нирывать с имеющимися на территории данного земельного участка минеральными ресурсами, зависит устойчивость и функционирование получаемого в результате искусственного почвенного покрова. Примитивные технологии, заключающиеся в простой подсыпке обогащенных органическим веществом плодородных торфосмесей, как уже отмечалось во введении, оказываются крайне неэффективными (рис.1). Альтернативу составляют инновационные технологии *почвенного конструирования*, анализом которых будет завершена данная глава.

#### Технологии почвенного конструирования для озеленения и рекультивации городских территорий с повышенной антропогенной нагрузкой

Почвенное конструирование является новым направлением в урбоэкологии и ландшафтной архитектуре, позволяющим с помощью инженерного расчета создавать оптимальные по своим характеристикам искусственные плодородные почвы (конструктоземы) на базе имеющихся почвенных ресурсов и натуральных или синтетических материалов – почвенных кондиционеров (Смагин, 2006, 2012). Наиболее продуктивный путь почвенного конструирования заключается в слоистом способе закладки материалов, имитирующем реально существующий в природе процесс вертикальной дифференциации почв на отдельные слои-горизонты, различающиеся по своим функциональным качествам. Основным элементом конструкции является так называемый «рабочий слой». В нем сосредотачиваются корневые системы растений, и из него осуществляется основное потребление элементов питания и влаги. Для формирования рабочего слоя используются природные или синтетические биополимеры, добавление которых к исходному грунту увеличивает его водоудерживающую и поглонительную способность, актуальное плодородие в виде запаса продуктивной влаги и доступных питательных веществ, оптимизирует структуру, тепловые, технологические и иные характеристики почвы. В современной практике с этой целью чаще всего используются органические удобрения, компосты, торф, гумусовые препараты, а из синтетических средств – ионообменные смолы и сильнонабухающие полимерные гидрогели. Мощность плодородного слоя, глубина заделки почвенных кондиционеров, а также количество слоев конструкции рассчитываются в зависимости от специфики объекта (гранулометрического состава, показателей плодородия, водно-физических свойств почв, материнских и подстилающих пород, положения уровня грунтовых вод и т.д.), типа и потребностей растительных культур, а также качества и стойкости органических материалов-почвомодификаторов.

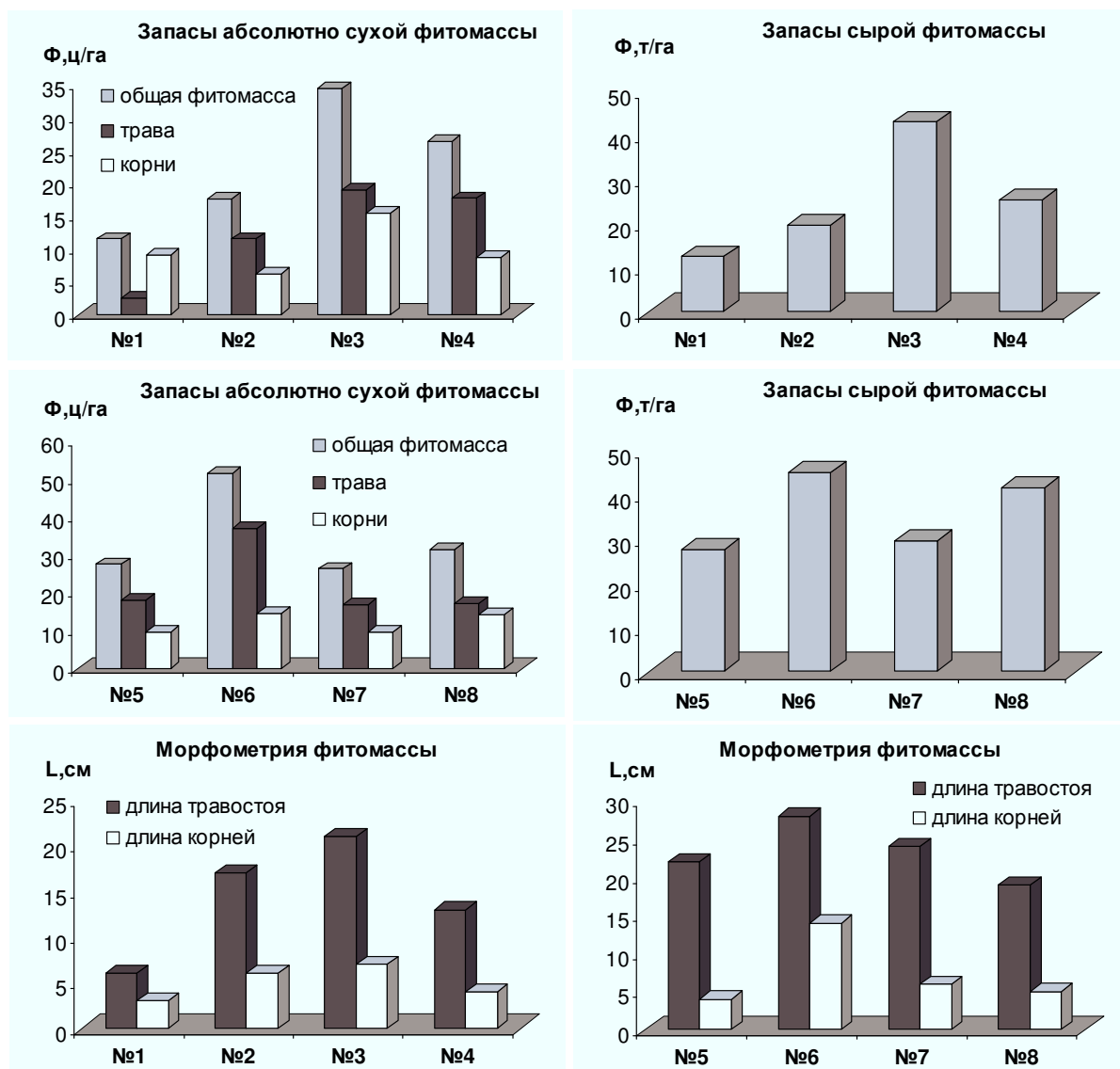


Рис. 12. Характеристика фитомассы и морфометрические показатели газонной травы. Варианты конструкций: №1 – контроль, №2 – гидрофобизатор (метилсиликат К), №3 – сильнонабухающий полимерный гидрогель (СПГВУМ-ИТХ), №4 – низинный торф, №5 – щебень (контроль), №6 – щебень+гидрогель, №7 – щебень+торф, №8 – щебень+двойной торф

Поскольку интенсивность биодеструкции органических веществ снижается с глубиной почвы, в большинстве типов конструкций почвomodификаторы рекомендуется располагать на некотором удалении от поверхности. Часто в конструкциях формируется не один плодородный слой, а несколько, чтобы растения по мере роста и развития корневых систем могли обеспечить свои потребности необходимым количеством элементов питания и влаги.

Не менее существенно и другое свойство слоистых конструкций, а именно – разрыв капиллярной сплошности в почвогрунте. Капиллярный эффект является основным физическим механизмом загрязнения и засоления почв, как повсеместного фактора их деградации и потери качества в

условиях мегаполиса. Именно с капиллярным током влаги техногенные поллютанты в виде солевых растворов подтягиваются к поверхности почвы и концентрируются там после испарения влаги. Прослойка из чужеродного материала существенно замедляет такое движение вплоть до полного прекращения в случае использования грубодисперсных материалов, лишенных капиллярности. Поэтому для эффективной борьбы с антропогенным загрязнением и засолением рекомендуются слоистые почвенные конструкции с основанием-экраном из грубодисперсного материала (гравия, щебня, керамзита, грубозернистого песка, т.д.) или с гидрофобными пропитками (Смагин, 2012). Подобный экран, разрушая капиллярную гидравлическую связь, отсекает «рабочий слой» от нижележащего почвогрунта. В результате вымытые за пределы экрана периодическими осадками или поливами водорастворимые поллютанты не имеют возможности вернуться в корнеобитаемую толщу при восходящих к поверхности токах влаги.

Очищенная таким образом корневая зона удерживает дополнительное количество влаги за счет эффекта «антидренажа» (подвешивания почвенной влаги) от экрана, а также внесения высокодисперсных органических почвомодификаторов природного или синтетического генезиса. Тем самым в почвенных конструкциях удается справиться с основными лимитирующими рост и развитие растений факторами в условиях мегаполиса – загрязнением (засолением) и недостатком продуктивной влаги в засушливое летнее время. Технологии обеспечивают повышение запасов продуктивной влаги, урожайности (продуктивности) зеленых насаждений и общей биологической активности почвенных конструкций в 1.5-3 раза по сравнению с контрольными участками при надежной защите от техногенного загрязнения и вторичного засоления. На рис. 12 приведены результаты тестирования разнообразных вариантов конструктоземов для озеленения в условиях мегаполиса, разработанных в ходе выполнения НИОКР Госконтракта ПМ №8/3-66п-10/11 на базе компьютерных моделей энергомассопереноса и динамики органических биополимеров в слоистых почвенно-физических системах. Наилучшие результаты продемонстрировали комбинированные варианты почвенных конструкций с грубодисперсными защитными экранами и сильнонабухающими полимерными гидрогелями в корнеобитаемой зоне. Более подробная информация содержится в новой монографии (Смагин, 2012), посвященной проблеме конструирования почв.

### ***Основные выводы***

1. Почвенные ресурсы – неотъемлемая часть городской среды, определяющая наряду с водой и воздухом не только качество, но и саму возможность существования жизни на данной территории. Этот класс ресурсов можно отнести к возобновляемым, однако без должной и постоянной заботы о них со стороны человека они постепенно исчезают в процессах естественной и антропогенной деградации. Поэтому в антропогенных

сельскохозяйственных и городских экосистемах должна быть организована система управления (менеджмента) почвенными ресурсами на базе современных средств и методов их экологической оценки и технологий воспроизводства.

2. Структура системы менеджмента городских почвенных объектов представлена триадой «ресурсы» – «режимы» – «технологии». Ресурсная оценка имеет дело преимущественно с инертными твердофазными компонентами – запасом почвы в условно-нормативной толще на площади земельного участка и заключенными в ней веществами, условно поделенными на позитивные (биофильные, структурные элементы) и негативные (загрязняющие вещества). Почвенные режимы (водно-воздушный, температурный, солевой, кислотно-щелочной, биологической активности) связаны преимущественно с мобильными фазами (жидкой, газовой) и живыми организмами почвы и характеризуют ее функционирование в текущий момент времени. Комплекс современных технологий позволяет при выявлении той или иной проблемы осуществить ее решение в виде ремедиации и воспроизводства почвенного ресурса или оптимизации почвенных режимов для эффективного стабильного выполнения городскими почвами их экологических функций (сервисов).

3. Для проведения ресурсной оценки почв и подбора оптимальных почвенных технологий разработана пилотная версия АИС муниципального уровня, оперирующая системой критериев и нормативов, дифференцированной в зависимости от свойств почв и их принадлежности к той или иной функциональной зоне. Мониторинг динамических режимных характеристик почв осуществляется с помощью современных приборно-технических средств с использованием оригинальных критериев, нормативов и методик их получения.

4. В системе менеджмента почв мегаполиса особое место занимают рециклинговые технологии производства почвогрунтов, утилизирующие городские отходы, а также инновационные технологии почвенного конструирования, направленные на создание специфичных городских объектов – конструкторземов с заданными свойствами для повышения эффективности и устойчивости функционирования почвенного и растительного покровов в условиях значительной антропогенной нагрузки.

Финансовая поддержка РФФИ, Программ фундаментальных исследований ОБН РАН «Биологические ресурсы России» и Президиума РАН «Биологическое разнообразие».

### *Литература*

Закон г. Москвы «О городских почвах» от 04.07.2007 № 31.

Закон города Москвы «О градостроительном зонировании территории города Москвы» от 09.12.98 № 28 (в ред. от 27.04.2005 № 14).

- Закон г. Москвы «Градостроительный кодекс г. Москвы» от 25.06. 2008 №28.
- Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве» /утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 19 января 2006 года, введены в действие постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 23 января 2006 года № 1.
- Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2042-06 «Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве» /утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 19 января 2006 года, введены в действие постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 23 января 2006 года № 2.
- Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест: Метод. указан. 2.1.7. Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. МУ 2.1.7.730-99. - М.: ФЦ ГСЭН МЗ РФ. 1999.
- ГОСТ 17.4.3.01-83 (СТ СЭВ 3847-82). Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб.
- ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб почвы для химического, бактериологического и гельминтологического анализа.
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экологические функции почв // Успехи почвоведения. М. Наука. 1986. С. 96-101.
- Постановление Правительства Москвы «О повышении качества почвогрунтов в городе Москве» от 27.07.2004 № 514-ПП (в ред. постановления Правительства Москвы от 09.08.2005 № 594-ПП).
- Постановление Правительства Москвы «Правила создания, содержания и охраны зеленых насаждений г. Москвы» от 10.09.2002 №743-ПП (в ред. постановления Правительства Москвы от 11.05.2010 № 386-ПП);
- Приказ ДПиООС г. Москвы «Порядок проведения сертификации почвогрунтов, их компонентов, услуг по озеленению в московской системе добровольной сертификации «Экологичные почвогрунты»» от 07.08.2006 № 145.
- Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы. СанПиН 2.1.7.1287-03 /утв. Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 16 апреля 2003 года, введены в действие постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 17 апреля 2003 года № 53.
- Смагин А.В., Садовникова Н.Б, Смагина М.В., Глаголев М.В. Моделирование динамики органического вещества почв. М.: Изд-во Моск. Ун-та, 2001. 120с.

- Смагин А.В. Теория и методы оценки физического состояния почв. // Почвоведение. 2003 №3. С.328-341.
- Смагин А.В. Основные требования и применяемые технологии при создании плодородного слоя почв при проведении земляных работ в ходе создания и реконструкции объектов благоустройства // Городские почвы: проблемы и решения. М.: НИИПИЭГ. «Прима Пресс», 2004.
- Смагин А.В. Газовая фаза почв. М.: Изд-во Моск. Ун-та, 2005. 301с.
- Смагин А.В. Рукотворные почвы аридных регионов // ж. Наука в России, №6, 2006, с.53-58.
- Смагин А.В., Азовцева Н.А., Смагина М.В., Степанов А.Л. Некоторые критерии и методы оценки экологического состояния почв в связи с озеленением городских территорий //Почвоведение. 2006. №5. С. 603-615.
- Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Глаголев М.В., Кириченко А.В. Новые инструментальные методы и портативные электронные средства контроля экологического состояния почв и сопредельных сред // Экологический Вестник Сев. Кавказа, 2006. т. 2, №1, с. 5-17.
- Смагин А.В., Иванов С.А. Автоматизированная информационная система менеджмента городских почвенных объектов (пилотная версия) //Экологический Вестник Сев. Кавказа, 2008, т.4, №4, с.5-23.
- Смагин А.В., Шоба С.А., Макаров О.А. Экологическая оценка почвенных ресурсов и технологии их воспроизводства (на примере г. Москвы). М.: Изд-во Моск. Ун-та, 2008. 360с.
- Смагин А.В., Смагина М.В. Потенциальная биологическая активность почв легкого гранулометрического состава в условиях рекреационного лесопользования // Влияние рекреации на лесные биогеоценозы Тула: Гриф и К, 2008, с. 257-285.
- Смагин А.В. Теория и практика конструирования почв М.: Изд-во Моск. Ун-та, 2012, 555 с.
- Хильми Г.Ф. Биогенные превращения энергии и их экологическое значение // Проблемы оптимизации в экологии. М.: Наука, 1978. С. 159-175.
- Экологические функции городских почв. М.-Смоленск: Маджента, 2004. 230 с.
- Soils: Basic Concepts and Future Challenges. Cambridge University Press. 2006. 310 p.

## **Инженерное почвоведение и почвенно-ландшафтный инжиниринг**

### ***Введение***

Неуклонное развитие в рамках экологического почвоведения учения о функциях почв в биосфере (Добровольский, Никитин, 1986) и насущные запросы практики землепользования и природообустройства, внедрение новых дисциплин в учебные программы университетов и развитие инновационных технологий получения и обработки информации требуют переосмысления существующих фундаментальных парадигм и содержания некоторых известных разделов знания. В результате, на стыке традиционных наук, таких как: почвоведение, земледелие и растениеводство, дендрология, ландшафтная архитектура, инженерная геология и инженерное строительство, экология, мелиорация и эрозия почв, охрана почв и окружающей среды и т.д., появляются новые дисциплины или трансформируются старые. Так благодаря развитию малоэтажного строительства и садово-паркового искусства, увеличению доли земель частного землепользования и либерализации землепользования, возрождению усадебной культуры и потребности в озеленении городов, становлению ландшафтного планирования и внедрению новых технологий в коммунальном хозяйстве уже возникли: ландшафтный дизайн и архитектурная дендрология, инженерная биология и инженерная экология, ландшафтное планирование и почвенно-ландшафтное проектирование, почвенно-экологический консалтинг и экспертиза, оценка почв и т.д.

Востребованность знаний о почвах в обществе при этом также оказалась очень высока. Практически все новые специальные курсы ландшафтного дизайна, инженерной экологии, экологического консалтинга и т.п. открыли преподавание почвоведения. Большинство популярных изданий – от элитных архитектурных журналов до газет для дачников – регулярно печатают статьи о почвах (Ковалев, Ковалева, 2003,2004; Ковалева, Ковалев, 2003, 2004). Однако, ниши почвоведов в данной сфере бизнеса заняли инженеры-мелиораторы, агрономы, дендрологи, агротехники и цветоводы, более адаптированные к практической деятельности. Между тем, выпускники кафедр почвоведения, сдав почвоведение по классическим программам, зачастую оказываются не готовы к подобной работе.

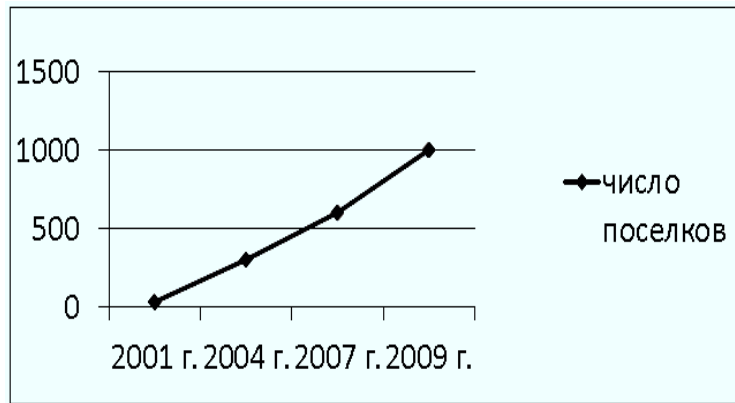


Рис. 1. Рост численности коттеджных поселков в Московской области в последние 10 лет (Прокофьева, 2010)

### ***Усадебное строительство как новый способ освоения окружающей природной среды***

Благодаря становлению частной собственности на землю в современной России возникло и активно развивается новое градостроительное и ландшафтное явление - малоэтажные загородные поселения, получившие вне зависимости от типа застройки общееупотребительное название коттеджных поселков. Они появились во всех без исключения природных зонах нашей страны – от тундры до тропиков - и синхронны общемировой моде на частный дом и сад у дома. Действительно, в последние десятилетия все большую долю в составе земельных угодий стран СНГ занимают дачные и коттеджные поселки, растет увлечение парками и их миниатюрными подобиями (например, в Белгородской области реализуется областная программа 2008-2012 гг. «500 парков Белгородья» (Сударенков, 2010)), стремительно набирает авторитет новое направление в архитектуре – ландшафтный дизайн. Если в 2001 г. в Московской области было около 30 коттеджных поселков, то в 2004 г. их стало более 300, в 2007 г. – более 600, а в 2009 – уже около 1000. По оценкам ГУП МО «НИиПИ градостроительства», в ближайшие 10-15 лет численность постоянного и сезонного населения Московской области увеличится на 1 млн. человек и к 2020 г достигнет 13,4 млн. человек, в том числе численность сезонного населения превысит 6,3 млн. человек (Прокофьева, 2010) (рис. 1).

Причем взаимосвязанными с поселком становятся не только ближайшие окрестности с общественными объектами в радиусе 2-3 км, но и отдаленные территории, расположенные в пределах 0,5 – часовой изохроны транспортной доступности (рис. 2).

В составе природно-территориального комплекса коттеджного поселка повышенной комфортности можно выделить три составляющих с разной антропогенной нагрузкой на ландшафт. Во-первых, это комплекс частных усадеб, во-вторых – общественная территория поселка, в-третьих – окружающая природная среда, вектор нагрузки в которой концентриче-



ски убывает по мере удаления от поселка. При этом первые две составляющие могут находиться в различных по влиянию отношениях к окружающей природной среде. Общественные территории могут выходить за границы их земельных угодий при условии существенной зависимости создаваемых там объектов от потребностей собственников коттеджей и в соответствии с идейной концепцией жизни в поселке. В роли подобного «якоря» могут выступать такие функциональные типы общественно-парковых территорий как «Гольф-клуб» (Риверсайд, Гринфильд и т.д.), «Яхт-клуб» (Пестово, Завидово и т.д.), «Конный парк» (Завидово, Кузнецики, Княжье озеро и т.д.), «Рыбацкая деревня» (Велегож-парк, Капитан), «Дендропарк» (Бенелюкс, Лукоморье и т. д.), «Зверинец» (Бобровый остров и т.д.), «Шахматный клуб» (Таганьково), «Оранжерея - Зимний сад» (Монолит, Корабельные сосны) и т.д.



Рис. 2. Пример организации прилегающей к поселку территории

Таким образом, ландшафтная среда становится сферой воплощения концепций публичной и частной жизни, отражающей интересы нового социального слоя – жителей коттеджных поселков и новую социальную и сельскохозяйственную культуру - усадьбную.

Вариантом усиленной нагрузки на окружающую территорию являются поселки с функциональной насыщенностью окружающего природного ландшафта: конно-спортивные комплексы, автодромы, причалы, тепличные хозяйства, поля с сельскохозяйственными культурами (овес, ячмень, лен и т.п.) и т.д., - нередко приводящие к экологическим конфликтам поселка с его ландшафтным обрамлением из-за значительного превышения рекреационной емкости биогеоценозов, особенно в таких ранимых ландшафтах, как тундра, лессовые равнины, горные или пустынно-степные территории.

Одним из архитектурных приемов, изолирующих владельца от окружающего ландшафта и защищающим его приватность, является организация интроспективных архитектурно-ландшафтных пространств, создание интравертных территорий, являющихся продолжением дома и, как правило, резко контрастирующих по формам рельефа и ассортименту растений с окружающим природным комплексом (поселок «Хлебниково», «Монолит» в Московской области и т.д.). Возникающие при этом рукотворные биогеоценозы определяются функциональным назначением ландшафта: лесной, садовый, альпийский, парадно-гостевой, пляжный, территории для детского отдыха или спорта и т. д. Для исполнения замысла художника иногда в коренной трансформации нуждаются такие зональные факторы, как видовой состав травянистых и древесных растений, грибов, популяций насекомых, птиц, землероев, земноводных и т.д. Причем, антропогенная нагрузка в коттеджных поселках значительно выше по сравнению с садовыми и дачными товариществами, так как садовые работы выполняются не эпизодически садоводом-любителем малыми средствами и нормами, а систематически руками профессионалов - плодоовощеводов, дендрологов и агротехников на каждом без исключения усадебном участке и общественных территориях. В результате существенную угрозу ландшафтам и здоровью жителей окружающих территорий создает чрезмерное увлечение и засорение почв биологически активными веществами - пестицидами в целях борьбы с сорняками (гербициды), насекомыми (инсектициды), болезнями растений (фунгициды), почвенными животными (нематоциды, аскарициды), биологически активными веществами для регулирования роста и развития растений (Ковалева, 2002). Дозы применяемых средств защиты растений и удобрений никем не нормированы, и декоративность, гарантированная ландшафтной фирмой, взявшей участок или поселок в целом на эксплуатацию, обеспечивается любой ценой.

По отношению к соседним экосистемам увеличивается контрастность возникающих в пределах поселка структур биогеоценозов, хотя внутри контура поселка или усадьбы они существенно сглаживаются даже в разных ландшафтных позициях за счет создания однотипных ландшафтных форм (парковка, сад, аллея, цветник и т.д.). Создаваемые структуры могут быть как фоновыми, например, в пейзажных парках, так и абсолютно бесфоновыми, полностью утратившими связь с окружающим ландшафтом – например, насыпные плодородные массивы орошаемых почв в пустыне или подогреваемые клумбы в тундре. Возникающие структуры почвенного покрова определяются функциональным назначением ландшафта: лесной, садовый, альпийский, парадно-гостевой, пляжный, территории для детского отдыха или спорта и т. д. При этом часто наблюдается не только коренная трансформация зональных факторов, но зачастую меняется и привычная докучаевская формула почвообразования за счет сокращения или увеличения количества параметров в ней (факторы «почвообразующая

порода» или «рельеф» иногда отсутствуют, например, при озеленении крыш и стен зданий, внутренних дворики). Появляются новые нетипичные для зональных ландшафтов рисунки природных территорий: правильной формы квадратные, прямоугольные, шестигранные в партерных и регулярных зонах, округлые и эллипсовидные свойственны геопластикам, серповидные – на террасах амфитеатров и т.д. (Ковалева, Ковалев, 2007).

Коренное бесконтрольное изменение зональных ландшафтов, их гидрологии, климата и почв наблюдается при строительстве осушительных и оросительных систем, при удалении и переброске ручьев и малых рек, при искусственном затоплении понижений, при перекрытии поверхностного и внутрипочвенного стоков малыми архитектурными формами и фундаментами сооружений, при замене 1,5-3 метровой толщи почвогрунтов привозным грунтом, компостами, перегноем, глиной и суглинками породы. В зависимости от архитектурно-художественной концепции ландшафта наиболее часто перераспределяются площади и изменяются контуры элементарных почвенных ареалов гидроморфных и автоморфных почв во всех природных зонах. Строительство оросительных систем на каждом земельном участке поселка, включающихся по показаниям датчиков дождя без расчета норм орошения, особенно в засушливых регионах, радикально меняет зональную норму осадков (до 700-1000 мм вместо естественных 300-400 мм) и неизбежно провоцирует подъем уровня минерализованных грунтовых вод и приводит к развитию явлений слитизации, вымывания, засоления и осолонцевания почв на площадях внутри и особенно вокруг коттеджных поселков (Ковалев, Ковалева, 2010).

Художественное воссоздание каменистой, такыровидной, барханной или медальонной поверхности при строительстве дюн, рокариев и альпинариев, японских садики, гамады усложняют естественную структуру почвенного покрова, накладываясь на нее. В питомниках развиваются регулярно-мозаичные структуры почвенного покрова с контурами посадочных ям на фоне зональных почв. На осушенных массивах преобладают линейные сочетания пахотных или лесных почв с материалом траншейных засыпок (Ковалев, 2008). Повсеместно в результате ландшафтного строительства появляются контуры оскальпированных и погребенных почв.

Увеличивается площадь и разнообразие техногенных почв при подъеме гипсометрических отметок поверхности и конструировании рельефа и почв при строительстве геопластик, холмов, террас, валов. Строительство спортивных, детских и мангальных площадок, парковок и отмосток, неоправданное увлечение покровными материалами и одеждами каналов приводят к запечатыванию значительных массивов почв и изменению биоразнообразия микроорганизмов и почвенных животных. Изменение гранулометрического состава, химических и физических свойств почв – неременный атрибут их освоения в ландшафтном строительстве (Ковалев, Ковалева, 2004). Наиболее частые экологические конфликты коттеджных посел-

ков с окружающей природной средой заключаются также в уменьшении высоты и полноты лесных насаждений, развитии эрозии почв, оползней на склоновых территориях, прогрессирующем оврагообразовании на территории лессовых равнин, загрязнении водоемов и уничтожении рыбы в них, загрязнении почв и грунтовых вод патогенными микроорганизмами при строительстве полей фильтрации и т.д.

Однако, изменения природной среды при ландшафтном планировании часто приводит и к позитивным сдвигам в эволюции ландшафтов: например, при реконструкции водно-болотных угодий на осушенных торфяниках; рекультивации почв на территории бывших свалок, полей аэрации, кладбищ; сохранении зональных массивов почв и растительности в лесопарках и пейзажных парках; восстановлении природных экосистем на месте агрогенных. Частные усадьбы и их общественные территории могут быть продолжением окружающего ландшафта, если их архитектурно-художественная концепция базируется на принципе топослияния, как, например, покрытые сосновым бором террасы поселка Завидово на берегу Иваньковского водохранилища, дубравы поселка Лукоморье на Подольско-Коломенском ополье, нетронутые человеком ландшафты «Экологической деревни» на берегах Оки и т.п.

Приоритет природного ландшафта в подобных поселениях обязывает архитектора встраивать концепцию усадьбы в экологический каркас: геопластические решения (террасы, валы, гроты и т.п.) становятся продолжением естественных форм рельефа, земляные работы производятся с нулевым балансом, водоемы защищаются от хозяйственных сбросов системами дренирования, склоны и крутые откосы закрепляются от оползней и эрозии, карстовые воронки фиксируются амфитеатрами, скейттрассами, речная эрозия стабилизируется набережными, в озеленении используются растения местной флоры, работа каскадов и фонтанов, оросительных систем организуется в замкнутых циклах, оберегаются от застройки воздушные перспективы и визуальные каналы, поддерживаются пути миграции животных.

В основе нормативно-правового регулирования формирования структуры современных загородных поселений, по мнению Прокофьевой (2010) лежат изменения в Земельном, Градостроительном, Лесном и Водном кодексах РФ, устанавливающие и предусматривающие зонирование различных территорий и земель, специфику частного владения, пользования и распоряжения земельными участками, участия частных инвесторов и приобретения статуса поселения. Как известно, земли в Российской Федерации по целевому назначению подразделяются на земли сельскохозяйственного назначения, земли населенных пунктов, земли промышленного и иного специального назначения, земли особо охраняемых территорий и объектов, земли лесного фонда, земли запаса (статья 7 Земельного кодекса РФ). Эти документы – первый опыт либерализации природопользования.

Согласно новой ландшафтной политике стало возможным строительство жилых домов на территории водоохраных зон при обязательном строительстве очистных сооружений, наличия ливневой канализации и набережной. Новый Водный кодекс РФ (Собрание законодательства Российской Федерации, 2006, № 23, ст. 2381) ужесточил правила пользования водными объектами, которые находятся в федеральной собственности (реки, озера, ручьи, кроме прудов и обводненных карьеров, которые находятся на территории частных земельных участков). Налоговые ставки на пользование водными ресурсами, находящимися в федеральной собственности, повышаются на 15-20 %. В соответствии с новым Лесным кодексом, вступившим в силу 1 января 2007 г. (Собрание законодательства Российской Федерации, 2006, № 50, ст. 5278) минимально необходимая территория общего пользования (18 % от площади поселка) может прирастать лесными участками для осуществления рекреационной деятельности. Такие участки предоставляются государственным и муниципальным учреждениям в постоянное (бессрочное) пользование, другим лицам – в аренду сроком на 49 лет. При осуществлении рекреационной деятельности в лесах возможно возведение временных построек на лесных участках (беседок, пунктов хранения инвентаря и т.д.) и осуществление благоустройства лесных участков (размещение дорожно-тропиночной сети, скамеек, навесов от дождя, контейнеров для сбора мусора, указателей направления движения). Органы власти субъектов РФ и муниципальных образований помимо общих экологических требований (ст. 44 Федерального закона 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды») вправе в интересах рационального природопользования устанавливать на своей территории и другие требования и ограничения, обязательные для исполнения всеми предприятиями, организациями, учреждениями и гражданами. Такого рода ограничения и требования получили название земельно-планировочных, сосредоточены в СНиПах и касаются не только пользователей, арендаторов, но и владельцев земли.

Таким образом, очевидно, что новое социально-экономическое явление «современная русская усадьба» нуждается в изучении и разработке норм и правил по организации ее взаимодействия с окружающей природной средой, которое радикально отличается от влияния дачного строительства и очень схоже с совмещенным в пространстве и времени влиянием города, которое детально охарактеризовано в монографии «Почвы, город, экология (1997)». Для обучения студентов почвенных и ландшафтных отделений работе с возникающими новыми объектами землепользования в условиях современного технологического и информационного пространства необходимо внедрение новых практических дисциплин в учебные курсы университетов.

### ***Предмет «инженерное почвоведение»: место в системе наук***

Существует и постоянно возникает целый ряд новых проблем, связанных с использованием почв и в других сферах природообустройства, которые не под силу решить узким специалистам в рамках существующего знания. Строители аэродромов, федеральных трасс, городских и поселковых полей фильтрации, мусорных свалок, объектов пригородной застройки, инженеры, коммунальные службы и работники городского озеленения столкнулись с неожиданно возникающими проблемами «почвенно-растительного слоя», которые должны быть регламентированы в СНиПах (строительных нормах и правилах). Чтобы избежать этих проблем, почвенный слой сгребают бульдозером, закапывают под четвертичными отложениями, заменяют привозным грунтом, но никак не могут победить его набухаемость, засоленность, липкость, торфянистость, кислотность, бесплодие, загрязненность, заболоченность, карбонатность и т.д. Причем, одни и те же инженерные приемы «борьбы» с перечисленными явлениями, неплохо зарекомендовавшие себя в районе Рублевского шоссе Московской области, не дают ожидаемого эффекта не только на Черноморском побережье Кавказа или в Карелии, но не работают уже на Подольско-Коломенском ополье или в Шатуре.

Наши наблюдения (Карпачевский и др., 2008, Ковалева, Ковалев, 2010) на сотнях объектов в разных регионах нашей страны обнаруживают, что в истоке проблемы - неверное представление о почве (регламентированное в СНиПах): независимо от зональной и ландшафтной обстановки практики-садоводы почвой называют лишь верхние 20-40 см, специалисты-инженеры и геологи – верхние 0,6 - 1,5 м. Проблема осложняется краткими сроками выполнения проектов, отсутствием предпроектного анализа территории и специалистов, способных его выполнить, в применении устаревших СНиПов (СНиП 2.06 03-85, СНиП 30-02-97 (Теодоронский, Сабо, 2007), ориентированных либо на градостроительство, либо на сельскохозяйственное строительство. Сами СНиПы сегодня нуждаются в уточнениях в соответствии с достижениями науки о почвах.

Новым способам освоения окружающей ландшафтной среды явно недостаточно предлагаемых существующими дисциплинами методов. Так, например, инженерная биология объектом изучения считает только растения, хотя ноль-моментом своего возникновения считает работы Докучаева в Каменной степи, целью которых была борьба с эрозией почв (Основы..., 2006).

Инженерная геология заменяет почву понятием «почвенно-растительный слой» (Пашкин, 2005; Ломтадзе, 1977). Результаты описаний геологических скважин часто на деле не совпадают с лабораторными данными о физико-механических свойствах образцов, потому что не учитывают неоднородность грунта, влажность образца, из-за сжатых сроков проектного периода нет возможности выполнить бурение в меженный период

и в период максимального обводнения грунта. Грунтоведение (Трофимов и др., 2005) никак не определится с объемом и смыслом термина «грунт». На деле же на месте грунта оказывается конструкторизм из почвы, захороненной почвообразующей породой, свойства которых резко меняются при сезонном переувлажнении, что приводит в результате к деформациям или разрушению архитектурно-ландшафтных форм и почвенно-инженерных конструкций, неустойчивости фундаментов сооружений.

Парадигма классической мелиорации почв (мелиорация как улучшение неблагоприятных свойств почв) уже не соответствует современной концепции экологического почвоведения и учению о функционировании (и тем самым, незаменимости свойств любых – даже самых «плохих») почв в ландшафте. Тем не менее, мелиорация почв, тщательно разрабатываемая теоретические основы улучшения почв и ландшафтов (Костяков, 1933; Розов, 1956; Владыченский, 1964; Сабо и др., 2004; Eggelsmann, 1981), ближе остальных подходит к практике, но и она закономерно не считает областью своего знания почвенно-ландшафтный инжиниринг или принятие проектного решения и его внедрение (проект, смета, авторский надзор, гидрологические расчеты, гарантия), оставляя эти вопросы в сфере профессиональной деятельности инженеров-строителей. Однако, последние подменяют все сложные вопросы устаревшим СНиПом, не готовы работать с постоянно меняющимися свойствами конструкторизмом (Смагин и др., 2008; Садовникова, 2008), используют малоизученные и неапробированные в разных природных зонах нашей страны новые технологические материалы и приемы. За рамки мелиорации почв, как в сельскохозяйственном ландшафте, так и в градостроительстве выходит проектирование дренажных и оросительных систем, совмещенных с дренажными системами зданий, архитектурно-ландшафтных сооружений (подпорных стенок, беседок, бассейнов и т.д.), ливневой и коммунальной канализации. Классическая отечественная сельскохозяйственная и лесохозяйственная мелиорация почв не проектирует и не дает рекомендаций для осушения или орошения современных ландшафтных форм в разных природных зонах: септических станций, зон интенсивного использования, автомобильных и детских площадок, элементов геопластики рельефа, теннисных кортов, гольф-клубов и конно-спортивных комплексов, полей аэрации и фильтрации, кладбищ, коттеджных и дачных поселков, участков малоэтажного строительства (Ковалев, Ковалева, 2003), футбольных полей (Замотаев, Белобров, 2007).

Геодезия (Усова, 2004), выполняя топографическую съемку территории, вынуждена вплотную подходить к вертикальной планировке рельефа или конструированию ландшафта, но останавливается перед разработкой проекта земляных масс (снятия и отсыпки грунта, заполнения посадочных ям, создания геопластических форм рельефа), особенно в поймах, на болотах, осушенных торфяниках, в ландшафтах с засоленными грунтовыми водами и т.д.

Малые архитектурные формы и инженерные конструкции не являются и объектами непосредственной работы и изучения агротехники, агрохимии и земледелия, на которые, тем не менее, выпал центр тяжести в освоении частных земельных владений (Ковалева, Ковалев, 2003; 2004).

Выходом из создавшейся ситуации оказалась разработка сначала учебного курса «Почвоведение для целей ландшафтного дизайна» (Ковалева, Ковалев, 2005), который рассчитан на 75 часов (2 семестра) и до настоящего времени преподается авторами в Высшей Школе ландшафтного дизайна в МАРХИ для будущих архитекторов и ландшафтных дизайнеров, а затем предмета «Инженерное почвоведение» - для студентов-почвоведов МГУ.

Инженерное почвоведение - это прикладная наука, призванная решать конкретные инженерные задачи природообустройства, связанные с разработкой экологичных технологий использования почв. Последние уже сегодня экстренно востребованы в малоэтажном, коммунальном, ландшафтном, садово-парковом, сельскохозяйственном, гидрологическом, лесном, городском и т.п. строительстве.

Объект инженерного почвоведения – естественные и нарушенные почвы и почвенные конструкции.

Почвенно-инженерные сооружения – это почвенно-технический комплекс, сохраняющий или создающий основу для устойчивого существования естественной окружающей среды. Это сооружения в почве: 1) инертные – фундаменты, трубопроводы, дорожные покрытия; 2) взаимодействующие с почвой – септики, колодцы, водоемы, дренажные системы. Это сооружения, выполненные из почвы: 1) плоские – спортивные и детские площадки, газоны и т.д.; 2) объемные – посадочные ямы, альпийские горки, террасы, гроты, амфитеатры.

Принципы инженерного почвоведения: природная зональность; соблюдение ландшафтных и геохимических законов; использование инородных материалов, строительство почвенно-инженерных сооружений и конструирование почв в строгом соответствии со свойствами почв и с учетом закономерностей почвообразовательных процессов.

Теоретическая концепция инженерного почвоведения опирается на достижения экологического почвоведения и учения о функциях почв в биосфере (Добровольский, Никитин, 1986), географию и физику почв и ландшафтоведение, на теоретические и практические разработки мелиорации, земледелия, агрохимии и эрозии почв, геодезию, экологию, инженерную геологию и грунтоведение, ландшафтную архитектуру и прочие смежные дисциплины. При этом в предлагаемой области знания уже сложился свой понятийный и методологический аппарат (Ковалев, Ковалева, 2005), выработалась своя система методов, которая в процессе становления научного направления будет совершенствоваться.

Методы инженерного почвоведения включают:



- предпроектный анализ территорий с помощью почвенно-инженерного картирования (карты предпроектного анализа территории), призванного дать оценку почв, грунтовых вод, рельефа, ландшафтных комплексов, климата и геологических особенностей территории, а также степени и характера его антропогенного освоения.
- топографическая съемка территории для целей ландшафтного и мелиоративного строительства,
- «вертикальная» и «горизонтальная» планировка территорий (в виде генеральных топографических планов, карт благоустройства, разбивочно-посадочных чертежей, карт геопластики рельефа и баланса земляных масс),
- проектирование дренажных и оросительных систем,
- проектирование элементов гидропластики ландшафтов,
- разработка технологий почвенных конструкций,
- инженерия малых архитектурных форм, септиков,
- анализ агрохимических, агрофизических и инженерно-геологических свойств почв,
- объемное проектирование ландшафтов методами макетирования и компьютерной 3-D визуализации,
- гидрологические, реологические и прочие почвенно-инженерные расчеты, обеспечивающие устойчивость ландшафтных и архитектурных форм,
- прогнозное моделирование устойчивости и функциональности проектируемых ландшафтов в условиях природной и селитебной сред.

Важно отметить, что универсализация обработки информации с помощью специального 3D-программного обеспечения значительно облегчает процесс чертежного проектирования и не требует от исполнителя навыков ландшафтной графики.

Программа разработанного нами учебного курса «Инженерное почвоведение» адаптирована для практического применения. Помимо лекционных занятий, она включает серию практических работ (построение почвенно-инженерной карты, выполнение проекта дренажа, проекта вертикальной планировки, проекта элемента гидропластики, макетирование ландшафта, практику на объектах почвенно-инженерного строительства, рассчитана на 36 часов и ориентирована на студентов факультета почвоведения, специализирующихся по направлению «ландшафтный дизайн и почвенно-ландшафтное планирование» (рис. 3). Но никакая программа не может охватить весь круг вопросов, принципов и положений, отвечающих сложной специфической задаче формирования профессионала. Любая программа является лишь канвой для определенного способа постигать и организовывать учебный процесс, но, по нашему мнению, она должна быть современной, нетерпимой к догмам и ограничениям, стремиться к актив-

ному осмыслению перемен, происходящих в обществе и в науке о почвах. Только в этом случае обучающиеся смогут найти себе применение на современном рынке труда.



Рис. 3. Практическое занятие по инженерному почвоведению

### ***Задачи инженерного почвоведения и почвенно-ландшафтный инжиниринг***

Спектр проблем, с которым столкнулось инженерное почвоведение, оказался неожиданно широк. И начинается он с необходимости выполнения предпроектного анализа территории - пропедевтики, по Регелю (1990), и участия в поиске оптимального проектного решения, который включает сбор сведений о природной обстановке на объекте благоустройства и анализ соответствия эскизов геохудожника почвенно-ландшафтным условиям, что особенно важно в свете расширяющейся географии ландшафтного строительства. Действительно, для того, чтобы верно составить ассортиментную ведомость растений и разбивочно-посадочный чертеж, рассчитать высоту и устойчивость проектируемых насыпей (амфитеатров, геопластик, валов, холмов, дорожного полотна, смотровых площадок и т.д.) и выемок, оптимальное количество террас, необходимо сориентироваться в почвенно-климатической зональности, иметь представления о продолжительности морозного периода, глубине промерзания и физико-химических свойствах почв, сумме активных температур, характере подстилающих пород и т.д. Очевидно, что предпроектный анализ территории должен базироваться на предварительных инженерно-геологических, почвенно-мелиоративных и гидрологических изысканиях, содержать специальную почвенную карту для целей благоустройства и озеленения территории и решать не только задачу экономической оценки планируемых мероприятий, но и анализ возможности устойчивого развития создаваемого ланд-

шафта в конкретной природной зоне, а также прогноз времени и условий его жизнеспособности.

Результаты предпроектного анализа территории должны быть представлены в виде соответствующих планов предпроектных изысканий, результатов анализа химических и физических свойств почв и грунтов и пояснительной записки - обоснования проектного решения в портфолио проекта.

Важной задачей инженерного почвоведения стала разработка новых современных технологий планировки «нулевого уровня» территории после окончания строительных работ. Тщательное выравнивание поверхности породой, вынимаемой из котлованов, и ее утрамбовывание - наиболее популярный в строительстве прием, создающий серию проблем для дальнейшего окультуривания территорий (рис. 4). В результате этой строительной технологии на поверхности гумусового горизонта формируется водонепроницаемый слой из почвообразующей породы. На нем впоследствии создается 10-20 сантиметровый гумусированный слой среднесуглинистого состава или организуются посадочные ямы из перегноя. Очевидно, что рукотворный дополнительный ярус верховодки или «водные мешки» не обеспечивают в большинстве случаев хорошего качества посадок, а привозной грунт (из черноземных областей) нередко не улучшает, а ухудшает свойства подстилающей его глинистой почвы или породы.

Появилось много нового в технологии осушительных мелиораций - от разработки теоретических обоснований использования инновационных материалов до современных технологий проектирования и строительства дренажных систем. Так, нередко объектами осушения наравне с почвами садов выступают малоэтажные архитектурные формы (дома, бани, гаражи, бассейны, беседки и т.д.) (рис.5).



Рис. 4. Традиционная планировка «нулевого уровня» территории



Рис. 5. Строительство дренажной системы, совмещенной с ливневой канализацией

Два соседних участка одинаковой площади могут коренным образом отличаться по стоимости и конструкции дренажа, тиражируемого для всех усадеб поселка в соответствии с одним и тем же СНиПом. Это связано, во-первых, с архитектурным решением дома, во-вторых, с использованием разного грунта и технологий его укладки на поверхности участка, а значит, с различной структурой внутрипочвенного стока, величинами фильтрации и неодинаковым количеством ярусов верховодки (Зайдельман, Ковалев, 1994; Ковалев, 2007). Каковы механизмы и закономерности движения внутрипочвенной влаги в нарушенных почво-грунтах? Решение этих вопросов, безусловно, лежит в плоскости почвоведения (Смагин и др., 2008). И именно от ответов на них зависит эффективность осушительных систем, появление новых технологий строительства домов, сооружений и инженерных коммуникаций. Дело в том, что пазухи котлованов зданий и сооружений, траншеи коммуникационных трасс имеют обратную засыпку из местного грунта. Даже тщательная послойная утрамбовка этих засыпок, производящаяся вручную (ведь специальные механизмы не загонишь на участок), не исключает формирования «водных мешков» в трещинах набухания-усадки. Этот факт в совокупности с различным количеством глинистых минералов в покровных и моренных суглинках приводит к развитию явлений набухания, деформациям отмостки и отделочных конструкций цоколей и фасадов зданий. Использование же грунтов с более высокими значениями коэффициента фильтрации (песок или щебень) усиливает эффект накопления инфильтрационных вод при отсутствии дренажной системы. В свою очередь, засыпка дренажных траншей местным грунтом резко снижает гидравлическую связь трубы с поверхностными слоями почвы.

Существенно нарушена структура почвенного покрова селитебных территорий, и, следовательно, изменена гидрология ландшафтов: это связано с различной зарегулированностью поверхностного и внутрипочвенного стоков фундаментами зданий, ландшафтных сооружений и заборов, комплексом ландшафтных форм. Необходимо совершенствовать методику расчета междренних расстояний для этих новых ландшафтных условий плотно зарегулированного стока, высокой насыщенности дренажных и оросительных систем (на каждом участке), с различной нагрузкой на дренажные системы, которые совмещаются с ливневым стоком, со стоком из септиков и бассейнов, с разным планом посадок древесных пород и необходимостью герметизации дрен, а также разработкой приемов устройства дренажа вблизи деревьев (Ковалев, 2008). Здесь используется и герметизация дрен, и засыпка траншей шлаком с медным колчеданом, обработка антисептиками, увеличение глубины закладки дренажа и увеличения уклонов дрен, использование объемных фильтров из кокосового волокна (рис.6).

Появление новых изоляционно-фильтрующих полимерных материалов (тефонд, дрениз, энкандрайн, пордрен, унидрен и др.) ставит новые вопросы по оценке эффективности их действия. СНИПов по их применению нет, как нет и исследовательских работ по анализу их поведения в разных типах почв. Это новое направление в сегодняшней практике осушения и в исследованиях траншейных засыпок и процессов установления гидравлической связи поверхностных слоев почв с дренажными трубами. Существенно изменились и сроки проведения дренажных работ, которые теперь выполняются круглогодично (рис.7).



Рис. 6. Технология укладки дрены вблизи деревьев.



Рис. 7. Строительство ревизионного колодца в зимний период.

Одной из задач инженерного почвоведения является дальнейшая разработка теоретических принципов и технологий строительства современных оросительных систем в разных природных зонах. Большинство оросительных систем, используемых сегодня в ландшафтном озеленении, работают, ориентируясь на показания датчиков дождя и метеоусловия. Гранулометрический состав почв при этом не учитывается вовсе, оросительные и поливные нормы не рассчитываются. При этом даже, если к оросительным системам прилагается тензиометр для определения потенциала почвенной влаги, остается непонятным, как им воспользоваться в условиях высокой комплексности посадок? Строительство выборочных несоординированных друг с другом выполненных без учета норм осушения частных осушительных систем вызывает колоссальный осушающий эффект, распространяющийся на окружающую территорию (Kovalev, Huwe, 1999) и приводит к загрязнению водоприемников дренажным стоком, насыщенным выносимыми из осушенного ландшафта соединениями (Ковалев, 2001).

Отдельного внимания заслуживают вопросы закрепления откосов склонов, береговых линий, каналов, оврагов, железнодорожных насыпей и шоссежных дорог. Простота устройства откосов и естественный внешний вид делают их распространенным способом сопряжения поверхностей на объектах ландшафтной архитектуры. Известно, что устойчивость откоса зависит от характеристик почвы или грунта, гидрологического режима, положения в ландшафте, климата, растительности, уровня нагрузки. Параметры высоты и заложения откоса, коэффициент откоса определяются, исходя из гранулометрического состава почв, плотности, деформационных характеристик, оструктуренности и использования структурообразователей. В последние годы появилось много новых технологий закрепления склонов, с которыми необходимо знакомить наших выпускников. Это не только использование структурообразователей (Смагин и др., 2008) или разных видов задернения, но и габионных конструкций, георешеток, геотекстильных материалов, пленок и экструдеров, приемов армирования грунта. Весьма популярны габионы, заполненные почвой или щебнем. Они позволяют сформировать конструкцию требуемой конфигурации, значительно повысить устойчивость склона, и впоследствии становятся частью ландшафта. Основным принципом укрепления откосов является равномерное распределение нагрузок и передача напряжений, действующих в почве, на георешетки и габионы. Основной вопрос практиков – где найти специалиста, умеющего одновременно и рассчитать напряжения, и выбрать газонные злаки и растения для габионов, и выполнить по проектным отметкам склон.

Радикальные экономические и социальные перемены в нашей стране привели к небывалому росту дорожно-транспортного строительства. Транспортные магистрали как инженерные сооружения нарушают природ-

ные ландшафты, изменяют режим стока поверхностных и грунтовых вод, приводят к изменениям в структурах почвенного покрова и свойствах почв, микроклимата, путей миграции животных, биоразнообразия. При строительстве мостовых переходов нарушается гидрологический режим территорий, усиливается эрозия почв с незакрепленных откосов. На дорогах местной сети укрепление откосов, устройство быстотоков, рассеивающих трамплинов и гасителей водной энергии не считается обязательным. Все это неизбежно приводит к разрушению окружающей природной среды и конструктивных элементов самих дорог.

Перспективными направлениями деятельности почвоведов на всех уровнях дорожно-транспортного строительства является: а) участие в изыскательских работах и проектировании полотна дороги вдоль заданной линии с соблюдением расчетных уклонов, б) в проектировании и строительстве нагорных и водоотводных каналов, придорожных кюветов, в) закреплении склонов растительностью, глинистой суспензией на песчаных почвах, битумной эмульсией на железнодорожных насыпях, подпорными стенками, полимерными материалами и т.д., и в защите почв от эрозии, г) лесонасаждении, е) в разработке и строительстве шумозащитных почвенно-грунтовых валов. К сооружениям, непроницаемым для акустических колебаний, относятся откосы выемок с различными геометрическими параметрами. Заглубление магистрали относительно общего уровня поверхности прилегающей территории позволяет обеспечить рекомендуемые санитарными нормами уровни шума на расстоянии 40-50 м от улиц и дорог. Это очень востребованная технология для коттеджных и дачных поселков, расположенных вдоль автомагистралей. Оптимальная ширина такого сооружения 10-20 м, наиболее эффективная форма – треугольная с более пологой стороной – в сторону поселка, максимально крутой – к источнику шума, засаженная кустарниками и хвойными растениями в шахматном порядке, почвенный покров должен быть армирован. В небольших немецких городах защиту от шума осуществляют с помощью хорошо озелененных грунтовых валов высотой около 2 м, шириной до 6-9 м вдоль крупных магистралей. Эффективность грунтовых валов значительно повышается при использовании на них дополнительных стенок-экранов из шумопоглощающих материалов (вермикулит, перлит, пластик, геотекстиль). Грунт для кавальеров используется местный, оставшийся при строительстве дорог.

Проблема организации мусорных свалок в городах и поселках также требует сегодня участия специалистов-почвоведов. По принципу действия методы обезвреживания и переработки отходов делятся на: 1) ликвидационно-термические (сжигание), 2) ликвидационно-биологические (складирование на полигонах), 3) утилизационные биологические или компостирование. При разработке технологий утилизации бытовых отходов знания почвоведения необходимо на всех этапах процесса: при анализе почв и

грунтовых вод, при расчете времени перегнивания, при разработке технологии освобождения от патогенных микроорганизмов, тяжелых металлов, при сборе полезных биогенных газов в результате этого производства, при устройстве очистительных водоемов, при расчете параметров насыпи складирования, при выборе грунта для консервации и способов его уплотнения, при расчете параметров поверхностного и внутрипочвенного стоков, не говоря уже об определении коэффициента фильтрации, потенциала почвенной влаги и т.д., при устройстве дренажной системы в основании такого склона, при армировании грунтов геотекстилем, геомембранами, геосетками, габионными и армогрунтовыми конструкциями, при выращивании тест-растений, использовании методов экстремального озеленения, биоматов и биотекстиля, составлении ассортиментной ведомости с учетом почвенно-климатических факторов

Целая серия проблем связана с отсутствием почвоведов и знаний о почвах в фирмах и государственных институтах, организующих канализационные системы, поля аэрации и фильтрации, и устанавливающие частные септические станции.

Гидропластика рельефа – или искусство сооружения гидротехнических объектов - также требует знаний о почвах. Сюда входит разработка технологий строительства искусственных и естественные декоративных, спортивных, рыбоводческих, рекреационных, ирригационных водоемов и водоемов-отстойников, бассейнов, ручьев и каналов, каскадов, плотин, акведуков, водопадов, фонтанов, сухих русел, рек, запруд, дамб, водозаборных скважин, гаваней и т.д. Проблемы выбора грунта и расчет площадей и объемов его отсыпки решается в рамках вертикальной планировки рельефа. Самый болезненный сегодня запрос практики – где взять специалиста по вертикальной планировке рельефа, владеющего знаниями о почвах и грунтах.

Вертикальная планировка – это комплекс мероприятий, направленных на частичное или полное преобразование рельефа в целях реализации проекта благоустройства территории. При разработке проекта вертикальной планировки последовательно решается ряд задач: выделение и анализ характерных форм рельефа, определение крутизны склонов, построение продольного профиля по горизонталям плана, прокладка линии заданного уклона, определение границ водосборной площади, построение полей невидимости, абриса, перспективы, ракурсов местности, макета, определение по заданному значению уклона проектных отметок будущего рельефа, нанесение на план проектных горизонталей, проектирование необходимых инженерных сооружений – поглощающих и смотровых колодцев, подпорных стенок, определение объемов земляных работ по всей территории и по отдельным ее участкам. Именно в рамках вертикальной планировки территории разрабатываются инженерные мероприятия по обеспечению отвода вод поверхностного и внутрипочвенного стоков, проекты создания пласти-



чески выразительных форм рельефа в соответствии с замыслом проектировщика: альпийских горок, партеров, водопадов, гротов и амфитеатров, геопластик, валов и пр., выполняется расчет посадочных ям и выбор грунта для них в соответствии с разбивочно-посадочным чертежом, ведется проектирование и организация дорожной сети, проектирование и выведение на нулевой уровень детских и спортивных площадок, устройство специальных сооружений – лестниц, пандусов, подпорных стен, прилегающий ландшафт увязывается с территорией застройки.

При расчетах и строительстве подпорных стенок в укрепительных и декоративных целях также требуются результаты анализа физических свойств почв и гидрологического режима территории, расчеты нагрузок и деформаций. Для всех подпорных конструкций на ленточных фундаментах во избежание деформаций необходимо разрабатывать дренаж – пластовый, продольный или поперечный.

К задачам инженерного почвоведения можно отнести необходимость разработки почвенно-инженерных конструкций для городского строительства, имея в виду хотя бы озеленение крыш – очень модное (востребованное) направление современного городского дизайна.

Безусловно, методы инженерного почвоведения окажутся полезными при разработке технологий инженерных конструкций в сельском и лесном хозяйстве, экотехнологий рекультивации почв и реставрации ландшафтов на местах бывших мусорных свалок и воинских частей, кладбищ и карьеров, осушенных торфяников и нефтезагрязненных территорий. Именно в этой сфере прикладного почвоведения достаточно много уже и практических, и теоретических разработок.

Предоставление услуг по доведению научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок до стадии производства носит название инжиниринга. Мы расширили смысл термина до почвенно-ландшафтного инжиниринга, вкладывая в него не только внедрение разработанных технологий, но и авторский надзор за их исполнением, так как само строительство ландшафтно-инженерных объектов в живой динамичной природной среде – тоже процесс творческий. «Идеалом саδοстроителя, по Регелю (1990) является тот, кто хоть до известной степени соединяет в себе теорию с техникой». При отсутствии же авторского надзора, по мнению известного архитектора, реализацию проекта ждет, или «несоразмерный расход, или баснословная чушь».

Очевидно, что работа с почвами частных земельных владений не терпит застывших границ, зависит от объема сметы и пожеланий и пристрастий землевладельцев, но в ней есть место творчеству, фантазии, чувству времени. По сравнению с сельскохозяйственными угодьями, в большинстве случаев площади применения сил и знаний ограничены, хотя последние иногда тоже достигают десятков и сотен гектар, но результаты, в любом случае достижимы быстрее, а ответственность выше.

### *Заключение*

Таким образом, становление экологического почвоведения, с одной стороны, и наличие инженерных систем и инженерных свойств у самой почвы, которые прекрасно были изложены проф. В.Е.Х. Блюмом (устное сообщение на факультете почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова, 2011), с другой, определяют теоретическую базу и возможность выделения в рамках почвоведения такого практического направления, как инженерное почвоведение. Его дальнейшее развитие соответствует и лучшим традициям русского садового зодчества (Ковалева, Ковалев, 2010; Ковалев, 2011), ведь русская усадьба стала источником вдохновения и для художников, и для естествоиспытателей: и почвоведов, и архитекторам одинаково дороги имена Энгельгарда и Болотова. Запросы практики делают насущной и востребованной практическую значимость этого направления (Ковалев, Ковалева, 2010). А наличие специалистов, владеющих комплексом всех необходимых знаний по геодезии, картированию, агрохимии, ландшафтному планированию и оценке земель, физике и мелиорации, эрозии и общему почвоведению, которых мы можем предложить рынку труда, обучив инженерному почвоведению, обеспечит развитие почвенно-ландшафтного инжиниринга во всех сферах жизнедеятельности.

### *Литература*

- Владыченский С.А. Сельскохозяйственная мелиорация почв. М: Изд-во МГУ, 1964, 415 с.
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экологические функции почв. М: Изд-во МГУ, 1986, 137 с.
- Зайдельман Ф.Р., Ковалев И.В. Эколого-гидрологическая оценка светло-серых оглеенных почв, осушенных бестраншейным и траншейным дренажом. // Почвоведение. 1994, № 1, с. 116-127.
- Замотаев И.В., Белобров В.П. Почвогрунты и зеленые газоны спортивных и технических сооружений. М.: ГЕОС, 2007. 168 с.
- Карпачевский Л.О., Зубкова Т.А., Ковалева Н.О., Ковалев И.В., Ашинов Ю.Н. Почва в современном мире. Опыт популярного изложения вопросов современного почвоведения. – Майкоп: ОАО «Полиграф-Юг», 2008, 164 с.
- Ковалев А.И. Усадебное строительство в России как новое социально-экологическое явление и фактор классового расслоения общества. // Молодежная конференция «Ломоносов-2011», секция психология, М: МГУ, с. 45.
- Ковалев И.В. Сезонная динамика и состав дренажного стока в серых лесных оглеенных почвах. // Мелиорация и водное хозяйство. 2001, № 1, с.32-34.
- Ковалев И.В. Методические особенности лабораторного определения коэффициента фильтрации в тяжелосуглинистых почвах методом Хануса

- //Электронный журнал «Доклады по экологическому почвоведению», 2007, выпуск 5, N 1, с. 61-81. <http://jess.msu.ru>.
- Ковалев И.В. Особенности устройства дренажа на объектах малоэтажного и ландшафтного строительства. // I Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Фундаментальные достижения в почвоведении, экологии, сельском хозяйстве на пути к инновациям». Москва-2008, с. 132-134.
- Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Кондиционер для почвы, или что такое дренаж. //Сад своими руками. № 6, 2003, с. 36-38.
- Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Почвы легкие и тяжелые //Сад своими руками. № 1, 2004, с. 19-21.
- Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Торф – почва или удобрение? //Сад своими руками. № 8, 2004, с. 38-39.
- Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Почвоведение для целей ландшафтного дизайна. Почвоведение: история, социология, методология / Отв. Ред. В.Н. Кудеяров, И.В. Иванов. – М.: Наука, 2005, с. 210-214.
- Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Инженерное почвоведение и почвенно-ландшафтный инжиниринг. //Научные основы экологии, мелиорации и эстетики ландшафтов. М., 2010, с. 309-314.
- Ковалев И.В., Ковалева Н.О. «Горящее лето» 2010- результат отсутствия почвенно-ландшафтного инжиниринга. //Украина, Судак, 2010, [http://www.isras.ru/files/File/Seminar/20\\_SEI\\_KULPIN.pdf](http://www.isras.ru/files/File/Seminar/20_SEI_KULPIN.pdf)
- Ковалева Н.О. О необходимости смотреть под ноги, или чем опасна почва. //Сад своими руками. № 12, 2002, с. 11-13.
- Ковалева Н.О., Ковалев И.В. Сад на кислых почвах. //Сад своими руками. № 9, 2003, с. 37-39.
- Ковалева Н.О., Ковалев И.В. Где лежит вода. //Сад своими руками. № 6, 2004, с. 11-13.
- Ковалева Н.О., Ковалев И.В. Изменение структуры почвенного покрова в результате ландшафтного строительства. // Пространственно-временная организация почвенного покрова: теоретические и прикладные аспекты. Санкт-Петербург, 2007, с. 447-449.
- Ковалева Н.О., Ковалев И.В. Инженерное почвоведение и почвенно-ландшафтный инжиниринг // I Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Фундаментальные достижения в почвоведении, экологии, сельском хозяйстве на пути к инновациям». Москва-2008, с. 134-135.
20. Ковалева Н.О., Ковалев И.В. Усадебное строительство в России как новый способ освоения окружающей природной среды и элемент ландшафтной политики // Украина, Судак, 2010, [http://www.isras.ru/files/File/Seminar/20\\_SEI\\_KULPIN.pdf](http://www.isras.ru/files/File/Seminar/20_SEI_KULPIN.pdf).
- Костяков А.Н. Основы мелиораций. М-Л: Изд-во колхозной и совхозной литературы. 1933, 887 с.

- Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л., «Недра», 1977, 479 с.
- Основы инженерной биологии с элементами ландшафтного планирования: учебное пособие для студентов биологических и технических специальностей. Майкоп. – М: Т-во научных изданий КМК, 2006, 281 с.
- Пашкин Е.М. Инженерная геология: Учебное пособие. – М.: Архитектура-С, 2005. – 264 с.
- Почвы, город, экология /Под общей ред. Акад. РАН Г.В.Добровольского. – М: Фонд «За экономическую грамотность», 1997, 320 с.
- Прокофьева Е.Ю. Социально-экологические инновации в планировке загородных поселений. //Автореферат на соискание ученой степени кандидата архитектуры. М. 2010, 21 с.
- Регель Арнольд. Изящное садоводство и художественные сады. М, 1990, 74 с.
- Розов Л.П. Мелиоративное почвоведение. М: Сельхозгиз. 1956, 415 с.
- Сабо Е.Д., Кормилицына О.В., Бондаренко В.В. Гидротехнические мелиорации ландшафта: Учебное пособие для студентов спец. 260500. Ч. 1. – М.: МГУЛ, 2004. – 124.
- Садовникова Н.Б. Влияние сильнонабухающих полимерных гидрогелей на физическое состояние почв легкого гранулометрического состава. // Автореф. на соиск. уч. степени к.б.н. М., 2008, 25 с.
- Смагин, А.В., Шоба С.А., Макаров О.А. Экологическая оценка почвенных ресурсов и технологии их воспроизводства (на примере г. Москвы). – М.:Изд-во МГУ, 2008. -360 с.
- СНиП 2.07.01-89 «Градостроительство, планировка и застройка городских территорий и сельских поселений».
- СНиП 2.06.15.85 «Инженерная защита территории от затопления и подтопления».
- СНиП 2.06.03-85 «Мелиоративные системы».
- СНиП 30-02-97 «Планировка и застройка территорий садоводческих объединений граждан, зданий и сооружений».
- СНиП 2.06.14.85 «Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод».
- СНиП 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик».
- СНиП 2.06.01-86 «Гидротехнические сооружения. Основные положения по проектированию».
- СНиП 2.06.05-84 «Плотины из грунтовых материалов».
- СНиП 2.01.01.-82 «Строительная климатология и геофизика».
- Собрание законодательства Российской Федерации, М., 2006.
- Сударенков В.В. Ландшафтная политика: наши надежды, неуспехи и предложения. //Научные основы экологии, мелиорации и эстетики ландшафтов. М., 2010, с. 9-11.

- Теодоронский В.С., Сабо Е.Д., Фролова В.А. Строительство и эксплуатация объектов ландшафтной архитектуры. М.: Издательский центр «Академия», 2007, 352 с.
- Трофимов и др. Грунтоведение. М: Изд-во МГУ, 2005, 1024 с.
- Усова Н.В. Геодезия: Учебник. – М.: Архитектура-С, 2004. – 224 с.
- Eggelsmann R. Dränenleitung. Fur Landbau, Ingenieurbau und Landschaftsbau/ Zweite, neubearbeitete und ergänzte Auflage. Verlag Paul Parey. Hamburg und Berlin. 1981.
- Kovalev I.V., Huwe B. Auswirkung von Draenagemassnahmen auf Wasser- und Stofftransport von hellgrauen gleyartigen Waldboeden im Stupinsker Bezirk bei Moskau. // Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. Band 91. Heft 1, 1999. S. 207-210.

## Методологические принципы экономической оценки почвенных и земельных ресурсов

### *История вопроса*

В последнее время в России вопросы оценки стоимости земли приобрели довольно большое значение. Это обусловлено происходящими процессами становления и развития земельного рынка в стране. Оценка стоимости земли требуется при совершении сделок с имуществом, при выкупе земельных участков у государства, при установлении земельного налога, и еще в целом ряде случаев. Методов оценки земли и показателей ее стоимости довольно много. К последним относятся рыночная стоимость, инвестиционная стоимость, справедливая стоимость, кадастровая стоимость, общая экономическая ценность и т.д. Чтобы разобраться в этих показателях, понять, какой экономический смысл за ними стоит и как их можно рассчитать, требуется знание экономической теории стоимости, теории оценки и практики оценки земли, учитывающей национальные особенности правового поля и состояние экономики страны.

Исторически сложилось так, что в стране вопросами оценки стоимости земли занимались довольно много и давно. Только в советские времена, начиная с 60-х годов прошлого столетия, было проведено четыре тура оценки сельскохозяйственных угодий. Последний тур проводился в 1989 году. Сельскохозяйственные земли оценивались по плодородию<sup>1</sup>. Земли населенных пунктов оценивались по затратам на создание инженерной инфраструктуры. Основной целью оценочных работ было определение величины земельных платежей.

Однако, большой опыт работ земельнооценочных работ советского периода не решил проблему выработки приемлемой для современных условий методологии оценки земли. В настоящее время государственные службы практически заново решают те же задачи, которые были поставлены еще в шестидесятых годах.

Можно выделить три основные проблемы оценки земли, которые требуется решать для практических целей принятия тех или иных решений:

- оценка земли как природного ресурса и национального достояния – это макроуровень принятия решений;
- оценка земли как товара для конкретных сделок – это микроуровень принятия решений, и

---

<sup>1</sup> Методология оценки сельскохозяйственных земель того периода наиболее полно раскрыта в работах Е.С. Карнауховой.

– оценка земли для государственных нужд – это макро- и микроуровень принятия решений в зависимости от конкретного назначения оценки.

Первая проблема довольно хорошо решалась в советское время методами, отвечающими задачам плановой экономики. В этой связи нельзя не упомянуть работы таких известных советских ученых, внесших огромный вклад в экономическую науку в части рентных оценок, как Т.С. Хачатуров и К.Г. Гофман, Д.С. Львов, посвященные вопросам оценки земли и других природных ресурсов. Их труды не утратили актуальности и в настоящее время.

Сейчас эта проблема приобрела иной оттенок. Методы ее решения не знакомы оценщикам, так как вырабатываются не теорией оценки, а другой экономической наукой – экологической экономикой.

Методы оценки земли как товара нашли свое развитие в теории оценки стоимости и хорошо известны оценщикам из Международных стандартов оценки, и из американской практики.

Третья проблема - оценки земли для государственных нужд - до сих пор в методологическом плане не решена и требует своего развития. Данная проблема касается вопросов оценки земли и связанного с ней имущества для целей налогообложения и установления аренды платежей за государственные и муниципальные земли.

### ***Понятия земли и земельных ресурсов***

Землей называется не занятая водой поверхность Земного шара, вместе с расположенными на ней природными объектами (почвами, растительностью) и объектами, являющимися результатом деятельности человека (зданиями, строениями и сооружениями).

Земли, пригодные для жизнедеятельности человека, а также земли, занятые природными экосистемами, называются земельными ресурсами.

Земли могут использоваться для размещения домов, промышленных предприятий, ведения сельского и лесного хозяйства, и других видов работ.

Земли, используемые для получения сельскохозяйственной продукции, называют сельскохозяйственными угодьями, для ведения лесного хозяйства – лесными угодьями, для ведения охотничьего хозяйства – охотничьими угодьями.

К почвенным ресурсам относится почвенный покров земли, состоящий из совокупности почв различных типов, расположенных на определенной территории или земельном участке.

Очень часто почвенные ресурсы отождествляют с земельными. Однако это не так. Почвенный слой в экономическом отношении является естественным улучшением земли (земельного участка), рассматриваемой в виде территории. Расположенные на земельных участках здания, строения и сооружения являются их искусственными улучшениями.

Земля, почвенный слой и все то, что находится на поверхности земли, образует единый объект недвижимости. Этот объект недвижимости создает поток выгод, определяющих экономическую оценку земельных и почвенных ресурсов, а также рукотворных объектов, расположенных на земле. Земля также представляет собой экономический объект с неотъемлемыми правами владения на нее, и является товаром, который может продаваться на рынке. Собственно товаром являются конкретные земельные участки с обозначенными границами и установленными юридическими правами на них.

Экономическое и юридическое понятие земельного участка часто не совпадают. Экономическое понятие подразумевает, что земельным участком является конус, берущий начало в центре земли и заканчивающийся в безвоздушном пространстве (единый объект недвижимости). Юридическое понятие может в разных странах как совпадать, так и не совпадать с экономическим понятием. В США эти понятия совпадают. В Германии под земельным участком понимается поверхность земли со всеми рукотворными и нерукотворными объектами, находящимися на ней, а также пространство, расположенное на 5 метров ниже поверхности земли.

До 2009 года у нас в стране под земельным участком понималась часть поверхности земли (в том числе почвенный слой), границы которой описаны и удостоверены в установленном порядке<sup>2</sup>. Из этого определения следовало, что почвенный слой принадлежит собственнику и владельцу земельного участка и может использоваться им по своему усмотрению. В 2009 году в юридическое определение земельного участка были внесены изменения, в соответствии с которыми почвенный слой больше не является принадлежностью земельного участка. Под земельным участком стала пониматься часть земной поверхности, границы которой определены в соответствии с федеральными законами<sup>3</sup>. Это определение действует до настоящего времени<sup>4</sup>.

Гражданским кодексом РФ земельные участки отнесены к недвижимому имуществу, которым является «все, что прочно связано с землей, то есть объекты, перемещение которых без несоразмерного ущерба их назначению невозможно, в том числе здания, сооружения, объекты незавершенного строительства»<sup>5</sup>. Почвы в Гражданском кодексе РФ не упоминаются. Они не признаются имуществом<sup>6</sup>. Федеральным законом об охране окру-

---

<sup>2</sup> Земельный кодекс РФ от 25.10.2001 N 136-ФЗ в редакции на 22.07.2008.

<sup>3</sup> Земельный кодекс РФ от 25.10.2001 N 136-ФЗ в редакции на 14.03.2009.

<sup>4</sup> Земельный кодекс РФ от 25.10.2001 N 136-ФЗ в редакции на 06.12.2011.

<sup>5</sup> Гражданский кодекс РФ (ГК РФ) от 30.11.1994 N 51-ФЗ - Часть 1.

<sup>6</sup> В общепринятой международной практике оценки под имуществом понимается физический объект и связанные с ним права собственности и интересы. Считается, что объекты, которые не могут находиться в чьей-то собственности, к имуществу не относятся (Микерин, Смоляк, 2010). В России понятие «имущество» имеет более узкий смысл. Оно понимается только как отдель-



жающей среды они отнесены к компонентам природной среды<sup>7</sup>. Поскольку права собственности на компоненты природной среды не устанавливаются и не регистрируются, то юридический статус почв, расположенных на земельных участках, остается в отечественном законодательстве не ясным.

В то же время почвы, снятые с поверхности земли, могут считаться имуществом, так как попадают под определение вещи, признаваемое в гражданском праве<sup>8</sup>.

С позиций экономической оценки земля является одним из главных источников богатства стран и народов, которое в экономических терминах может иметь денежное выражение в виде стоимости. Экономическая концепция земли как источника богатства и объекта стоимости является главной в теории оценки стоимости.

Основной особенностью земли, определяющей методологию ее стоимостной, оценки, является двойственный характер распределения выгод и полезностей, создаваемых землей.

С одной стороны, земля представляет собой природный ресурс, обладающий рядом полезностей для определенного сообщества людей или общества в целом. Значительная часть этих полезностей и связанных с ними выгод носит нематериальный характер и создается экстерналиями<sup>9</sup>. На них не распространяются права собственности, они не являются товаром и не продаются на открытых рынках. Такими полезностями являются: возможность проживания в сложившейся среде, возможность коллективного использования благ, связанных с данной территорией, например, посещения водных объектов, лесов, парков, объектов исторического и природного наследия, возможность созерцания красивых ландшафтов и т.д.

С другой стороны, земля в виде земельных участков является товаром, приносящим выгоду только его собственнику или владельцу. Земля также относится к основным средствам производства в сельском и лесном хозяйстве и является осязаемым активом предприятий и организаций.

---

ная вещь или совокупность вещей без учета связанных с ними прав и интересов (статьи 301-303, 305 ГК РФ).

<sup>7</sup> Федеральный закон "Об охране окружающей среды" от 10.01.2002 N 7-ФЗ.

<sup>8</sup> «Вещами в гражданском праве признаются предметы материального мира, представляющие ценность для человека, способные удовлетворять потребности субъектов гражданских правоотношений, выступать предметом товарообмена». Вещи как объекты гражданских прав, понятие, классификации вещей и их правовое значение. // <http://legalquest.ru/grazhdanskoe-pravo/veshhi-kak-obekty-grazhdanskix-prav-ponyatie-klassifikacii-veshhej-i-ix-pravovoe-znachenie.html>.

<sup>9</sup> Термин «экстерналии» был введен в 1920 году Артуром Пигу в книге «Теория благосостояния». Он означает «внешние эффект» и проявляется во влиянии деятельности одного субъекта на благосостояние другого. Экстерналии могут быть отрицательными и положительными. Отрицательные экстерналии возникают в случае, когда деятельность одной стороны вызывает издержки у других сторон, уменьшение их благосостояния. Положительные – когда деятельность одной стороны приносит выгоды другим, увеличивает их благосостояние.

Вследствие того, что использование земельного участка, выгодное одному человеку, может привести к экономическим, материальным и моральным потерям других людей и общества в целом, использование земли как природного ресурса во всех странах регламентируется законами и ограничивается для нахождения баланса интересов разных групп.

Между группами людей, которые придерживаются различных взглядов в отношении правильного использования земли, нередко возникают конфликты. Те, кто считают, что земля является ресурсом, принадлежащим всем людям, хотят сохранить ландшафтную красоту земли и ее важнейшие экологические функции. Другие рассматривают землю главным образом как ликвидный товар. Они считают, что общество больше выигрывает от частного, неограниченного владения. Поскольку земля является как ресурсом, так и товаром, то однозначного решения данного противоречия не существует<sup>10</sup>.

Одним из способов решения данной проблемы является изъятие части выгод, создаваемых земельными участками, находящимися в частных руках, в доход общества посредством взимания государством земельного налога.

Земля как природный ресурс может обладать публичной или общественной ценностью при отсутствии рыночной стоимости, так как не все связанные с ней полезности могут быть проданы на открытом рынке.

Земля как товар обладает рыночной стоимостью, так как может быть продана на открытом рынке в виде земельных участков.

Различия в расчете показателей общественной ценности земли как природного ресурса и стоимости земли как товара заключается в применении специальных приемов, позволяющих выявить ценность благ, рынок которых отсутствует. Данные технологии основаны на моделировании суррогатных рынков и выявлении субъективных предпочтений потребителей.

### ***Объекты оценки земли и сферы их экономических измерений***

Исходя из двойственной природы земли, объектами ее экономической оценки могут выступать:

- земельные ресурсы в виде определенных территорий;
- почвенные ресурсы в виде почв и почвенного слоя на определенной территории;
- почвы, снятые с земельного участка, в виде естественного растительного грунта;
- земельные участки в виде недвижимого имущества;
- земельные участки в виде объектов налогообложения;

---

<sup>10</sup> Оценка недвижимости. Русский перевод 11-го издания учебника по оценке недвижимости, 2001. (Appraisal of real estate, Appraisal institute, 2001, 12 ed. ).

– земельные участки в виде земельных активов предприятий.

Стоимостные оценки перечисленных выше объектов являются разными видами экономических измерений, подчиняющихся своим принципам и использующих свои методические приемы.

Стоимостная оценка земельных и почвенных ресурсов является сферой научных исследований, направленных на выявление и измерение в денежном выражении нерыночных ценностей данных ресурсов. Результаты подобных исследований нужны при принятии управленческих решений, связанных с выбором и обоснованием вариантов развития определенных территорий и сохранением на них природных объектов.

Оценка почв, снятых с земельного участка, относится к сфере ценообразования. Результатом таких измерений являются цены на продаваемые организациями естественные растительные грунты.

Оценка земельных участков как недвижимого имущества является сферой профессиональной оценочной деятельности. Ее результатом являются показатели рыночной и нерыночной стоимости земельных участков, отражающие выгоды от владения этими участками. В этом случае стоимость представляет собой расчетную (или оценочную) величину, о которой оценщик выносит свое суждение, основанное на правилах и принципах оценки, выработанных теорией оценки стоимости. Целью оценки стоимости обычно является подготовка информации для осуществления какой-то сделки или для оценки результатов уже совершенной сделки.

Основные принципы и методы оценки стоимости имущества, включая и земельные участки, применяемые в оценочной деятельности, были сформулированы теорией оценки стоимости, возникшей в конце XIX в. и развивающейся, как прикладная наука, до настоящего времени. Глобализация рынков и развитие международных связей, произошедшее в конце XX века, потребовали выработки общих для мировой экономики принципов и правил измерения стоимости, что привело к формированию Международных стандартов оценки (МСО). Целью МСО стало установление понятий и принципов оценки стоимости, которые применимы ко всем типам имущества в интересах повышения согласованности, прозрачности и укрепления доверия к оценочному процессу. Первая редакция Международных стандартов оценки была опубликована в 1985 г. В настоящее время принята 9-ая редакция МСО, вышедшая в 2011 году (МСО-2011). В Евросоюзе приняты Европейские стандарты оценки (ЕСО). Кроме международных стандартов оценки оценочную деятельность в каждой стране регламентируют национальные стандарты оценки. В России - это Федеральные стандарты оценки № 1-4 и Федеральный закон об оценочной деятельности (ФЗ - 135).

Оценка земельных участков как объектов налогообложения является сферой государственной профессиональной оценочной деятельности, называемой у нас в стране государственной кадастровой оценкой земель. Ее

результатом являются либо налогооблагаемая база по земле<sup>11</sup>, либо показатель, используемый для расчета налогооблагаемой базы<sup>12</sup>. В России результаты государственной кадастровой оценки земель также используются для расчета ставок арендной платы за землю, и в случае сдачи в аренду земельных участков, находящихся в государственной и муниципальной собственности. Показатели кадастровой оценки носят характер нормативной или назначенной государством оценки. Они рассчитываются по иным принципам нежели рыночная стоимость и отражают мнение государства о том, что должно быть налогооблагаемой величиной для оцениваемого имущества. Методы определения кадастровой стоимости изложены в утвержденных на государственном уровне методиках оценки и Федеральном стандарте оценки №4. Эти методы относятся к методам массовой оценки, когда одновременно оценивается большое количество объектов, и в силу этого существенно отличаются от методов индивидуальной оценки рыночной стоимости.

Оценка земельных участков как активов предприятий проводится для целей финансовой отчетности и является сферой бухгалтерских (финансовых) измерений (бухгалтерского учета и аудита). Результатом такой оценки является справедливая стоимость, которая также как и рыночная стоимость является оценочной величиной. Оценка для целей бухгалтерской отчетности на международном уровне регламентируется Международными стандартами финансовой отчетности (МСФО), а у нас в стране Правилами бухгалтерского учета (ПБУ).

### ***Предмет оценки стоимости земли***

Предметом оценки стоимости земли является рыночная и нерыночная стоимость земельных участков.

Предметом оценки стоимости земли также может быть общая экономическая ценность связанных с землей нерыночных природных благ, включая почвы.

Согласно МСО, «стоимость представляет собой цену, о которой наиболее вероятно должны договориться покупатель и продавец товаров или услуг, имеющих для покупки. Стоимость является не фактом, а расчетной величиной цены конкретных товаров и услуг в конкретный момент времени в соответствии с выбранным толкованием стоимости. Считается, что экономическое понятие стоимости отражает взгляд рынка на выгоды, получаемые тем, кто является собственником данных товаров или пользует-

---

<sup>11</sup> У нас в стране – это кадастровая стоимость земельного участка.

<sup>12</sup> Примером может служить США, где вначале определяется некая расчетная величина стоимости, а затем на ее основе посредством применения понижающих коэффициентов рассчитывается налогооблагаемая база.

ется данными услугами на дату оценки»<sup>13</sup>. МСО дают следующее определение рыночной стоимости: это «расчетная денежная сумма, за которую состоялся бы обмен имущества на дату оценки между заинтересованным покупателем и заинтересованным продавцом в результате коммерческой («на расстоянии длины руки») сделки после проведения надлежащего маркетинга, при которой каждая из сторон действовала бы, будучи хорошо осведомленной, расчетливо и без принуждения»<sup>14</sup>.

В России в соответствии с законом об оценочной деятельности, под рыночной стоимостью понимается наиболее вероятная цена, по которой данный объект оценки может быть отчужден на открытом рынке в условиях конкуренции, когда стороны сделки действуют разумно, располагая всей необходимой информацией, а на величине цены сделки не отражаются какие-либо чрезвычайные обстоятельства.

Применительно к земле это означает, что рыночная стоимость земельного участка — это цена, которую можно было бы получить на открытом рынке незастроенных земельных участков в соответствии с физическими свойствами земельного участка и правовыми, экономическими условиями обычных деловых операций без учета необычных или личных отношений. Под обычными деловыми операциями понимаются условия совершения сделок, формирующие такой рынок земельных участков, на котором:

- ни покупатель, ни продавец не действуют под давлением или по принуждению;
- и покупатель, и продавец не действуют в соответствии со сложившейся практикой продаж;
- стоимость определяется исключительно объективной возможностью стабильного использования земельного участка.

Кроме рыночной стоимости, земельные участки могут обладать инвестиционной стоимостью, справедливой стоимостью и синергической стоимостью.

Инвестиционная стоимость представляет собой величину, отражающую выгоды, получаемые от владения имуществом, и потому не обязательно подразумевает гипотетический обмен. К инвестиционной стоимости может относиться стоимость при текущем использовании земельного участка, отличающаяся от рыночной стоимости как в большую, так и в меньшую сторону.

Справедливая стоимость представляет собой денежную сумму, за которую может быть обменян актив в коммерческой сделке между хорошо

---

<sup>13</sup> Международные стандарты оценки. Восьмое издание 2007 (МСО 2007) / Пер. с англ. М.: Российское общество оценщиков. 2008.

<sup>14</sup> Там же.

осведомленными, заинтересованными сторонами, без его выставления на рынке.

Синергическая стоимость представляет собой дополнительный элемент стоимости, образующийся счет сочетания нескольких имущественных интересов.

Справедливая и синергическая стоимости могут отражать специфические преимущества (или неудобства) оцениваемого объекта для участвующих в сделке сторон, а не для рынка в целом<sup>15</sup>.

Так как и рыночная стоимость, и другие стоимости в конечном счете отражают выгоды от владения активом, то оценка этих стоимостей является, по сути, измерением указанных выгод, создаваемых оцениваемым имуществом<sup>16</sup>.

### *Земельная рента*

Рента является ключевым понятием в оценке стоимости земли и любых природных ресурсов. Слово «рента» происходит от позднелатинского «*rendita*», означающего отданная назад, возвращенная. В разных языках это слово имеет различное значение. Так в немецком языке словом «*rente*» обозначается пенсия, в английском (*rent*) - арендная или квартирная плата, во французском (*rente*) - ежегодный доход, получаемый владельцем по облигациям государственных займов.

Общим смыслом для всех перечисленных значений является получение дохода, не связанного непосредственно с трудом. Словом «рента» обычно обозначается регулярно получаемый доход с капитала, имущества или земли, не требующий предпринимательской деятельности.

Представление о ренте как дополнительном доходе, возникающем при использовании земли в виде избытка между рыночной стоимостью произведенного товара и затратами на его производство, было впервые введено Томасом Мальтусом и Давидом Рикардо и развито Йоханом Генрихом фон Тюненом.

Источник ренты Рикардо видел в плодородии почвы. Генри Джордж объяснял ренту как разницу между плодородием конкретного участка и участка с наименьшей продуктивностью.

Например, на одном участке земли можно вырастить 12 центнеров пшеницы, а на другом участке при прочих равных условиях и затратах труда и техники – 60 центнеров. После вычета из суммы от продажи пшеницы всех затрат и прибыли, считающейся нормальной для существующих условий производства, в первом случае образуется остаток, равный 100 рублям. Во втором случае образуется остаток равный 300 рублям. Разница между этими остатками и будет рентой, созданной собственно землей за

---

<sup>15</sup> Микерин Г.И., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов и стоимостная оценка имущества: врозь или вместе? – М.: ЦЭМИ РАН. 2012

<sup>16</sup> Там же.

счет лучших природных свойств второго земельного участка – климата, почвы и др.

Тюнэн расширил и усовершенствовал понятие ренты Риккардо. Он установил зависимость получаемого избыточного дохода от доступности или местоположения земельного участка по отношению к местам сбыта продукции.

Согласно Тюнену, рента возникает на земельных участках лучших по своему местоположению в результате уменьшения транспортных издержек. Например, урожайность первого и второго участка одинакова, одинаковы и затраты на обработку этих участков. Но первый участок расположен ближе к рынкам сбыта, чем второй. Поэтому первый участок создает более высокую ренту, чем второй из-за меньших транспортных издержек по доставке продукции.

Применительно к земле и природным ресурсам считается, что рента – это та часть дохода, который образуется не собственным трудом предпринимателя, а благодаря природным свойствам самой земли или природного объекта. То есть, под рентой понимают сверхприбыль, возникающую при использовании лучших по качеству и местоположению любых природных объектов, неважно, будь то земля, лес или месторождение полезных ископаемых. Худшим считается объект, при использовании которого сверхприбыль не возникает.

В современной экономической науке рента понимается более расширительно, чем сверхприбыль, получаемая от использования природных ресурсов. Рентой считается отдача на любой фактор производства, предложение которого ограничено.

Факторами производства называются ресурсы, используемые в производстве. Они одновременно являются и затратами на получение какого-то товара.

Основными факторами производства являются: земля в ее расширительном толковании, труд, капитал и предпринимательские усилия.

Земля – это источник получаемых благ. Труд – это способности человека, которые могут быть применены при производстве благ. Капитал – это здания, оборудование, сооружения, материальные запасы, которые увеличивают продуктивность земли. Предпринимательские усилия – способность людей организовывать другие факторы производства для получения благ. Цена каждого ресурса, участвующего в производстве, определяется его способностью производить добавленную стоимость. Каждый из названных производственных факторов получает свою долю добавленной стоимости. Труд вознаграждается зарплатой, капитал – доходом на капитал или нормой прибыли, предпринимательские усилия – прибылью предпринимателя, земля – рентой.

Добавленная стоимость, произведенная землей, определяется как доход, остающийся после оплаты труда, капитала и предпринимательских усилий. Поэтому теорию оценки земли иногда называют теорией остатка.

По мнению академика Д.С.Львова рента – эта та часть дохода, которая не заработана трудом людей, а предоставлена Богом или Природой. Поэтому рента – это некий элемент общего достояния общества, и не может включаться в прибыль. Она должна изыматься и использоваться по тем или иным узаконенным правилам для нужд общества в целом. Налогом может облагаться только прибыль.

Величину ренты определяет исходное балансовое равенство:

$$C - Z = P + \Pi ,$$

где:  $C$  - стоимость произведенного продукта, исчисленная по рыночной цене;  $Z$  – затраты на производство продукта;  $P$  – рента;  $\Pi$  – прибыль предпринимателя, или, по выражению графа С.Ю.Витте барыш предпринимателя (вознаграждение за организацию дела) .

Определить ренту довольно сложно из-за отсутствия данных как о рыночной величине прибыли предпринимателя, так и о рыночной величине ренты. Предлагаемые механизмы расчета ренты по неким математическим моделям, в том числе основанным на теории факторов производства, сводятся к вопросу определения предпринимательского дохода, который предлагается устанавливать или по норме отдачи на капитал или по доходу от альтернативных инвестиций, или иным способом. Но, как показывает жизнь, данные расчеты не всегда бывают верны. Поэтому проблема выделения рентной составляющей из разности  $(C - Z)$  вряд ли имеет стандартное решение, годное для всех случаев производственной деятельности, в которой задействован природный ресурс.

Ренту можно подсчитать как разницу между стоимостью произведенной продукции и общими затратами на ее производство, включая заработную плату работников, возмещение основных фондов, отдачу на капитал, а также прибыль предпринимателя:

$$R = (P - C) \times Q - M,$$

где  $R$  - рента,  $P$ - цена реализации,  $C$  - затраты,  $Q$  - количество реализованного продукта,  $M$ - прибыль предпринимателя.

Так как земельная рента представляет собой периодически получаемый доход, то оценка стоимости земли осуществляется посредством капитализации (преобразования в абсолютную величину) данного дохода. Если имеется возможность сразу определить абсолютную величину стоимости земли, например, в виде рыночной стоимости земельных участков, то данная величина представляет собой капитализированную земельную ренту.

Для оценки земли или иных природных ресурсов, которые можно использовать на протяжении бесконечного периода времени применяется



классическая формула капитализации:  $V=R/e$ , где  $V$  – стоимость земли,  $e$  – ставка дисконтирования или коэффициент капитализации.

Для оценки исчерпаемых природных ресурсов, а также ресурсов, срок использования которых ограничен в силу других причин (например, существуют ограничения по сроку аренды), применяется следующие выражение:

$$V = \sum_{t=1}^T \frac{R_t}{(1+e)^t},$$

где:  $T$  – период использования природного ресурса,  $t$  – год оценки.

Если земельная рента представляет собой постоянную величину или условно принимается как постоянная величина, то для расчета ее капитализованного значения за период  $T$  можно использовать выражение:

$$V = \frac{R \times [ (1+e)^T - 1 ]}{e \times (1+e)^T}.$$

Данное выражение представляет собой формулу расчета текущей стоимости аннуитета.

Если периодичность дохода от земли превышает 1 год, земельная рента образуется через более длительные промежутки времени (в лесном хозяйстве эти периоды могут составлять 40, 60 и более лет), то для расчета капитализованной стоимости такого дохода можно использовать выражение:

$$V = \frac{R}{(1+e)^T - 1},$$

где  $T$  – период, в рамках которого образуется рента.

### ***Отрицательная стоимость земли***

Земля может иметь отрицательную стоимость.

Стоимость земли может принять отрицательную величину в результате:

- негативных экологических воздействий, приводящих к утрате полезных свойств земельного участка, например, в случае химического или радиоактивного загрязнения, деградации почвенного слоя и др.;
- возникновения ситуации, когда расходы, связанные с использованием земли, превышают доходы, например, в случаях, когда установленные платежи за землю превышают приносимый ею доход или земельная рента отсутствует.

Европейские стандарты оценки выделяют следующие случаи возникновения отрицательной стоимости земли:

- земельные участки обременены обязательствами по восстановлению нормального состояния окружающей среды, превышающими по затратам стоимость имущества после выполнения данных работ;

- арендная плата, подлежащая выплате, превышает рыночную стоимость аренды;
- владелец обязан осуществить затраты на мелиорацию (улучшение качества земли) или выполнение иных установленных законом требований в размерах, превышающих стоимость имущества, свободного от таких обязательств.

Снижение стоимости в результате воздействия экологических факторов или выполнения требований законодательства по санации территории и охране окружающей среды называется экологическим устареванием.

Земля может стать истощаемым, то есть теряющим свою стоимость активом в случае исчерпания природного ресурса или его полезных свойств до такой степени, что он больше не может приносить доходы при существующем использовании, например, к истощаемым активам могут быть отнесены свалки, полигоны отходов, кладбища, карьеры.

### ***Особенности определения рыночной стоимости земли***

Основной особенностью определения рыночной стоимости земли является то, что она рассчитывается исходя из наиболее эффективного, а не существующего или текущего использования земельного участка. При этом застроенный участок условно рассматривается как незастроенный.

Наиболее эффективным использованием земли (НЭИ) является наиболее вероятное использование земельного участка, которое физически возможно, экономически оправдано, соответствует требованиям законодательства, финансово осуществимо и в результате которого расчетная величина стоимости земельного участка будет максимальной.

Наиболее эффективное использование может не совпадать с текущим использованием земельного участка. В этом случае стоимость земли будет являться стоимостью при существующем использовании, а не рыночной стоимостью.

Применение принципа наиболее эффективного использования означает, что рыночная стоимость земли определяется не по фактическому доходу от существующего использования земельного участка, который может быть очень незначительным, а исходя из ожидаемых доходов от других видов его использования. Например, стоимость земли в центре города под небольшим ветхим зданием будет определяться не доходами от его фактического использования, а исходя из доходов, которые можно было бы получить от этого участка, разместив на нем более современное и большее по площади здание (например, гостиницу). Принцип наилучшего и наиболее эффективного использования позволяет оценить максимальную возможную величину земельной ренты от данного земельного участка независимо от того, застроен участок или нет, и какое здание или сооружение на нем находится в момент оценки.

К основным факторам, влияющим на формирование рыночной стои-

мости земли, относятся:

- полезность, которая связана с ожиданиями доходов от использования земельного участка и, в свою очередь, зависит от социальных, экономических, правовых и природных факторов;
- ограниченность (дефицит) земли, которая выражается, в том, что на рынок может быть выставлено ограниченное количество земельных участков;
- спрос на землю, который выражается в том, что стоимость земли определяется платежеспособным уровнем покупателей (уровнем доходов населения);
- внешнее окружение и местоположение, которое создает различные виды полезности земельного участка;
- меры государственного регулирования, которые устанавливают ограничения в способах использования земли и, следовательно, получения дохода.

Эти факторы следует учитывать при проведении анализа наиболее эффективного использования земли и прогнозирования доходов от оцениваемого земельного участка.

### ***Подходы, используемые для оценки стоимости земли***

При оценке единых объектов недвижимости применяются методы трех подходов определения стоимости: затратного, сравнительного и доходного.

Затратный подход заключается в расчете стоимости по затратам на создание оцениваемых объектов. Сравнительный подход заключается в определении стоимости по ценам продажи объектов, сравнимых с оцениваемым объектом (объектов-аналогов). Доходный подход заключается в расчете стоимости по периодическим доходам от оцениваемого объекта, преобразованным (капитализированным) в абсолютную величину.

При оценке земли как территории или пространства применяются только методы сравнительного и доходного подхода. Затратный подход для оценки непосредственно земли не применяется, так как земля неруко-творна и не может быть воспроизведена физически, за исключением уникальных случаев создания искусственных островов.

Основные недостатки затратного подхода, применявшегося в советское время для оценки стоимости природных ресурсов, включая землю, заключались в получении либо избыточных и завышенных значений, либо заниженных значений и создании иллюзии объективности. Например, при оценке стоимости земли по затратам на ее освоение более ценные земли, допустим, черноземы, получали более низкую оценку, чем менее ценные.

Результаты, полученные методами сравнительного подхода, во всех странах с развитым земельным рынком считаются самыми надежными и

достоверными. Применение методов сравнительного подхода может быть затруднено отсутствием информации о сделках с земельными участками.

Оценка земли методами доходного подхода может проводиться посредством капитализации земельной ренты, рассчитываемой в виде:

- арендных платежей за землю;
- чистого операционного дохода, образующегося при использовании земельного участка.

Выделяют два вида методов доходного подхода:

- методы прямой капитализации дохода;
- методы дисконтирования денежных потоков.

Прямая капитализация заключается в использовании коэффициентов капитализации, рассчитанных по данным сделок с земельными участками.

Методы дисконтирования денежных потоков заключаются в суммировании всех будущих доходов, дисконтированных на день определения стоимости.

Наиболее надежные и приемлемые результаты дают методы прямой капитализации, когда в качестве коэффициентов капитализации используются величины, рассчитанные по данным сделок с земельными участками.

Методы дисконтирования денежных потоков (или сокращенно ДДП) признаются недостаточно надежными способами оценки рыночной стоимости из-за большой неопределенности исходных параметров, учитываемых в расчетах. Они представляют собой только прогнозные характеристики, которые всегда сопряжены с ошибками.

Кроме прогнозов, методы ДДП применяются для проведения анализа наиболее эффективного использования, расчета инвестиционной стоимости и расчета рыночной стоимости недвижимости, ориентированной на инвестиции, прежде всего, в районах с высокой плотностью застройки.

Методы ДДП также целесообразно применять для оценки единичных объектов недвижимости, разделение стоимости которых по элементам не имеет экономического смысла или невозможно, например, многолетних насаждений, сельскохозяйственных угодий, обустроенных мелиоративными сооружениями, прудовых хозяйств.

Основными недостатками доходного подхода являются:

- большая неопределенность результатов из-за высокой субъективности определения коэффициента капитализации и ставок дисконтирования расчетными методами; результаты очень сильно меняются даже при незначительном изменении ставки дисконтирования;
- большая неопределенность результатов из-за использования в расчетах прогнозов; достоверно не могут быть предсказаны ни будущие процентные ставки, ни арендная плата, ни расходы, то есть никто не может точно составить прогноз на промежуток времени больше 10 лет;
- проблема математического занижения стоимости (ценности) в результате процедуры дисконтирования – обесценивания благ и полезностей,

которые будут получены через значительный промежуток времени - чем выше данный коэффициент, тем меньше стоимость оцениваемых объектов (прежде всего, природных);

- как следствие - создание иногда иллюзии реальности и точности полученных результатов.

Основными способами определения коэффициента капитализации для земли являются:

- деление величины земельной ренты по аналогичным земельным участкам на цену их продажи;
- использование ставки дисконтирования.

Первый способ определения коэффициента является самым надежным и предпочтительным. Он заключается в расчете коэффициентов капитализации по нескольким сделкам с объектами - аналогами и получения среднего значения.

Считается, что коэффициент капитализации для земли должен быть равен норме доходности по альтернативным инвестициям без учета нормы возмещения капитала, так земля не «изнашивается», то есть не теряет своих свойств со временем и, соответственно, может приносить доход и создавать стоимость в течение бесконечного периода времени. Отсюда коэффициент капитализации для земли полагается равным ставке дисконтирования, если она соответствует сложившейся норме отдачи на капитал или доходности альтернативных инвестиций.

В качестве ставки дисконтирования можно рекомендовать использовать:

- ставку, полученную методом кумулятивного построения (к безрисковой ставке прибавляются надбавки за различные риски);
- процентные ставки по кредитам, сложившиеся на рынке финансовых ресурсов (процентные ставки по кредитам ведущих коммерческих банков).

Кумулятивный метод определения ставки дисконтирования заключается в прибавлении компенсаций за соответствующие риски к безрисковой ставке.

$$\text{Ставка дисконтирования} = \text{Безрисковая ставка} + \text{Доплата за риск} - \text{Скидка на инфляцию}$$

Основными видами риска, учитываемыми в виде надбавок, могут быть: страновой риск, риск невозврата инвестиций, низкая ликвидность, уровень менеджмента и др.

В качестве безрисковой ставки принимается норма отдачи на капитал при наименее рискованных инвестициях, например, ставка доходности по депозитам банков высшей категории надежности, например, Сбербанка России, или ставка доходности к погашению по государственным ценным

бумагам, например, по облигациям внутреннего валютного займа (ОВВЗ). В качестве безрисковой ставки, очищенной от странового риска, можно применять ставку LIBOR, которая обычно служит основным ориентиром при международных сделках<sup>17</sup>.

Основным недостатком кумулятивного способа построения ставки дисконтирования является субъективный характер определения надбавок за риск, которые большей частью устанавливаются экспертно. Поэтому значения ставки дисконтирования, полученные данным методом, бывает трудно или даже невозможно обосновать.

Определение ставки дисконтирования по среднему значению из расчетных ставок по кредитам, предоставляемым ведущими банками Российской Федерации в рублях и в валюте, более объективно отражает ситуацию на рынке кредитных ресурсов. Данные о процентных ставках по кредитам ведущих банков можно найти в Интернете или специализированных изданиях. Можно также использовать информацию о ставках Сбербанка РФ, как банка наивысшей категории надежности, работающего во всех регионах России.

### ***Методы оценки стоимости земли***

Для определения стоимости земли используются унифицированные методы, которые могут быть применены при оценке земельных участков с любым типом землепользования, в том числе для оценки земли в городах, пригородах, сельских населенных пунктах, для оценки сельскохозяйственных и лесных угодий, оценки земли, занятой промышленными и линейными объектами вне черты поселений.

Возможность и целесообразность применения того или иного метода зависит от целей оценки, типа оцениваемой недвижимости, наличия исходных данных. Обязательным условием определения стоимости земли любым методом является использование рыночных данных.

При определении стоимости земли оцениваться могут как свободные от застройки земельные участки, так земельные участки (собственно земля) в составе единых объектов недвижимости.

Особенностью оценки рыночной стоимости земли является то, что любой земельный участок рассматривается как условно свободный, или не занятый зданиями, сооружениями, строениями или иными объектами недвижимого имущества, которые могут не соответствовать ее наиболее эффективному использованию.

Методы оценки земли, применяемые в разных странах, по своему экономическому содержанию являются одинаковыми. Однако данные методы могут носить разные названия и классифицироваться по-разному.

---

<sup>17</sup> Ставка LIBOR (Лондонская Межбанковская Ставка Предложения) – это годовая процентная ставка, принятая для оплаты кредитов в различных видах валют и на различные сроки.

В Методических рекомендациях по определению рыночной стоимости земельных участков, утвержденных Минимуществом России<sup>18</sup>, принята следующая классификация методов оценки земельных участков:

- метод сравнения продаж;
- метод распределения;
- метод выделения;
- метод капитализации земельной ренты;
- метод остатка для земли;
- метод предполагаемого использования (представляет собой различные варианты метода дисконтирования денежных потоков).

К сравнительному подходу относится метод сравнения продаж, метод распределения и метод выделения.

К доходному подходу относится метод остатка для земли, метод капитализации земельной ренты и метод предполагаемого использования.

Кроме перечисленных выше методов, в отечественной практике применяют нормативные методы оценки стоимости и методы массовой оценки. К нормативным относятся методы расчета стоимостных показателей, устанавливающие обязательность применения конкретных фиксированных величин в расчетах, например, периода капитализации при расчете кадастровой стоимости земельных участков.

К методам массовой оценки в основном относят методы, основанные на статистической обработке большого количества данных и создания регрессионных моделей расчета стоимости.

#### Метод сравнения продаж

Расчет рыночной стоимости участка земли данным методом осуществляется посредством подбора объектов-аналогов, выявления элементов сравнения, позволяющих учесть отличия объекта оценки от объекта-аналога, расчета поправок на данные различия и внесения их в цены продаж объектов-аналогов. Стоимость земельного участка рассчитывается как среднее или средневзвешенное значение из скорректированных цен объектов-аналогов.

Основными элементами сравнения и корректировки цен объектов-аналогов являются:

- имущественные права: право собственности, право аренды и др.;
- условия финансирования: использование при покупке кредитных ресурсов, рассрочка платежей и т.п.;
- условия оплаты: безналичный расчет, наличные деньги, векселя, взаимозачеты и т.п.;

---

<sup>18</sup> Распоряжение Минимущества России от 07.03.2002 № 568-р

- условия совершения сделки: нетипичные условия сделки, например, родственные отношения покупателя и продавца, продажа в условиях банкротства и т.п.;
- время заключения сделки с объектом - аналогом;
- расходы, сделанные сразу же после покупки;
- местоположение и окружение;
- правовые и градостроительные ограничения по виду использования и застройке земельного участка;
- физические характеристики: рельеф, размеры и форма земельного участка;
- доступные коммунальные услуги (наличие или близость инженерных сетей, условия подключения к ним и т.п.);
- иные элементы.

В качестве единицы сравнения обычно используют характерную для данного сегмента рынка единицу измерения: стоимость гектара, стоимость сотки, стоимость квадратного метра земельного участка. Поправки вносят: а) в цену всего объекта, и б) в цену соответствующих единиц сравнения. Поправки могут быть выражены в процентах или денежной сумме. Величина каждой поправки определяется на основании имеющихся данных.

Элемент сравнения	Сделка 1	Сделка 2	Сделка 3
Цена продажи, руб.	100 000	150 000	120 000
Поправка на имущественные права	<u>+ 5 000</u>	<u>- 10 000</u>	<u>+ 5 000</u>
Скорректированная цена, руб.	105 000	140 000	125 000
Поправка на условия финансирования, руб.	<u>+ 10 000</u>	<u>- 10 000</u>	<u>- 5000</u>
Скорректированная цена, руб.	115 000	130 000	120 000
Поправка на условия продажи, руб.	<u>+ 5 000</u>	<u>- 10 000</u>	<u>- 5 000</u>
Скорректированная цена, руб.	120 000	120 000	115 000
Поправка на расходы после покупки, руб.	<u>+ 0</u>	<u>+ 0</u>	<u>+ 0</u>
Поправка на рыночные условия (время)	<u>+ 0</u>	<u>+ 0</u>	<u>+ 0</u>
Скорректированная цена, руб.	120 000	120 000	115 000
Поправка на:			
местоположение, руб.	+ 5 000	+0	+0
физические характеристики, руб.	- 5 000	-8 000	+0
вид использования, руб.	-2 000	+ 4000	+ 5000
Скорректированная стоимость аналога, руб.	118 000 €	116 000 €	120 000
Стоимость оцениваемого объекта, руб.	(118 000+117 000+120 000) € /3=118 000		

Значительные различия в скорректированных ценах аналогов свидетельствует о неверном проведении корректировки, неправильном подборе аналогов или неучете каких-то элементов сравнения. В этом случае итоговый результат может быть получен как среднее или средневзвешенное значение из скорректированных стоимостей не всех объектов - аналогов, а только наиболее схожих с оцениваемым участком. Степень схожести может определяться по количеству корректировок. Чем меньше корректиро-



вок – тем более схож объект - аналог с оцениваемым участком. В приведенной выше таблице дан пример внесения корректировок:

#### Метод распределения

Метод распределения основан на использовании в расчетах данных о соотношении стоимости земли и улучшений в стоимости единого объекта недвижимости (застроенного земельного участка). Если известна стоимость единого объекта недвижимости ( $V_O$ ) и доля стоимости земли в общей стоимости единого объекта недвижимости ( $K_L$ ), то стоимость земли ( $V_L$ ) определяется как:  $V_L = K_L \times V_O$ .

Пример:

Доля стоимости земли под промышленными объектами определена в 0,1. Стоимость единого объекта недвижимости определена в 1 млн. руб. Стоимость земли равна 1 млн. руб.  $\times 0,1 = 100$  тыс. руб.

#### Метод выделения

При расчете стоимости земли ( $V_L$ ) методом выделения из стоимости единого объекта недвижимости ( $V_O$ ) вычитаются затраты на строительство объекта-аналога ( $C$ ), уменьшенные на величину его износа ( $A$ ) или амортизированные затраты замещения<sup>19</sup>:  $V_L = V_O - C \times (1 - A)$ .

Пример:

Рыночная стоимость единого объекта недвижимости, тыс. руб.	10 000
Затраты на строительство объекта аналога, тыс. руб.	8 000
Общий износ	50% или 0,5
Амортизированные затраты замещения (стоимость здания с учетом износа), тыс.руб.	$8\ 000 \times 0,5 = 4\ 000$
Стоимость земли под зданием, тыс.руб.	$10\ 000 - 4\ 000 = 6\ 000$

#### Метод остатка для земли

Метод остатка для земли заключается в определении остаточного дохода, приходящегося на землю и последующей его капитализации. Вначале определяется чистый операционный доход от эксплуатации объекта недвижимости (арендная плата за здание), далее определяется доход, приходящийся на здания, затем эта величина вычитается из общего чистого операционного дохода. Остаточный доход, приходящийся на землю, в виде разницы между общим доходом и доходом, отнесенным на здания, капитализируется по приемлемой ставке дисконтирования.

<sup>19</sup> В МСО под амортизированными затратами замещения (АЗЗ) понимаются затраты на замещение актива его современным эквивалентом за вычетом физического износа и всех соответствующих видов устаревания.

Для расчета стоимости земли методом остатка может быть применена следующая формула:  $V_L = \frac{I - V_B \times R_B}{e}$ ,

где  $V_L$  – стоимость земли;  $I$  – чистый операционный доход;  $V_B$  – стоимость зданий;  $e$  – ставка дисконтирования;  $R_B$  – коэффициент капитализации доходов от здания.

Пример:

Арендная плата за здание, руб.	50 000
Стоимость здания, руб.	100 000 €
Коэффициент капитализации для здания	0,20
Чистый операционный доход, относящийся к зданию, руб.	100 000×0,20=20 000
Чистый операционный доход, относящийся к земле, руб.	50 000-20 000=30 000
Ставка дисконтирования	0,18
Стоимость земли, руб.	30 000 : 0,18=166 667

Основной проблемой, связанной с использованием данного метода, является появление отрицательного или нулевого дохода, приходящегося на землю. Наиболее распространенной причиной является неучет внешнего износа и избыточной стоимости строений. Если в результате расчетов получается отрицательная или нулевая стоимость земли, и при этом единственный объект недвижимости может приносить доходы, то это означает, что неверно рассчитана стоимость улучшений или величина накопленного износа.

#### Метод предполагаемого использования

Метод предполагаемого использования является методом дисконтирования денежных потоков. Оценка земли данным методом заключается в том, что моделируется поток расходов, связанных с освоением земельного участка, и доходов, которые будет генерировать освоенный участок. Разность этих доходов и расходов, представляющая собой доход, приписываемый земле (остаточный доход или рента), последовательно дисконтируется на дату оценки и затем суммируется с целью получения текущей стоимости земли.

Расчет стоимости земли ( $V_L$ ) методом дисконтирования денежных потоков может проводиться по следующей базовой формуле:

$$V_L = \sum_{i=0}^n \frac{B_i - C_i}{(1 + e)^i} + \frac{V_o}{(1 + e)^{n+1}},$$

где  $B_i$  – выгоды, получаемые в год  $i$ ;  $C_i$  – затраты в год  $i$ ;  $e$  – ставка дисконтирования;  $n$  – период реализации проекта;  $V_o$  – рыночная стоимость объекта недвижимости, продаваемого в год  $n+1$ .

Метод предполагаемого использования наиболее подходит для оценки инвестиционной стоимости земли и любого природного объекта (например, месторождения, участка лесной земли и др.), то есть стоимости, удовлетворяющей требования инвестора к доходности конкретного проекта.

Источником доходов от недвижимости, учитываемых в данном методе, является либо арендная плата за помещения, либо их продажа по окончании строительства в приемлемые сроки по рыночно обоснованным ценам.

Пример расчета стоимости земельного участка, на котором планируется строительство многоквартирного дома:

Тыс. USD

Статьи доходов и расходов	Месяцы реализации проекта											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Затраты на строительство, включая прибыль застройщика	1000	200	200	200	200	200						
Стоимость обременений			10	10	10	70						
Арендная плата за землю	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Доходы от продажи квартир			800	800	800	800	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Чистый доход	-1002	-202	588	588	588	528	998	998	998	998	998	998
Ставка дисконтирования	10%											
Фактор дисконтирования	1	0,99	0,98	0,97	0,96	0,961	0,95	0,94	0,93	0,93	0,92	0,91
Дисконтированный денежный поток	-1002	-200	578	574	569	507	951	944	936	929	921	914
Итого сумма	6625											
Стоимость земли =	6625 или округленно 6600											

При оценке земли по доходам от сдачи недвижимости в аренду необходимо предусматривать определение дохода от продажи объекта недвижимости в конце периода владения данным объектом (реверсию).

#### Метод капитализации земельной ренты

Метод капитализации земельной ренты заключается в капитализации земельной ренты или чистого дохода, приносимого землей (незастроенным земельным участком). Величина ренты может рассчитываться как доход от сдачи в аренду земельного участка или как доход от его хозяйственного использования.

Пример:

Земельная рента	1 000 руб.
Коэффициент капитализации	0,1
Рыночная стоимость земельного участка	1 000 руб. / 0,1 = 10 000 руб.

### ***Общая экономическая стоимость***

Общая экономическая стоимость представляет собой показатель, позволяющий измерять в стоимостной форме выгоды, получаемые обществом от нерыночных природных благ. Общая экономическая стоимость может также определяться как общественная или публичная ценность<sup>20</sup> природных благ, не участвующих в рыночных процессах. Основным назначением определения общей экономической стоимости является включение в проектный анализ экологических выгод и затрат, которые игнорируются рынком и поэтому не учитываются в принимаемых решениях по развитию территорий. К неучитываемым рыночной средой благам природы относятся экосистемные услуги, под которыми понимаются природоохранные и рекреационные функции, выполняемые экосистемами и их отдельными компонентами, например такие как регулирование речного стока, ассимиляция отходов и загрязнений, создание условий для отдыха и пр. ОЭС может учитываться при принятии решений о возможностях использования территории тем или иным способом, например, при сравнении различных вариантов планирования землепользования, подготовке разделов оценки воздействия на окружающую среду (ОВОС) инвестиционных проектов, проведении государственной и общественной экологической экспертизы инвестиционных проектов.

Теоретической основой экономической оценки природных благ на основе концепции общей экономической стоимости является неоклассическая экономика благосостояния, сформулированная Пигу (Pigou, 1920) и Хиксом (Hicks, 1939), согласно которой общественное благосостояние является суммой личных благосостояний.

Личное благосостояние может быть измерено в единицах полезности, выраженной ценами на товары и услуги. Индивиды стремятся максимально увеличивать свое благосостояние путем выбора такого сочетания товаров, услуг и сбережений, которое дает наибольшую сумму общей полезности при заданных ограничениях дохода. Применение теории благосостояния к оценке природных благ основывалось на следующих основных положениях:

1. Полезность, как и благосостояние, может быть получена от благ/товаров и услуг, даже если они предоставляются бесплатно или по минимальной цене.

2. Разница между суммой, уплаченной за товар и полученной от него полезностью (выражаемой ценой, которую мог бы заплатить, но не заплатил потребитель) называется «излишком потребителя» или «неполученным доходом потребителя»

---

<sup>20</sup> Точное и общепринятое название данного понятия в отечественной литературе еще не выработано.

3. Общая полезность любого блага/товара является суммой уплаченной за него цены плюс любой излишек потребителя.

4. Адекватность предельной полезности дохода позволяет проводить обобщения по отдельным индивидам и использовать цены, отмеченные в одной части экономики, для установления ценности не имеющих цены товаров и услуг в других ее частях.

Поскольку многие природные блага находятся вне рынка и имеют низкую или нулевую цену, «излишек потребителя» в общей полезности этих благ весьма значителен и определяет их общественную ценность или стоимость.

Основное отличие показателя ОЭС от рыночной стоимости заключается в том, что расчеты ОЭС основаны на моделировании суррогатных рынков услуг и полезностей исходя из выявления предпочтений потребителей данных услуг и полезностей.

Общая экономическая ценность природных объектов и производимых ими услуг и благ и ее отдельные компоненты определяется как сумма стоимости использования и стоимости неиспользования:  $TEV = UV + NUV$ , где  $TEV$  – общая экономическая стоимость,  $UV$  – стоимость использования,  $NUV$  – стоимость неиспользования.

Стоимость использования определяется как:  $UV = DUV + IUV + OV$ , где  $DUV$  – стоимость прямого использования,  $IUV$  – стоимость косвенного использования,  $OV$  – стоимость отложенной альтернативы.

Стоимость неиспользования определяется как сумма стоимости существования и стоимости наследования ( $EV$ ). Если стоимость наследования не определяется, то тогда стоимость существования приравнивается к стоимости существования:  $NUV = EV$ .

Структура показателя общей экономической стоимости природных благ представлена на рис.1.

Стоимость прямого использования представляет собой рыночную оценку товаров и услуг, получаемых от использования данных территорий, например, от туризма, рекреации, устойчивой охоты и заготовки древесины, рыболовства и др.

Стоимость косвенного использования представляет собой оценку нематериальных полезностей и косвенных выгод, производимых природными объектами, например, таких, как поддержание водного режима, предотвращение эрозии, очистка воды и атмосферы, связывание углекислого газа, сохранение биологического разнообразия и др.

Стоимость отложенной альтернативы (условно возможной стоимости), представляет собой оценку выгод, которые можно получить в будущем при условии, что данный природный объект сохраниться.

Стоимость наследования представляет собой оценку готовности людей платить за сохранение определенных природных благ и объектов для будущих поколений.

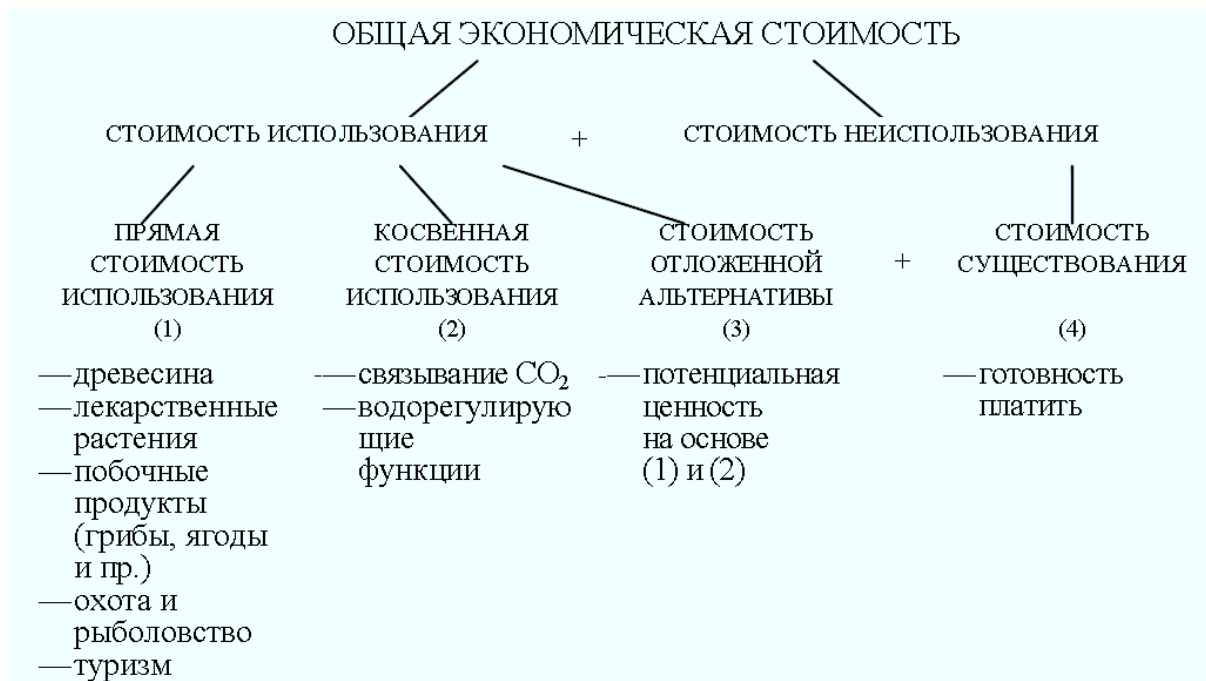


Рис.1. Общая экономическая стоимость природных благ

Стоимость существования представляет собой оценку готовности людей платить за существование конкретных природных территорий или объектов. При этом предполагается, что человек, дающий оценку, может никогда не использовать возможность посетить это место.

Для определения показателей, входящих в состав общей экономической ценности, применяют традиционные методы оценки стоимости (методы доходного, затратного, сравнительного подходов), а также методы, требующие проведения социологических исследований и конструирования суррогатных рынков. Эти методы также делят на две категории: методы заявленных предпочтений и методы выявленных предпочтений.

К методам затратного подхода относятся оценка природных благ по затратам на перемещение, затратам на замещение искусственными аналогами, затратам на воссоздание или восстановление, затратам на воспроизводство, затратам на превентивные мероприятия.

К методам доходного подхода относятся методы оценки по доходам от использования территории.

К методам сравнительного подхода относятся методы оценки по рыночным ценам на природные блага; по альтернативной стоимости использования территории, а также методы оценки природных благ по разнице в ценах на объекты недвижимости (методы гедонистического образования стоимости).

К методам, требующих проведения социологических исследований, относятся:

- а) методы заявленных предпочтений:
  - метод оценки готовности платить;

- метод оценки готовности принять компенсацию;
- метод выявления неполученной прибыли потребителя

б) методы выявленных предпочтений:

- метод транспортно путевых затрат;
- метод гедонистического ценообразования;
- метод альтернативной стоимости.

Метод оценки готовности платить заключается в определении гипотетических цен путем выяснения у людей явной оценки ими некоего блага (заявленная оценка). Для этого применяются опросы населения, например выясняется, какую сумму готов человек заплатить за посещение определенного места, общее количество людей, которые посещают данное место. На основании этих данных делается вывод о стоимости данного объекта.

Метод оценки готовности принять компенсацию заключается в определении суммы компенсации, за которую человек готов отказаться от оцениваемого блага, то есть компенсации за потерю благ. Считается, что оценка объектов по размеру компенсации более объективна по психологическим мотивам. Такая постановка вопросов больше применима при опросах более бедного населения.

Метод выявления неполученной прибыли потребителя заключается в определении величины дополнительной платы за доступ к определенному объекту к уже установленной. Например, выясняется, какую сумму готов человек заплатить за посещение определенного места. Если доступ к оцениваемому месту ограничен и за его посещение уже установлена плата, то выясняется, сколько человек готов заплатить дополнительно к установленной плате. Эта величина и будет являться дополнительной выгодой потребителя, то есть, выгодой, которую он получил, не заплатив полную стоимость, определенную им самим. Сумма установленной платы и дополнительной платы, определенной самим человеком, будет отражать ценность данного объекта для индивидуума. Соответственно, общая сумма платежей за доступ к оцениваемому объекту, которые готовы заплатить все потенциальные посетители, и будет представлять его стоимостную оценку. Метод можно использовать при определении платы за посещение парков или других подобных объектов.

Метод транспортно путевых затрат заключается в оценке определенного объекта по величине затрат на дорогу, которые готовы понести люди для посещения оцениваемой территории. Метод состоит в определении расхода денежных средств или времени, на достижение интересующего места. Расходы складывается из входной платы, расходов на поездку и упущенных доходов. Ценность объекта рекреации определяется по числу посетителей за год и их расходов. Метод широко используется для определения рекреационной ценности территорий, национальных парков и участков дикой природы, туристической ценности водно-болотных угодий в тропических странах.

Метод гедонистического ценообразования заключается в оценке стоимости природных благ по разнице цен на объекты недвижимости, собственники которых могут пользоваться оцениваемыми природными благами, и объекты недвижимости, собственники которых не могут пользоваться данными природными благами.

Метод альтернативной стоимости заключается в определении стоимости ценных природных территорий через упущенные доходы и выгоды, которые можно было бы получить при использовании данных территорий в иных целях, например, через рыночную стоимость земли под застройку или потерю дохода от использования в иных коммерческих целях, несовместимых с сохранением природного потенциала.

Также еще применяется метод переноса выгод.

### ***Оценка экономической ценности почвы на основе концепции ОЭЦ***

Почва является основой практически всей хозяйственной деятельности человека. Однако эта «фундаментальная» экономическая ценность почвы почти не признается обществом<sup>21</sup>. Почва до сих пор не оценена в полной мере.

Почвы предоставляют множество услуг, которые представляют ценность для общества, но для которых нет развитых рынков, и поэтому они не измеряются в денежном выражении. А все, что не имеет стоимостной оценки, в управленческих решениях обычно во внимание не принимается. Поэтому для защиты почв при принятии тех или иных решений, связанных с использованием территории, а также применении различных экономических механизмов, направленных на их сохранение, требуется стоимостная оценка почвы, как природного объекта. Результаты стоимостной оценки могут быть использованы в экономическом анализе принимаемых решений «затраты-выгоды». Стоимостная оценка почв может включаться в расчеты экономической эффективности инвестиционных проектов для понимания общественной эффективности и целесообразности этих проектов.

Однако методология стоимостной оценки почв не получила широкого распространения и требует своего развития<sup>22</sup>. Наиболее приемлемой основой оценки почв может служить концепция ОЭС и ее методический инструментарий. Предметом экономической оценки почв являются общественные выгоды, создаваемые так называемыми почвенными услугами и функциями почвы. Можно выделить большое количество почвенных услуг

---

<sup>21</sup> Economic assessment of soil deterioration. <http://ecologic.eu/1006>.

<sup>22</sup> Следует отметить, что исследований, посвященных стоимостной оценке экосистемных услуг почвы, не так много, как исследований посвященных другим природным объектам. Наиболее полно их обзор проведен в работе «Economic Valuation of Soil Functions. Phase 1: Literature Review and Method Development», подготовленного в 2006 году Департаментом окружающей среды, продовольствия и сельского хозяйства Великобритании. [http://www.cjconsulting.co.uk/pdfs/FINALEcon%20Valuation%20of%20Soil%20Functions%20Rept%20Phase%20I\\_0806.pdf](http://www.cjconsulting.co.uk/pdfs/FINALEcon%20Valuation%20of%20Soil%20Functions%20Rept%20Phase%20I_0806.pdf).



и функций, имеющих важное значение для человека и природы. Наиболее значимыми из них представляются, следующие услуги:

- обеспечение круговорота питательных веществ и производство продуктов питания и технического назначения (или плодородие);
- инфильтрация воды, обеспечивающая защиту от наводнений и регулирование речного стока;
- связывание углерода и регулирование климата;
- обеспечение возможности строительства на различных строительных площадках;
- природное ослабление загрязнений и восстановление загрязненной почвы;
- защита археологических объектов и природных ландшафтов;
- обеспечение среды обитания растений;
- сохранения биоразнообразия и др. услуги и функции.

Можно выделить три группы методов, использование которых целесообразно для экономической оценки почв:

- 1) методы, основанные на применении рыночных цен (например, цен на сельскохозяйственные товары и удобрения для оценки круговорота питательных веществ и обеспечения людей продовольствием);
- 2) методы экологической экономики, основанные на социологических исследованиях и формировании стоимостных оценок на основе заявленных и выявленных предпочтений людей (методы условной оценки, методы гедонистического ценообразования);
- 3) методы, основанные на подсчете затрат (например, затрат на компенсацию потерь почв и их отдельных функций, затрат на очистку почв от загрязнений, затрат на восстановление деградированных почв и т.п.).

Методами рыночной оценки можно оценить услуги, имеющие выражение в рыночных ценах. К таким услугам относятся: круговорот питательных веществ для производства сельскохозяйственных культур или плодородие) и обеспечения строительства.

Плодородие может оцениваться через стоимость получаемой продукции на почвах разного типа. Рыночные оценки, основанные на оценке стоимости земли, важны для почв, используемых в сельском и лесном хозяйстве и под строительство. Подобные оценки важны для определения рыночной ценности почвы. Основой для применения рыночных цен является классическая формула капитализации дохода, получаемого от земли. При применении данного метода следует учитывать влияние государственных субсидий производителям сельхозпродукции, так как они могут исказить картину рыночных цен. По некоторым данным, в США государственные субсидии могут на 15% изменять стоимость земли<sup>23</sup>.

---

<sup>23</sup>Economic Valuation of Soil Functions. Phase 1: Literature Review and Method Development. [http://www.cjcconsulting.co.uk/pdfs/FINALEcon%20Valuation%20of%20Soil%20Functions%20Report%20Phase%20I\\_0806.pdf](http://www.cjcconsulting.co.uk/pdfs/FINALEcon%20Valuation%20of%20Soil%20Functions%20Report%20Phase%20I_0806.pdf).

Плодородие может быть оценено методами гедонистического ценообразования по разнице в ценах на земельные участки с разными по качеству почвами. Основным условием применения данного метода является наличие хорошо развитого рынка сельхозугодий, на котором факторами формирования стоимости являются показатели качества почв и обустройства сельхозугодий (поливные установки, дренаж и т.д.)

Обеспечение строительства может оцениваться методами гедонистического ценообразования по разнице в ценах на строительные площадки с различными почвами и грунтами.

Методы оценки нерыночных функций и услуг почв позволяют измерить общественные выгоды, создаваемые этими экосистемными услугами и функциями (см выше). Оценка выгод от каждой из услуг может быть проведена методами разных подходов, включая рыночный и затратный. Затратный подход к оценке почв заключается в оценке затрат, обусловленных потерей почвы, затрат, необходимых для защиты почвы, восстановления ее плодородия, затрат на восстановление загрязненных почв и т.д. Методы затратного подхода считаются самыми ненадежными из перечисленных выше, поскольку полученные с их помощью оценки ничего не говорят о пользе или потере общественного благосостояния. Тем не менее, во многих случаях они являются единственно возможными. Считается, что затратные методы обеспечивают получение нижней границы стоимостной оценки общественной ценности почвы.

Стоимостные оценки нерыночных функций почв обычно осуществляются с определенными управленческими целями. Цели могут быть разными – от принятия решения по тому или иному сценарию развития территории, до обоснования размера экономических санкций за ущерб, причиненный почвам. Приведем пример оценки функции почв по поглощению углерода в Англии, проведенной в целях обоснования изменений методов управления в сельском хозяйстве. В этом примере функция по хранению и связыванию углерода была оценена исходя из социальной стоимости тонны почвенного органического углерода, равной £ 70<sup>24</sup>. Пересчет этой величины на гектары позволил получить стоимостную оценку органического углерода в размере £ 1380 за га - на пахотных землях и £ 3160 за га - на лесных землях<sup>25</sup>. В таблице ниже приведены данные о стоимостной оценке поглощения углерода почвами для различных сценариев землепользования и управления почвами, полученные в ходе исследований Defra<sup>26</sup>.

---

<sup>24</sup> Данную величину определило министерство финансов Великобритании для оценки социальной стоимости углерода и оценки политики, которая приводит к изменениям выбросов углекислого газа.

<sup>25</sup> Economic Valuation of Soil Functions. Phase 1: Literature Review and Method Development. [http://www.cjiconsulting.co.uk/pdfs/FINALEcon%20Valuation%20of%20Soil%20Functions%20Report%20Phase%20I\\_0806.pdf](http://www.cjiconsulting.co.uk/pdfs/FINALEcon%20Valuation%20of%20Soil%20Functions%20Report%20Phase%20I_0806.pdf).

<sup>26</sup> Департаментом окружающей среды, продовольствия и сельского хозяйства Великобритании.

Виды землепользования	Стоимость почвенного органического углерода (при £70/т), £/га/год	Стоимость общего поглощенного углерода (при £70/т), £/га/год
Пахотные земли для постоянного леса	48.3	110.8
Пахотные земли для посадок ивы для получения энергии	48.3	102.3
Пахотные земли для посадок мискантуса, для получения энергии	42.8	94.9
Пашня с сокращенной обработкой	2.8	3.9
Добавление остатков соломы	43.8	41.0
Применение осадков сточных вод	42.7	45.6
Добавление навоза в пахотные земли	42.8	76.2
Экстенсивное хозяйство с открытым свиноводством на траве	33.5	49.1
Переход на органическое управление с домашним скотом	33.5	54.9
Лесные пастбища	0.0	302.3
Пастбища в посадках ивы	0.0	293.7
Пастбища в посадках мискантуса	0.0	291.7
Замена пастбища на основе клевера	0.0	11.4
Переход от традиционного к органическому молочному хозяйству	0.0	159.7

Из таблицы следует, что наиболее высокие стоимости связаны с преобразованием пашни в лесные земли.

Для оценки последствий принятия решений о смене видов землепользования в исследовании Defra была рассчитана стоимость будущих потерь почвенного углерода, которые могут произойти при изменении землепользования, начатом сейчас (см таблицу ниже).

Изменения	Временной горизонт, использованный в оценке, лет	Настоящая стоимость потери углерода (при £70/т), £	Эквивалент потерь на протяжении временного горизонта при ставке дисконтирования 3,5%, £
Потеря постоянной травы и естественной растительности	60	-1,282	-51.4
Уменьшение площади рапса	20	-170	-11.9
Уменьшение площади картофеля	20	-243	-17.1
Колебания доли пахотных земель и травостоя	60	-1,282	-51.4
Осушение верховых торфяных болот	60	-2,619	-105.0
Интенсивное сельскохозяйственное использование низинных торфяных болот	40	-18,835	-882.0
Урбанизация (полная потеря)	5	-948	-210.0

Подобные исследования в России или не проводились или мало известны. Но их можно проводить, опираясь на научные работы в сфере почвоведения. Согласно А.В.Стеценко, запасы органического углерода на землях, используемых в сельском хозяйстве России составляют 290,7 млн.тонн<sup>27</sup>. В составленной им таблице приведены данные о запасах органического углерода почвы в расчете на 1 гектар по основным природным зонам России. Используя эти данные, а также показатель социальной стоимости тонны почвенного органического углерода, определенный для Англии<sup>28</sup> и переведенный по текущему курсу в российские рубли (£70×47.1671<sup>29</sup>=3290 руб.), можно получить стоимостную оценку органического углерода почв по основным природным зонам России (таблица ниже).

№ п.п.	Природные зоны	Площадь, учитываемых земель, млн. га	Запасы органического углерода в почвах, млн. тонн.	Запасы органического углерода в почвах в расчете на гектар, т/га	Стоимость почвенного органического углерода (при 3290 руб./т), тыс. руб./га
1	Лесотундрово-северотаежная зона	233,6	39357,8	168,5	554
2	Среднетаежная зона	237,8	51988,4	218,6	719
3	Южнотаежная зона	236,6	61952,2	261,8	861
4	Лесостепная зона	126,4	38378,1	303,6	999
5	Степная зона	79,9	21347,9	1267,2	4169
6	Сухостепная зона	28,2	2824,9	100,2	330
7	Полупустынная зона	14,7	1092,3	72,8	240

У нас в стране исследования по стоимостной оценке почв больше ориентированы на потребности оценки и возмещения вреда, причиняемого почвам хозяйственной деятельностью..

Ниже приводится пример оценки почвы с позиций замещения ее функции по плодородию. Такие оценки представляются достаточно актуальными в свете нарастающего снижения почвенного плодородия в России. Использование подобных методов могло бы создать экономические механизмы защиты почв от данного вида негативного воздействия недобросовестных пользователей сельскохозяйственных угодий.

<sup>27</sup> Стеценко А.В. Влияние глобального изменения климата и Киотского протокола на развитие защитного земледелия.2005. <http://rudocs.exdat.com/docs/index-220303.html>.

<sup>28</sup> Автору на настоящий момент времени не известны работы, определяющие подобный показатель для России.

<sup>29</sup> Курс Фунта стерлингов к Российскому рублю на 11.02.12. <http://cbrf.magazinfo.ru/rur/GBP>.

### Пример расчета вреда, причиненного снижением плодородия почвы

В результате деградации почв на площади 37,6 га после посевов сахарной свеклы утрачено плодородие почв. Тип почвы - чернозём обыкновенный.

Согласно данным Агрохимслужбы, основные показатели плодородия почв по региону для данного подтипа должны быть следующие: содержание гумуса - 3,1 %; легкогидролизуемый азот - 140 мг/кг; кислотность - рН = 7,4; содержание фосфора - 31 мг/кг; содержание калия - 380 мг/кг.

#### *Расчет стоимости гумуса*

При объёмной массе  $1,1 \text{ г/см}^3$  масса почвы в слое 20 см составит 2 200 т/га. Масса гумуса должна составлять 68,2 т/га. Коэффициент гумификации сухого вещества навоза крупного рогатого скота (КРС) для чернозёма обыкновенного составляет 25%. То есть, для возмещения 68,2 т/га гумуса необходимо:  $(68,2 \times 100) / 25 = 272,8$  т/га сухого вещества навоза. Влажность навоза в среднем по региону оценки составляет 50%. Исходя из вышеизложенного количество навоза КРС, необходимое для возмещения 3,1% гумуса на 1 га поля, составит:  $(272,8 \times 100) / 50 = 545,6$  тонн. Стоимость 1 тонны навоза КРС, принятая в расчётах, составляет 500 рублей.

Таким образом, стоимость возмещения гумуса на 1 гектаре поля составит:  $545,6 \text{ т} \times 500 \text{ руб./т} = 272800$  рублей (без стоимости внесения).

*Расчёт стоимости действующего вещества NPK (азот, фосфор, калий) по аналогам в простых (однокомпонентных) минеральных удобрениях*

Количество легкогидролизуемого азота, характеризующего плодородие почвы по этому показателю в чернозёмах обыкновенных, составляет 140 мг/кг почвы. Согласно расчётам, масса почвы в слое 0-20 см составляет 2 200 т или 2 200 000 кг. Расчёты показывают, что масса легкогидролизуемого азота в данном случае составит:  $2\,200\,000 \text{ кг} \times 140 \text{ мг/кг} = 308 \text{ кг/га д.в.}$  Наиболее распространённым и концентрированным азотным удобрением в земледелии региона оценки является аммиачная селитра с содержанием азота, равным 34%. Для вычисления физического веса этого удобрения, необходимого для возмещения 308 кг/га д.в. легкогидролизуемого азота, необходимо провести следующую математическую операцию:  $(308 \times 100) / 34 = 906 \text{ кг/га.}$

Аналогичные расчёты, проведённые по подвижному фосфору и обменному калию, показывают, что первого при содержании в почве 22 мг/кг необходимо в переводе на двойной гранулированный суперфосфат с содержанием фосфора 46%:  $31,0 \text{ мг/кг} \times 2\,200\,000 \text{ кг} = 68,2 \text{ кг/га д.в.;}$   $(68,2 \times 100) / 46 = 148,3 \text{ кг/га.}$

Для замещения 380,0 мг/кг почвы обменного калия потребуется следующее количество калийной соли с содержанием действующего вещества 60%:  $380,0 \text{ мг/кг} \times 2\,200\,000 \text{ кг} = 836 \text{ кг/га д.в.;}$   $(836 \times 100) / 60 = 1393,3 \text{ кг/га.}$

Умножение полученных величин на среднероссийские цены соответствующих однокомпонентных минеральных удобрений, сложившиеся на 01.11.2007 года (<http://www.mcx.ru> - раздел анализ и прогнозы), даёт необходимые финансовые затраты на возмещение плодородия почвы 1 гектара по основным агрохимическим показателям их плодородия.

#### *Расчет вреда окружающей среде*

Размер вреда, причиненного окружающей среде в результате утраты почвенного плодородия в расчете на 1 га составляет:

стоимость азота (N) = (906 кг/га × 1000) × 5611,25 руб./т. = 5084 руб./га	
стоимость фосфора (P) = (148,3 кг/га × 1000) × 10988 руб./т. = 1630 руб. /га	
стоимость калия (K) = (1393,3 кг/га × 1000) × 4933,34 руб./т. = 6874 руб. /га	
стоимость гумуса	272800 руб. /га
Итого	286388 руб. /га

В пересчете на общую площадь земельного участка в 37,6 гектаров размер вреда, причиненного окружающей среде в результате утраты почвенного плодородия, составляет:  $37,6 \times 286388 = 10768188,8$  руб. Или округленно 10,768 тыс.руб.

#### Пример использования методов затратного подхода для оценки вреда от уничтожения почвы при добыче полезных ископаемых

В результате производства вскрышных работ со снятием плодородного слоя почвы и добычи песка был причинен вред окружающей среде. Рассчитанная площадь нарушенных земель составляет 67587 м<sup>2</sup>.

Вред, причиненный почвам, выразился в уничтожении почвенного слоя на двух участках площадью 3444 м<sup>2</sup> со средней мощностью почвы 0,8 м (над карьером № 1) и 7800 м<sup>2</sup> со средней мощностью почвы 1,2 м (над карьером № 2).

Основная часть почвы была уничтожена в ходе проведения вскрышных работ и работ по добыче песка. Небольшая часть почвы (верхние 20 см почвы) собрана в бурты, общим объемом 13517,4 м<sup>3</sup>, который включает как объем верхнего плодородного слоя почвы с территории карьеров, так и верхний плодородный слой почвы с общей нарушенной территории. Почва в буртах утратила свои естественные свойства, характерные для гумусоаккумулятивных горизонтов черноземов (структура, сложение, плотность), но технически может быть использована для восстановления (рекультивации) нарушенных земель. Нижняя часть плодородного слоя почвы вместе с минеральной частью почвы свалена на притеррасном склоне крутизной более 20 градусов, потеряла свои исходные плодородные свойства из-за потери структуры и выноса органического углерода и питательных элементов растений, поэтому не может быть использована для восстановления почв с исходными показателями плодородия. В соответствии с выполненными в полевых условиях описаниями почвы диагностируются как черноземы выщелоченные.

Вред, причиненный почве, определяется затратами на ее искусственное воспроизводство. Для этого суммируются затраты по приобретению рыночного аналога почвы - почво-грунта и все другие затраты по осуществлению комплекса рекультивационных работ. К полученной величине прибавляется упущенная выгода общества, определенная в размере неполученного дохода от пастбища, капитализированного по социальной ставке дисконтирования.

*Исходные данные для расчета размера вреда*

Объем уничтоженной плодородной части почвы составляет: 6057,6 м<sup>3</sup>. Средняя рыночная цена почво-грунта, состоящего из чернозема, составляет 933 руб./м<sup>3</sup> в регионе его основной реализации.

Общая рыночная стоимость уничтоженной плодородной части почвы составляет: 6057,6 м<sup>3</sup>×933 руб./м<sup>3</sup>= 5652 тыс. руб.

Затраты на обследование и оценку составляют 15 тыс.руб.

Затраты на составление проекта рекультивации определены в размере 200 тыс. руб.

Затраты на рекультивацию согласно смете на выполнение работ по рекультивации составляют 11240 тыс. руб.

Отсюда затраты на воспроизводство утраченной почвы составят: 15 тыс.руб.+200 тыс.руб.+11240 тыс.руб. +5652 тыс.руб. = 17107 тыс.руб.

*Расчет упущенной выгоды от потери почвы*

В настоящее время земельный участок используется как сенокос.

Нарушенная площадь составляет 67587 м<sup>2</sup> или 6,76 га.

Средняя урожайность естественных сенокосов без улучшений составляет около 10ц/га сухой поедаемой массы.

Рыночная цена на сено составляет 370 рублей за центнер.

Отсюда неполученный доход составит: 10 ц/га×370 руб./ц×6,76 га = 25012 руб.

При его капитализации по социальной ставке дисконтирования получим упущенную выгоду общества от неиспользования почв, равную = 25 тыс.руб./0,03 = 834 тыс.руб.

*Расчет вреда окружающей среде*

Соответственно, общий размер вреда, причиненного окружающей среде уничтожением плодородного слоя почвы, составляет: 17107 тыс.руб. + 834 тыс.руб. = 17941 тыс.руб.

Приведенные выше примеры демонстрируют возможности применения различных методов для оценки различных функций почвы.

Концепция ОЭС природных благ подразумевает суммирование их оценок, полученных для рыночных и для нерыночных услуг и функций природы. В отношении оценки ОЭС почвы также можно суммировать стоимостные оценки, относящиеся к ее разным функциям и услугам. Однако при простом суммировании возможен двойной счет выгод, создаваемых почвами и оцениваемых методами разных подходов.

К сожалению, экологическая экономика еще не выработала упорядоченной концепции применения различных методов и стоимостных показателей для оценки почвы, такой, какую выработала теория оценки для определения рыночной стоимости. Это направление исследований еще ждет своего развития.

### *Литература*

Гражданский кодекс РФ.

Грибовский С.В., Иванова Е.Н., Львов Д.С., Медведева О.Е. - Оценка недвижимости – М.: «Интерреклама», 2003.

Земельный кодекс РФ.

Медведева О.Е. Глава 43. Экономические оценки в природопользовании и охране окружающей среды // Экономика: учебник / под.ред. Д.С.Львова, В.В.Видяпина: В 2 кн. Кн. 2.- М.: ГОУ ВПО «РЭА им. Г.В. Плеханова», 2008, стр. 66 - 90.

Международные стандарты оценки. Восьмое издание 2007 (МСО 2007) / Пер. с англ. М.: Российское общество оценщиков. 2008.

Методические рекомендации по определению рыночной стоимости земельных участков, утвержденные Распоряжением Минимущества России от 07.03.2002 № 568-р

Микерин Г.И., Смоляк С.А. Оценка эффективности инвестиционных проектов и стоимостная оценка имущества: врозь или вместе? – М.: ЦЭМИ РАН. 2012

Оценка недвижимости. Русский перевод 11-го издания учебника по оценке недвижимости, 2001. (Appraisal of real estate, Appraisal institute, 2001, 12 ed. ).

Стеценко А.В. Влияние глобального изменения климата и Киотского протокола на развитие защитного земледелия. 2005. <http://rudocs.exdat.com/docs/index-220303.html>.

Федеральный закон «Об оценочной деятельности в Российской Федерации» от 29 июля 1998 г. № 135-ФЗ.

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 N 7-ФЗ.  
Economic Valuation of Soil Functions. Phase 1: Literature Review and Method Development. [http://www.cjccconsulting.co.uk/pdfs/FINALEcon%20Valuation%20of%20Soil%20Functions%20Rept%20Phase%20I\\_0806.pdf](http://www.cjccconsulting.co.uk/pdfs/FINALEcon%20Valuation%20of%20Soil%20Functions%20Rept%20Phase%20I_0806.pdf).



## **Общие вопросы и проблемы эколого-экономической реабилитации сельскохозяйственных земель**

### ***Обоснование необходимости эколого-экономической реабилитации сельскохозяйственных земель***

В современной России следствием интенсивного использования земель в сельскохозяйственном производстве, а также крупномасштабного изъятия плодородных земель в несельскохозяйственных целях являются расширяющиеся процессы ухудшения их качества.

Данные процессы можно разделить на два основных вида:

- деградация почв и потеря почвенного плодородия в результате неправильного и истощительного ведения сельского хозяйства;
- физическое и химическое воздействие на земли в основном в результате их несельскохозяйственного использования, приводящее к их нарушению, загрязнению и другим негативным явлениям.

*Наиболее значительной по потерям для сельскохозяйственного производства является деградация почв.* Деградированные земли – это земли, на которых в результате природных или антропогенных факторов происходят устойчивые негативные процессы изменения состояния почв (Розанов, 1984).

Термин «деградация» имеет латинское происхождение (degradation), буквально означает «снижение». Это понятие достаточно широкое.

Учеными выделяются понятия: «деградация земель сельскохозяйственного назначения», «деградация почвенного покрова», «деградация почв», «деградация растительного покрова», «деградация агроландшафтов» и т. д.

Согласно федеральному закону «О землеустройстве», под деградацией почв следует понимать «совокупность процессов, приводящих к изменению функций почвы как элемента природной среды, количественному и качественному ухудшению ее свойств и режимов, снижению природно-хозяйственной значимости земель, т. е. такого качества земель, которое определяет характер и эффективность их хозяйственного использования, участия почвенного покрова в обеспечении функционирования экосистем (в том числе и агроэкосистем) и существования природных ландшафтов».

Различают следующие типы деградации почв:

- физическую (ухудшение гидрофизических свойств почвы, нарушение почвенного профиля);

- химическую (ухудшение химических свойств почвы, истощение запасов питательных элементов, вторичное засоление и осолонцевание, загрязнение ксенобиотиками);
- биологическую (снижение видового разнообразия, нарушение оптимального соотношения различных видов почвенной мезофауны и микроорганизмов, загрязнение почвы патогенными и др. не свойственными ей микроорганизмами, ухудшение санитарно-эпидемиологических показателей) и др.

Мониторинг сельскохозяйственных земель России отражает их сокращение за последние 40 лет на 0,9 млн. га, пашни – на 11,8 млн. га. Уменьшение пашни произошло в основном за счет ее перевода в сельскохозяйственные земли других видов использования. Основная негативная тенденция выражается в резком увеличении земель в залежи, площадь которой возросла в 5 раз за исследуемый период.

Таблица 1. Динамика качественного состояния сельскохозяйственных угодий в границах Российской Федерации за период с 1970 по 2008 гг.

Показатель	1970 г.		2000 г.		2008 г.		Темп роста 2008 г. к 1970 г., %
	млн. га <sup>1</sup>	в % ко всей площади	млн. га	в % ко всей площади	млн. га	в % ко всей площади	
Площадь эрозионно-опасных сельскохозяйственных угодий в т. ч. пашни	31,1	14,0	129,6	58,6	130,1	59,0	в 4,2 р.
	21,4	16,0	51,1	41,1	85,0	69,9	в 4,0 р.
Площадь сельскохозяйственных угодий, подверженных водной эрозии в т. ч. пашни	14,0	6,3	39,4	17,8	39,3	17,8	в 2,8 р.
	11,5	8,6	15,1	12,1	-	-	-
Площадь сельскохозяйственных угодий, подверженных переувлажнению и заболачиванию	12,3	5,6	27,2	12,3	26,0	11,8	в 2,1 р.
	в т. ч. площадь пашни, подверженная переувлажнению и заболачиванию	4,6	3,4	6,1	4,9	6,5	5,3
Площадь сельскохозяйственных угодий, подверженных засолению в т. ч. пашни	25,0	11,3	44,6	20,1	44,8	20,3	179,2
	1,3	1,0	8,5	6,8	9,0	7,4	в 6,9 р.
Площадь сельскохозяйственных угодий с повышенным уровнем кислотности	43,8	19,8	78,6	35,5	84,0	38,1	191,8

<sup>1</sup> Приведенные данные за 1970 г. не включают площади приусадебных земель личного пользования.

Показатели, характеризующие качественное состояние сельскохозяйственных земель, отражают его существенное ухудшение, а следовательно, и снижение потенциала для производства сельскохозяйственной продукции (табл. 1) (Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды РФ, 2001, 2009).

Только за последние 9 лет площадь эрозионно-опасных площадей сельскохозяйственных угодий возросла на 0,4%, в т. ч. пашни – на 66,4%, площадь пашни, подверженной переувлажнению и заболачиванию, – на 6,6%, площадь пашни, подверженной засолению, – на 5,9%, площадь сельскохозяйственных угодий с повышенным уровнем кислотности – на 6,9%. Данные государственного доклада о состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2008 г. свидетельствуют о том, что на 1.01.2009 г. 130,1 млн. га сельскохозяйственных угодий РФ являются эродированными и эрозионно-опасными землями, 44,8 млн. га представлены засоленными почвами и солонцовыми комплексами, 26 млн. га переувлажнены и заболочены, 84 млн. га являются кислыми, 12 млн. га засорены камнями. Наибольший удельный вес эродированных земель отмечается в Западно-Сибирском округе – 82%, Поволжском – 78%, Северо-Кавказском – 77%, Уральском – 55%, Дальневосточном – 49% сельскохозяйственных земель.

Уникальной особенностью России является наличие на ее территории черноземов. Однако, интенсивное землепользование пашни, нарушение системы севооборотов привели к отрицательному балансу веществ в почвах и нарушению их соотношения, что оказало неблагоприятное влияние на продуктивность сельскохозяйственных культур. Существенное влияние на состояние черноземов оказали негативные изменения структуры сельскохозяйственных угодий. Многолетние травы составляют не более 2% площади при необходимом количестве – не менее 10–15%. Такое уменьшение площади многолетних трав приводит к потере органического вещества почвы и снижению ее плодородия.

По расчетам Россельхозакадемии, для обеспечения воспроизводства органического вещества (гумуса) в пахотных почвах страны ежегодная потребность в органических удобрениях составляет около 840 млн. тонн. Однако, в связи с резким сокращением ресурсов органических удобрений (навоза), даже при их полной мобилизации, потребность для воспроизводства гумуса почв может быть удовлетворена лишь на 17–20%. Прогнозируемые объемы применения органических удобрений составляют не более 50–55 млн. тонн в год.

Одновременно необходимо наращивать объемы применения минеральных удобрений, которые в последние 5 лет не превышают 1,9–2,4 млн. тонн в год, в пересчете на действующее вещество. В противном случае плодородие почв будет интенсивно снижаться, что может привести к край-

не неблагоприятным последствиям, в частности, к необратимой деградации наиболее ценных земель России.

К факторам, оказывающих значительное влияние на формирование урожая сельскохозяйственных культур, относятся кислотность, содержание фосфора, калия и др. Результаты мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственных угодий России на 1 января 2010 г. показывают, что из обследованных 83,6 млн. га площадей пашни 29,4 млн. га, или 35%, имеют высокий уровень кислотности. Для сохранения почвенного плодородия и предотвращения увеличения площадей кислых почв необходимо известковать ежегодно не менее 3 млн. га, а в настоящее время эти работы проводятся на площади 200–300 тыс. га. Освоение засоленных и солонцовых почв требует улучшения физико-химических свойств почв, а также последующего постоянного поддержания их состояния, позволяющего продуктивно использовать эти земли в сельскохозяйственном производстве. В настоящее время работы по улучшению солонцовых почв практически прекратились и составляют 400–500 га в год.

Данные мониторинга свидетельствуют о том, что низкое и очень высокое содержание фосфора в почвах Российской Федерации составляет 22%. Фосфор является важнейшим лимитирующим фактором получения высокого урожая сельскохозяйственных культур, поэтому необходимо компенсировать его недостаток внесением минеральных фосфорных удобрений.

Калий является одним из важнейших биофильных элементов. Площади сельскохозяйственных угодий в РФ, имеющие очень низкую, низкую и среднюю обеспеченность обменным калием, составляют 28,7%. В условиях интенсивного земледелия эта группа почв в Центральном федеральном округе возрастает до 48,4%.

Приведенные данные свидетельствуют о продолжающемся ухудшении агрохимических характеристик сельскохозяйственных земель России. При этом объемы агрохимических работ в стране находятся на очень низком уровне и по сравнению с дореформенным периодом сократились в 10–20 раз (табл. 2) (Гордеев, Романенко, 2008).

Внесение органических удобрений снизилось на 71,1%, в т.ч. в расчете на гектар на 35,7%. Объемы внесения минеральных удобрений возросли к уровню 1960 г. Однако к показателю периода 1986–1990 гг. они сократились в 3 раза. Из-за отсутствия информации невозможно провести сравнение показателей 2007 г. к уровню 1965 г. по отдельным показателям. В сравнении с обследованиями 1976–1980 гг. в 2007 г. фосфора было внесено на 96% меньше, площадь гипсования солонцовых почв сократилась на 98%, известкования кислых почв – на 95%.

Проблема деградации почв, по нашему мнению, обусловлена нерациональным ведением сельскохозяйственного производства. Несоблюдение технологий возделывания культур, обеспечивающих сохранение и

рост почвенного плодородия, нарушение севооборотов в земледелии, вызвано, прежде всего, экономическими причинами. Следствием перехода от командно-административной системы управления к рыночной явилось изменение структуры землевладения. В результате нарушились традиционные приемы ведения сельского хозяйства, наблюдается игнорирование научно обоснованных, апробированных практикой способов земледелия, накопленных агрономических знаний. Ведение хозяйства как крупными частными агрофирмами, так и мелкими собственниками не обеспечивает воспроизводства плодородия земель. Извлечение прибыли без учета экологических факторов и в связи с этим распространение наиболее рентабельных монокультур, имеющих максимальную рыночную цену, приводит к ухудшению состояния сельскохозяйственных земель. Их деградация проявляется в потере почвенного плодородия, вызванной уменьшением гумуса, количества питательных веществ (азот, калий, фосфор и микроэлементы), повышении кислотности почв, переуплотнении почв, ухудшении структуры почв и гранулометрического состава, переувлажнении и засолении почв, их разрушении и утрате в результате водной и ветровой эрозии.

Таблица 2. Динамика выполнения агрохимических работ в России (в среднем за год)

Показатели	Годы								2007 г. в % к 1965 г.
	1965	1966- 1970	1976- 1980	1986- 1990	1996- 2000	2003	2005	2007	
Внесение органических удобрений:									
млн. т	167,4	198,4	352,1	481,6	70,0	57,2	49,9	48,3	28,9
т/га	1,4	1,6	2,7	3,7	0,5	0,9	0,9	0,9	64,3
Внесение минеральных удобрений в посевы, кг/га	20	28	65	99	11	23	25	33	165,0
Известкование кислых почв, тыс. га	1430	2300	3619	5340	451	401	342	279	19,5
Внесение фосфора, тыс. га	-	-	971	1939	77	42	43	32,1	-
Гипсование солонцовых почв, тыс. га	-	39,4	61,5	160,0	2,4	7,0	0,8	0,9	-
Известкование кислых почв, тыс. га	-	-	188,7	298,0	5,7	10,5	10,0	10,0	-

*Процесс нарушения сельскохозяйственных земель занимает второе место по значимости.*

Нарушение земель – это процесс механического разрушения почвенного покрова. К нарушенным относятся участки земли, на которых в ре-

зультате хозяйственной деятельности человека уничтожена растительность, разрушен почвенный покров, изменены гидрологический режим и рельеф местности. К нарушенным землям относятся все земли со снятым или перекрытым гумусовым горизонтом и непригодные для использования без предварительного восстановления плодородия (Костенков, 2010).

Процесс нарушения земель в какой-то мере неизбежен и обусловлен, главным образом, развитием промышленного производства, транспорта, но в большей степени именно расширением добычи полезных ископаемых, которая не может быть осуществлена без отвода земли. При этом нарушение земли непосредственно связано с уничтожением плодородного слоя, что ведет к невозможности использования земель в сельскохозяйственных целях.

На 1 января 2009 г. площадь нарушенных земель РФ составила 989,4 тыс. га. Более половины нарушенных земель (55,6%) связано с разработкой месторождений полезных ископаемых и проведением геолого-разведочных работ, 19% – при торфоразработке, 12% – при строительстве (Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения, 2010). Данные о рекультивации нарушенных земель представлены в табл. 3.

Восстановлением нарушенных земель для дальнейшего их использования в качестве земель сельскохозяйственного назначения занимаются, в основном, предприятия нефтедобывающей и газовой промышленности и строительства магистральных нефтегазопроводов. На их долю приходится 84% всех земель, рекультивированных под пашню.

Таблица 3. Динамика рекультивированных земель по горнодобывающим отраслям промышленности Российской Федерации за период с 1995 по 2008 гг.

Показатель	1995 г.		2000 г.		2008 г.		Абс. откл. 2008 г. от 1995 г., (+;-)
	га	в % ко всей площади	га	в % ко всей площади	га	в % ко всей площади	
Угольная промышленность	2095	2,0	1537	3,2	1160	5,1	-935
Черная металлургия	549	0,5	236	0,5	42	0,2	-507
Цветная металлургия	24233	22,7	26708	55,2	6392	28,4	-17841
Нефтедобывающая промышленность	30617	28,7	12918	26,7	10632	47,2	-19985
Газовая промышленность	37380	35,1	4172	8,6	3430	15,2	-33950
Торфяная промышленность	9208	8,6	1534	3,2	525	2,3	-8683
Промышленность строительных материалов	2515	2,4	1298	2,7	364	1,6	-2151
Итого	106597	100	48404	100	22545	100	-84052

Однако более значительными темпами снижаются площади рекультивированных земель. Если в 1995 и 2000 гг. площади рекультивированных земель превышали нарушенные земли на 79% и 25% соответственно,

то в 2008 г. было рекультивировано только 63% нарушенных горнодобывающей промышленностью в этом году земель. Большие площади нарушенных земель остаются в сельском хозяйстве (115,9 тыс. га), основная их часть – торфозаготовки (64,8 тыс. га).

Таким образом, исследование состояния сельскохозяйственных земель России показывает негативную тенденцию, которая может привести к необратимым процессам. Агропроизводство приводит к истощению почвенного плодородия, а использование земли при добыче полезных ископаемых связано с их нарушением. При ограниченных ресурсах высокопродуктивных земель обостряется потребность и необходимость восстановления качества почв и возврата их в сельхозпроизводство. Воспроизводство и поддержание плодородия земли в сельскохозяйственном производстве требует применения комплекса экологических и экономических мер.

### ***Почвенное плодородие как фактор, определяющий особенности, роль и функции земли в сельскохозяйственном производстве***

Земле как продукту природы свойственны, прежде всего, экологические функции и характеристики. С этой точки зрения, земля является компонентом биосферы – биогеоценоза (экосистемы), т. е. генетически и географически взаимосвязанного местного сочетания растительности, животных, почвы, рельефа и климата (Панников, Карманов, Булгаков и др., 1998) или биологической системы, состоящей из сообщества живых организмов, среды их обитания и системы связей, осуществляющей обмен веществом и энергией между ними (Титенберг, 2001).

С экономической точки зрения земля выполняет множество разнообразных функций, большинство из которых проявляется только в сельскохозяйственном производстве. Она является и основным средством производства, и предметом труда, и базисом для размещения разнообразных объектов. Земля как сельскохозяйственное средство производства одновременно выступает и как предмет, и как орудие, и как средство труда (с дополнительными функциями орудия труда). В этом случае земля–почва проявляется как ресурс, определяющий возможность, специализацию и эффективность земледелия. Выполнение всех этих функций возможно только благодаря основному свойству земли, как экономического ресурса – почвенному плодородию, т. е. способностью с помощью природных компонентов продуцировать растительность, в т. ч. и сельскохозяйственную, и органическое вещество.

Еще В.В. Докучаев отмечал, что «...почвы лежат в основе главнейших факторов, влияющих на ценность и доходность земли..., и служат фундаментом для всех других факторов, связанных с ним генетически» (Докучаев, 1898).

Благодаря функционированию почвенного плодородия земли, всех протекающих в почве биохимических, геолого-минералогических и физических процессов могут функционировать и все другие средства производства в сельском хозяйстве. Поэтому реализация функции почвенного плодородия является основным фактором во всем технологическом процессе земледелия.

Рассматривая почвенное плодородие, необходимо определить, что средства труда – это не только орудия, оказывающие механическое воздействие на предмет труда, но и орудия, обладающие определенными свойствами – химическими, физическими качествами, с помощью которых создается конечный продукт производства. Именно эти специфические свойства, присущие почвам, по нашему мнению, позволяют отнести их к средствам производства в сельском хозяйстве.

Однако плодородие определяется не только экологическими функциями, но и экономическими. К. Маркс отмечал, что «...плодородие вовсе не в такой степени является естественным качеством почвы, как это может показаться: оно тесно связано с современными общественными отношениями» (Маркс, 1955). В силу естественных законов земледелия при известной высоте культуры и соответствующем истощении почвы, капитал, понимаемый здесь также в смысле уже произведенных средств производства, становится решающим элементом земледелия.

В сельскохозяйственном производстве тесно переплетены экономические и экологические процессы. Поэтому очень сложно определить, в какой степени эффективность производства зависит от земли как основного средства производства, а в какой – от средств производства, произведенных человеком, т. к. земля по своему естественному плодородию неодинакова.

Естественное плодородие почвы – результат длительного почвообразовательного процесса, создается самой природой. Оно определяется совокупными действиями климата, растительности, почвообразующих факторов, рельефом местности, антропогенных факторов воздействия хозяйственной деятельности человека и временного фактора (Бобылев, Ходжаев, 2007). Естественное плодородие отражает природный запас питательных веществ в почве, степень возможного их использования растениями, что дает основание подразделять почвы на более плодородные и менее плодородные.

К. Маркс считал, что деление плодородия на естественное, искусственное и эффективное ничем не обосновано. Он выделял только два вида плодородия: естественное и экономическое, указывая что «...с точки зрения экономического плодородия почвы степень производительности труда, в данном случае способность земледелия непосредственно использовать естественное плодородие, – способность, которая различна на различных ступенях развития, – представляет собой такой же момент так называемого естественного плодородия почвы, как ее химический состав и другие при-



родные ее свойства» (Маркс, 1962). К. Маркс отмечал: «...Хотя плодородие и является объективным свойством почвы, экономически оно все же постоянно подразумевает известное отношение – отношение к данному уровню развития химических и механических средств агрокультуры, а потому и изменяется вместе с этим уровнем развития» (Маркс, 1962).

Реализация естественного плодородия почвы во многом определяется человеком, уровнем агротехники, развитием производительных сил. Использование этих факторов позволяет существенно увеличить первоначальное, природное плодородие земли. Создается дополнительное плодородие, целиком зависящее от антропогенных воздействий, – искусственное плодородие.

Совокупность естественного и искусственного плодородия образует экономическое плодородие, которое отражает имеющиеся возможности земли продуцировать биомассу. Количественно экономическое плодородие выражается объемом сельскохозяйственной продукции, произведенной на единицу площади.

Обобщив различные мнения (Маркс (1962), Крутова (1982), Печеникина (2005), Кирюшин (2011), Бобылев, Ходжаев (2007), Петров (2010), Федорова (2010)), можно провести следующую классификацию видов плодородия:

*1. По способу возникновения:*

1.1. Естественное плодородие:

- способность природы обеспечивать растения факторами жизни;
- запасы питательных веществ обусловлены природными особенностями почв;
- свойственно необрабатываемым землям.

1.2. Искусственное плодородие. Предполагает не только использование полезных свойств почвы, созданное природой, но и их увеличение посредством воздействия человека на почвы.

*2. По принципу реализации:*

2.1. Потенциальное (пассивное) плодородие:

- характеризует исходные потенциальные возможности и их границы для производительного использования полезных свойств почв;
- уровень измеряется запасами питательных веществ, агрофизическими, агрохимическими, агробиологическими и другими свойствами почв;
- запасы питательных веществ обусловлены природными генетическими свойствами почв.

2.2. Действительное (актуальное, эффективное) плодородие: характеризует степень использования потенциальных возможностей производительных свойств почв (потенциального плодородия). Отражает результативность взаимодействия земли с другими средствами производства и рабочей силой.

### *3. Экономическое плодородие:*

– степень проявления действительного плодородия в форме экономического обусловлено не только потребительскими свойствами земли, но и уровнем развития производительных сил в земледелии;

– создается посредством применения и взаимодействия различия элементов систем земледелия.

В сложившейся кризисной ситуации ухудшения состояния сельскохозяйственных земель, по нашему мнению, процессы воспроизводства искусственного плодородия почв должно не только учитывать, но и основываться на современных экологизированных технологиях земледелия. Таким образом, процесс воспроизводства экономического плодородия в преобладающей мере будет обеспечиваться за счет природных свойств почв.

### ***Эколого-экономическая реабилитация сельскохозяйственных земель как инструмент воспроизводства почвенного плодородия***

В.В. Докучаев отмечал: «Почвы, подобно всему на свете, изменяются, и если из них постоянно брать, ничего не возвращая; то, естественно, ухудшаются» (Докучаев, 1898).

Почвы имеют значение и как ресурс, и как природный объект. Их воспроизводство необходимо и с той и с другой точек зрения, т.к. в обоих случаях почвы выполняют незаменимую роль: экологическую – как компонент среды, и экономическую – как фактор агропроизводства. Данные аспекты, а также ограниченность высокопродуктивных сельскохозяйственных угодий вызывает потребность и необходимость восстановления качества почв и возврата их в сельхозпроизводство.

В настоящее время сформировалось несколько устойчивых терминов, связанных с воспроизводством нарушенных и деградированных земель. Основными из них являются «рекультивация», «реабилитация» и «мелиорация земель». Эти термины обозначают различные восстановительные процессы.

*Рекультивация* – это искусственное воссоздание плодородия почв и растительного покрова, нарушенного вследствие горных разработок, строительства дорог и т. д., то есть в основном несельскохозяйственной деятельности (Сельскохозяйственный энциклопедический словарь, 1989). Целью ее проведения является улучшение условий окружающей среды.

Возможны различные направления рекультивации для последующего определенного целевого использования нарушенных земель:

- сельскохозяйственное – создание на нарушенных землях сельскохозяйственных угодий (пашен, сенокосов, пастбищ и др.);
- лесохозяйственное – создание лесных насаждений различного типа;
- рыбохозяйственное – создание в понижениях техногенного рельефа рыбоводческих водоемов;

- водохозяйственное – создание в понижениях техногенного рельефа водоемов различного назначения;
- рекреационное – создание на нарушенных землях объектов отдыха;
- санитарно-гигиеническое, которое предусматривает биологическую или техническую консервацию нарушенных земель, оказывающих отрицательное воздействие на окружающую среду, рекультивация которых для хозяйственного использования экономически неэффективна;
- строительное – приведение нарушенных земель в состояние, пригодное для промышленного и гражданского строительства.

В зависимости от целевого направления последующего использования земель выбираются и виды рекультивационных работ на нарушенных землях.

Рекультивация имеет ограниченный характер и не включает весь комплекс мероприятий по восстановлению плодородия земель.

После проведения рекультивации при возвращении их в сельскохозяйственное производство требуется комплекс мер, обеспечивающих поддержание их естественного состояния и потенциала. Это достигается соблюдением определенных дополнительных технологических приемов в целостной системе мер.

В целях улучшения качества земель, предназначенных для сельскохозяйственного использования, требуется «мелиорация».

*Мелиорация* предусматривает мероприятия для улучшения качества как нарушенных, деградированных, так и земель, находящихся в сельскохозяйственном использовании и требующих улучшения определенных свойств, необходимых для возделывания тех или иных видов растений.

Под мелиорацией понимается комплекс организационно-хозяйственных и технических работ, направленных на улучшение гидрологических, почвенных и агроклиматических условий с целью повышения эффективности использования земельных и водных ресурсов для получения высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур (Муха, 2000). Мелиорация отличается от обычных агротехнических приемов длительным и более интенсивным воздействием на объекты улучшения. Выбор вида мелиорации зависит от природно-хозяйственных условий территории.

Термин «*реабилитация*» в настоящее время используется в основном для характеристики процесса восстановления потенциала зараженных радионуклидами и химически загрязненных земель. Такие земли практически не подлежат дальнейшему сельскохозяйственному использованию.

За рубежом термин «реабилитация» широко используется в отношении процесса восстановления земель, не только загрязненных, но и деградированных. В Бизнес-словаре дана следующая дефиниция термина «реабилитация земли» – процесс восстановления земли к ее исходному состоянию после разрушения или повреждения ее качеств.

Таким образом, используемые в настоящее время термины «реабилитация», «рекультивация» и «мелиорация земель» имеют в большей степени технологическую и техническую направленность. Данный подход не

отражает всех аспектов проблемы восстановления почвенного плодородия. На этой основе нельзя обеспечить комплексный подход к процессу восстановления нарушенных земель и воспроизводству плодородия почв, включающий методы не только технологического характера (рекультивация, мелиорация), но и экономического характера, а также учитывающие экологические свойства земель.

Для характеристики процесса воспроизводства почвенного потенциала, т. е. воспроизводства экономического плодородия сельскохозяйственных земель с учетом экологических факторов, мы предлагаем использовать термин «эколого-экономическая реабилитация земель».

Реабилитация, по сути, это восстановление способностей. А восстановление – возвращение в прежнее состояние. В переводе с английского (rehabilitation):

- 1) реабилитация,
- 2) восстановление здоровья,
- 3) восстановление в правах,
- 4) ремонт, реконструкция, восстановление.

Исходя из этого определения, по нашему мнению, правомерно использовать термин «реабилитация» к характеристике процесса воспроизводства почвенного плодородия.

Под воспроизводством понимается процесс, который постоянно и непрерывно повторяется и возобновляется. Для существования человечества производство должно постоянно возобновляться через свои стадии: производство, распределение, обмен, потребление. Поскольку потребление непрерывно, то и производство материальных благ должно происходить непрерывно (Хошимура, 1978).

По нашему мнению, эколого-экономический подход к воспроизводственному процессу почвенного плодородия учитывает различия между воспроизводственными процессами земли и процессами воспроизводства других материальных средств производства. Эти отличия обоснованы свойствами земли, перечисленными выше, и, прежде всего, различия воспроизводственных процессов во многом обусловлены качествами естественного и экономического плодородия почв.

Однако сейчас в России и мире, как в теории, так и на практике основное внимание уделяется проблеме воспроизводства экономического плодородия. Ориентация только на воспроизводство экономического плодородия несет негативные последствия. При значительном росте применения техногенных средств производства первоначальный рост урожайности сменяется дальнейшим его снижением, резким оскудением запасов почвенного плодородия и деградацией земель. Техногенный тип воспроизводства экономического плодородия приводит в результате к суженному воспроизводству естественного плодородия (Федорова, 2010).

Воспроизводство плодородия почв не может быть обеспечено отдельными технологическими операциями, в частности, рекультивацией и мелиорацией нарушенных и деградированных земель. Необходимо исходить из комплексного эколого-экономического подхода, предусматривающего не только технологические приемы, но и поддерживающие меры экономической поддержки, и инструменты законодательного воздействия на землепользователей.

Для этого следует расширить систему мер воспроизводства нарушенных и деградированных земель сельскохозяйственного назначения эколого-экономической реабилитацией как особым механизмом восстановления почвенного плодородия и качества земель в целом.

Необходим переход на природоохранный и природоулучшающий типы воспроизводства почвенного плодородия, обеспечивающие расширенное воспроизводство естественного почвенного плодородия.

Расширенное эколого-экономическое воспроизводство плодородия почв должно включать:

- сохранение и восстановление нарушенных в процессе антропогенного и природного воздействия элементов почвенного плодородия земли;
- систематическое возмещение потребленных элементов почвенного плодородия почв в процессе использования в производстве;
- оптимизацию использования естественного и потенциального плодородия в целях удовлетворения растущих потребностей общества и сокращения затрат общественного труда на единицу продукции;
- осуществление коренных улучшений земель и воссоздание элементов почвенного плодородия на малопродуктивных, расположенных в зонах рискованного земледелия землях;
- создание системы мониторинга, контроля и ответственности за состояние и динамику изменения производительных свойств почвы на всех уровнях ведения производственной деятельности на земле;
- выделение специальных частей совокупного сельскохозяйственного продукта, предназначенных для сохранения плодородия почвы и проведения коренных улучшений земли.

Эколого-экономическая реабилитация сельскохозяйственных земель должна обеспечивать их воспроизводство и дальнейшее сохранение экологического и природного потенциала земель в процессе использования в агропроизводстве (рис. 1).

Таким образом, *эколого-экономическая реабилитация сельскохозяйственных земель* отражает комплексный подход к процессу воспроизводства деградированных и нарушенных земель сельхозназначения, включая их ключевые потребительские экосистемные качества, функции и услуги, а также почвенное плодородие в рыночных условиях.



Рис. 1. Механизм эколого-экономической реабилитации деградированных и нарушенных сельскохозяйственных земель

### ***Источники финансирования для проведения эколого-экономической реабилитации сельскохозяйственных земель***

Эколого-экономическую реабилитацию сельскохозяйственных земель с экономической точки зрения можно назвать полным обновлением основных средств природного происхождения.

Исходя из перечисленных выше свойств, земля может рассматриваться под двумя углами зрения. С одной стороны, она представляет собой природный ресурс, характеризующийся пространством, рельефом, почвами, водами, растительным и животным миром, и оценивается с позиций возможности выполнения ею многоцелевых функций. С другой стороны, земля рассматривается как составная и неотъемлемая часть любого объекта недвижимости и оценивается с позиций полезности и доходности использования каждого конкретного земельного участка.

Остановимся более подробно на особенностях, связанных с использованием земли в агропроизводстве.

В сельском хозяйстве к свойствам земли как актива в первую очередь следует отнести плодородие и местоположение участка. Плодородие

почв определяет объем производства сельскохозяйственной продукции и ее качество. Местоположение участка оказывает влияние как на объем производства, зависящий от агроклиматических условий, так и на уровень затрат при перевозке продукции.

Активами являются объекты собственности, в отношении которых субъекты экономики осуществляют свои права собственности и от владения и использования которых они получают экономическую выгоду (Положение по бухгалтерскому учету ПБУ 6/01, утвержденное Приказом Минфина РФ от 30 марта 2001 г. № 26 н., 2001), т. е. каждый из активов должен дать владельцу определенный экономический эффект.

Земельные активы – это недвижимость, предназначенная для использования на постоянной основе в основной деятельности сельскохозяйственной организации и состоящая из земельных участков и долей, ранжированных по категориям их использования (Макунина, 2008).

Приобретаемые организациями земельные участки учитываются в качестве объектов основных средств – внеоборотных активов (Положение по бухгалтерскому учету, утвержденное приказом Минфина РФ от 27.11.2006 г. № 156 н., 2006).

Актив должен одновременно удовлетворять следующим условиям:

- объект предназначен для использования в производстве продукции, при выполнении работ или оказании услуг, для управленческих нужд организации либо для предоставления за плату во временное владение и пользование или во временное пользование;
- объект предназначен для использования в течение длительного времени, т.е. срока продолжительностью свыше 12 месяцев, или обычного операционного цикла, если он превышает 12 месяцев;
- организация не предполагает последующую перепродажу данного объекта;
- объект способен приносить организации экономические выгоды (доход) в будущем.

В соответствии с перечисленными характеристиками активов, земля отвечает каждой из них только при использовании в сельскохозяйственном производстве (рис. 2).

Важной особенностью учета земельных участков как актива является тот факт, что они не подлежат амортизации. Согласно ПБУ 6/01, не подлежат амортизации объекты основных средств, потребительские свойства которых с течением времени не изменяются, в частности земельные участки. Однако, положение о том, что в процессе эксплуатации земля (почвы) как возобновимый ресурс не исчезает и не изнашивается, не находит своего подтверждения. Как отмечалось выше, земля деградирует, подвергается нарушению и загрязнению и тем образом теряет свои полезные качества, определяющие возможность ее эффективного использования в сельскохозяйственном производстве.



Рис. 2. Характеристики земельного участка как «актива» в сельскохозяйственном производстве

На расширенное воспроизводство сельскохозяйственных угодий, их эколого-экономическую реабилитацию требуются значительные затраты на уровне каждого конкретного предприятия. Рыночные отношения неизбежно вызывают необходимость того, что они должны самостоятельно искать способы выживания, поддержания своей финансовой независимости и увеличения прибыли.

В результате этого возникает противоречие между потребностью производить максимально возможное количество сельскохозяйственной продукции и необходимостью не только поддерживать экологические функции и свойства почв, почвенное плодородие, но и повышать его в процессе производства.

Следовательно, эколого-экономическая реабилитация сельскохозяйственных земель в рыночных условиях хозяйствования вызывает потребность на микроуровне каждого предприятия формирования финансовых резервов на ее проведение.

В соответствии с нормативными документами РФ, земля, несмотря на то, что является активом, относится к неамортизируемому имуществу. По нашему мнению, это обосновано в случае использования земли как базиса для размещения объекта недвижимости, но в сельском хозяйстве земля, а именно – почва, выполняет функции средства производства, актива, без которого невозможно производство продукции.

Деградация почв, выбытие земли из сельскохозяйственного использования, сокращение посевных площадей, потеря гумуса, вынос значительной



части питательных веществ являются частным проявлением суженного воспроизводства земли. И одной из основных причин сложившегося положения является то, что земля как главное средство производства в сельском хозяйстве не подлежит амортизации.

На практике земля подвергается физическому износу.

Физический износ сельскохозяйственных угодий выражается в разрушении поверхностного слоя почвы и в истощении почвы (уменьшение содержания питательных веществ). В случае наличия на участке мелиоративных систем они тоже в той или иной степени разрушаются. Составляющие материальную основу любой системы производственных фондов для обеспечения непрерывности производства мелиоративные системы должны в определенный момент заменяться новыми, т. е. воспроизводиться как на прежней, так и на более высокой качественной основе, или обновляться.

Капитальный ремонт материальных условий эксплуатации земельных ресурсов аналогичен любому другому капитальному ремонту. Капитальное воспроизводство конкретного земельного участка обладает специфическими особенностями. Их суть заключается в восстановлении утраченного плодородия, земельного участка путем проведения мелиоративных мероприятий, являющихся также частью эколого-экономической реабилитации земли.

Следовательно, сельскохозяйственные земли требуют той или иной формы обновления, присущей обычным основным средствам. Поэтому, по нашему мнению, возможно начисление амортизации на земельные участки как на часть внеоборотных активов предприятия. В этих целях следует исключить земельные участки из объектов, не подлежащих начислению амортизации. Это позволит предприятиям создавать амортизационные фонды, средства которых должны быть направлены на реабилитацию сельскохозяйственных земель.

Кроме того, широкий международный опыт реабилитации деградированных и нарушенных земель свидетельствует, что ее успешное проведение невозможно без государственной финансовой и технической поддержки землепользователей. Необходима разработка комплекса национальных и региональных, государственных и негосударственных программ реабилитации. Действующая в России Федеральная целевая программа «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России на 2006-2010 годы и на период до 2013 года» не достигла желаемого результата – деградация земель не остановлена.

В развитых странах реализуется комплекс мероприятий по государственной поддержке реабилитации деградированных и нарушенных земель. Например, только в США на решение этой проблемы направлены следующие программы: Программа экологического стимулирования (Environmen-

tal Quality Incentives Program, EQIP, 1996 г.), Обслуживание сохранения природных ресурсов (Natural Resources Conservation Service, NRCS, 1994 г.), Программа сохранения заболоченных мест (Wetlands Reserve Program, WRP, 1990 г.). WRP – добровольная программа, обеспечивающая техническую и финансовую помощь фермерам по восстановлению и защите заболоченных территорий. Производители получают субсидии, размер которых зависит от потенциальной возможности их земли для участия в Программе. Финансирование Программы осуществляется Товарно-кредитной корпорацией (Commodity Credit Corporations, CCC). На текущий момент по данной программе зарегистрировано более 2 млн. акров земель.

Особую роль государства в решении проблемы реабилитации деградированных земель в США играет Программа резервирования территорий (Conservation Reserve Program, CRP) (36). Программа содержит два основных аспекта, отличающие ее от подобных актов, принимаемых в других государствах:

- государство платит землепользователям за то, что они воздерживаются от распашки деградированных земель сельскохозяйственного назначения;
- государство стимулирует не только восстановление качества почв, но и в целом экосистемы данного участка.

Программа резервирования территорий апробирована в течение 25 лет, и получены реальные положительные результаты в условиях США. Основные позиции данной Программы могут быть использованы и для решения проблемы реабилитации деградированных земель в России. Поэтому необходимо рассмотреть ее более подробно.

Механизм реализации Программы состоит в том, что землепользователи заключают с государством контракт, по которому они обязаны вывезти из сельскохозяйственного оборота часть своих земель (наименее продуктивных, эрозионно-опасных, заболоченных и т.п.) и консервировать их с целью восстановления на них естественной растительности. Землевладельцы, участвующие в CRP, получают субсидирование через Агентство поддержки фермеров. Помимо этих ежегодных субсидий, FSA может выплачивать дополнительные 20% надбавки на реализацию конкретных мероприятий. Размер субсидий зависит от категории контракта, заключенного землевладельцем по Программе (рис. 3).

Реализация Программы началась в 1986 г., и приносит значительные экологические результаты (табл. 4). Широкое распространение она получила на территории США начиная с 1990-х г. Ежегодно по Программе консервируется около 35 млн. акров деградированных земель. Общая сумма выплат за 25 лет существования Программы составила более 38 млрд. долларов США.

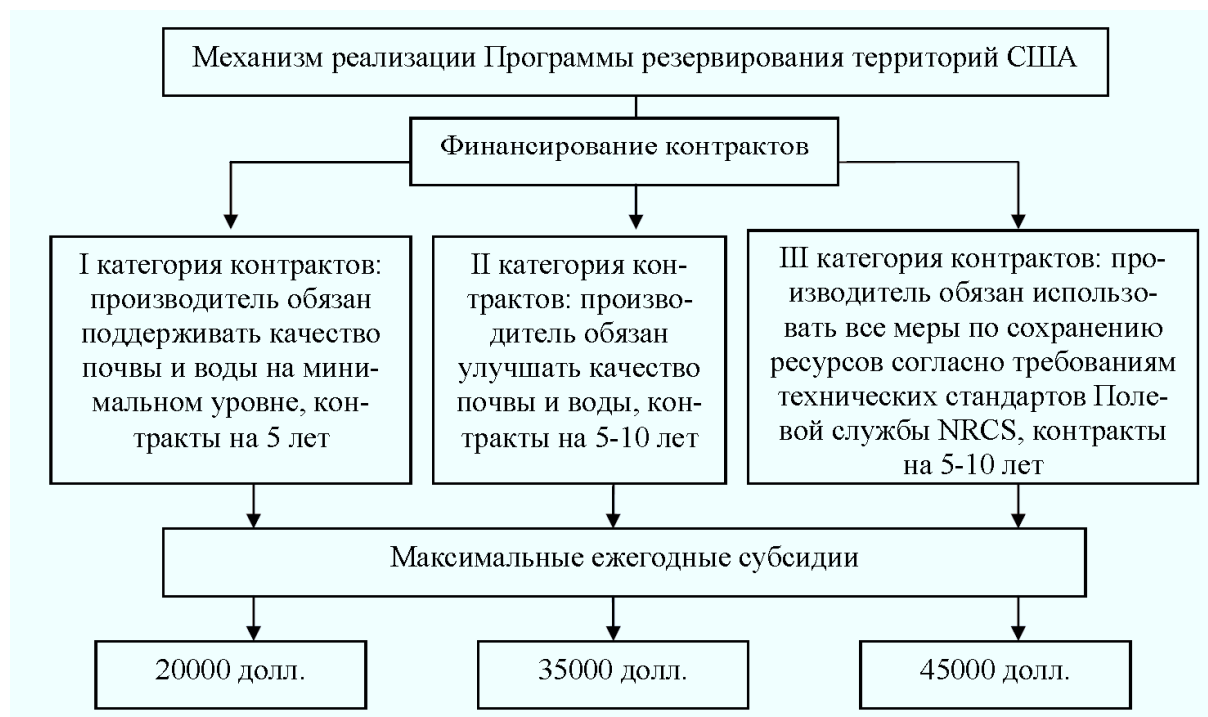


Рис. 3. Механизм реализации Программы резервирования территорий США

Таблица 4. Экологические выгоды реализации Программы резервирования территорий США

Показатели	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.	2009 г. в % к 2005 г.
Земля в соответствии с контрактом, млн. акров	34.9	36.0	36.8	34.6	33.7	96,6
В защитных полосах, млн. акров	1.75	1.84	1.90	2.00	2.01	114,9
В заболоченных местах, млн. акров	1.94	2.01	2.06	1.98	1.98	102,1
Площади сильно эродированной земли, млн. акров	24.6	25.2	25.5	23.6	22.8	92,7
Сокращение эрозии почвы к уровню 1982 г., млн. тонн	447	460	471	445	445	99,6
В т.ч.						
– сокращение водной эрозии	218	226	231	216	215	98,6
– сокращение дефляции	229	235	239	229	228	99,6

На участках CRP скорость эрозии почвы снижается, в среднем, с 22 до 1,7 т/акр (с 55 до 4,25 т/га). Подсчитано, что в целом это ежегодно сохраняет от водной и ветровой эрозии около 740 млн. тонн почвы. Помимо этого прямого результата, Программа вносит немалый вклад в сохранение качества воды путем снижения выноса загрязняющих веществ с водоразделов и создания вокруг водотоков и водоемов полос ненарушенных эко-

систем, играющих роль фильтров для стока. Так, на севере Великих Равнин (центр США) с осуществлением программы связывают снижение загрязнения открытых вод нитратами на 11%, фосфатами – на 13%, снижение содержания взвешенных веществ на 10%. В денежном выражении выгода от этого составляет 79 долл. на каждый акр, вовлеченный в CRP.

Несмотря на явную экологическую пользу Программы, в 1995 г. возник вопрос о прекращении ее реализации. Конгресс и Правительство США не хотели продлевать ее действие на следующие 5 лет, обосновывая высокими затратами средств налогоплательщиков.

Однако, было доказано, что CRP выгодна государству, несмотря на затратность. Увеличение продуктивности почв вследствие реализации CRP оценивается в 36 долл./акр (90 долл./га). Денежный эффект от снижения дефляционной эрозии варьирует от 11 до 26 долл./акр (27,5 – 65 долл./га) в различных регионах США. Помимо этого, федеральное правительство экономит ежегодно 500 млн. долл. на субсидиях фермерам, поскольку выплаты в рамках CRP меньше субсидий на возделывание зерновых. Кроме того, дополнительно экономятся средства за счет снижения затрат на хранение излишков зерна, субсидий экспортерам и т.п. В результате, за период 1986–2009 гг. общая сумма выплат по Программе составила 38,2 млрд. долл. При этом общий объем косвенных поступлений в бюджет и экономике оценивается примерно в 40,0 млрд. долл. (37).

Программа предусматривает около 35 различных способов и приемов реабилитации деградированных земель путем их выведения из сельскохозяйственного оборота. В России многие из них не только не применяются, но и не имеют аналогичных разработанных технологий.

Таким образом, опыт США по сохранению и реабилитации деградированных земель представляет большой интерес для России. Он показывает, что необходимы не только федеральные, национальные программы, но и региональные, государственные и негосударственные. В России же реализуется только одна крупномасштабная программа, которая не может решить проблему реабилитации деградированных земель. По нашему мнению, помимо аккумуляции собственных средств сельскохозяйственных предприятий в специализированных фондах за счет начисления амортизации на земельные участки как на часть внеоборотных активов предприятия, необходимо выделение бюджетных средств непосредственно производителю через заключение контрактов, направленных на реабилитацию сельскохозяйственных земель между государственными органами и сельскохозяйственными организациями всех уровней.

### ***Технологические инструменты эколого-экономической реабилитации сельскохозяйственных земель***

Эколого-экономическая реабилитация сельскохозяйственных земель предусматривает восстановление и поддержание систем земледелия, обес-

печивающих получение прибыли от ведения сельского хозяйства за счет минимизации издержек и увеличения урожайности сельскохозяйственных культур. При этом восстановление приемлемого уровня доходности сельскохозяйственного производства должно проходить не только за счет интенсификации традиционных методов ведения сельского хозяйства, но и за счет распространения природосберегающих способов земледелия, к которым мы относим методы адаптивно-ландшафтного земледелия и органического земледелия.

Технологические меры реабилитации базируются на системах ведения хозяйства в соответствии с законами природы и обеспечивают поддержание плодородия почвы за счет использования органогенного и плодородного слоя (гумусовый слой почвы, снятый при разработке полезных ископаемых, строительстве и т. д.), предусматривают закрытый круговорот питательных веществ в экосистеме, внесение органически связанного азота преимущественно в виде навоза и компоста, сидерацию растениями, способными накапливать азот, и применение медленно действующих минеральных удобрений.

Внедрение адаптивно-ландшафтной системы земледелия (АЛСЗ) и органического земледелия создает двойной эффект: с одной стороны, увеличивает доходность сельскохозяйственного производства за счет роста урожайности посредством использования природных факторов и более высоких цен на органическую сельскохозяйственную продукцию. Эти меры способствуют экономической реабилитации земель, а с другой стороны – позволяют сохранить природные ресурсы и качество окружающей среды, учесть экологический фактор, то есть выполнить требования концепции устойчивого развития в сельском хозяйстве.

При рациональном использовании почва может обеспечивать биологическую продуктивность бесконечно долго, но в результате нерационального хозяйствования она утрачивает свой природный потенциал (Розанов, 1984). В этом проявляется основная проблема использования земли в сельском хозяйстве. Необходимо найти ту экологическую грань, которую нельзя перейти, даже выполняя основную функцию земли – повышая экономическую эффективность земледелия. Более того, учет экологических характеристик и свойств земли в агротехнологиях позволяет решать две проблемы одновременно: воспроизводить, сохранять и повышать плодородие почв, эффективно использовать сельскохозяйственные земли.

В основе адаптивно-ландшафтной системы земледелия лежат следующие принципы: экологичности, энергопоглощающей способности, целостности, дифференциации, адаптивности, оптимизации, экологической и экономической эффективности и др. (Кочетов, 1999).

Данная система реализуется в условиях природно-территориального комплекса, характеризующегося близкими климатическими, геоморфологическими, почвенными, гидрологическими условиями и соответственно

определенным направлением хозяйственного использования, т. е. применительно к той или иной категории агроландшафта. Поэтому ученые агрономы определяют ее как ландшафтную систему. В.И. Кирюшин (2011) дает следующее определение АЛСЗ: «... Система использования земли определенной агроэкологической группы, ориентированная на производство продукции экологически и экономически обусловленного количества и качества в соответствии с общественными (рыночными) потребностями, природными и производственными ресурсами, обеспечивающая устойчивость агроландшафта и воспроизводство почвенного плодородия».

Преимущества АЛСЗ как метода воспроизводства почвенного плодородия отражены на рис. 4.

АЛСЗ предусматривает применение рационально построенной системы обработок, способствующей снижению ресурсо- и энергозатрат, предотвращению водной эрозии при одновременном увеличении сбора продукции с каждого гектара пашни, стабилизации и повышении плодородия почвы.

С экономической точки зрения, распространение АЛСЗ также затруднено. Это обосновано тем, что затраты на внедрение АЛСЗ высоки и включают следующие элементы:

- адаптивно-ландшафтное землеустройство территории, предусматривающее агроэкологическую типизацию земель по ресурсам почвенного плодородия, тепла и влаги, дифференциацию земель по функционально-целевому назначению, оптимизацию соотношения угодий в агроландшафтах и структуры посевных площадей, уточнение специализации хозяйств на базе местных природных и хозяйственных ресурсов;
- разработка системы удобрения;
- формирование природоохранной инфраструктуры, в т.ч. закладку полезащитных лесных насаждений;
- адаптивный подбор культур, севооборотов, сортов и технологий возделывания культур к экологическим особенностям земель, биологизация земледелия;
- разработка системы ресурсосберегающих технологий;
- приобретение адаптивных сортов сельскохозяйственных культур;
- приобретение современной дорогостоящей почвообрабатывающей сельскохозяйственной техники;
- агроэкологический мониторинг и функциональная оценка агроландшафта и его компонентов (Крупенников, 1981).

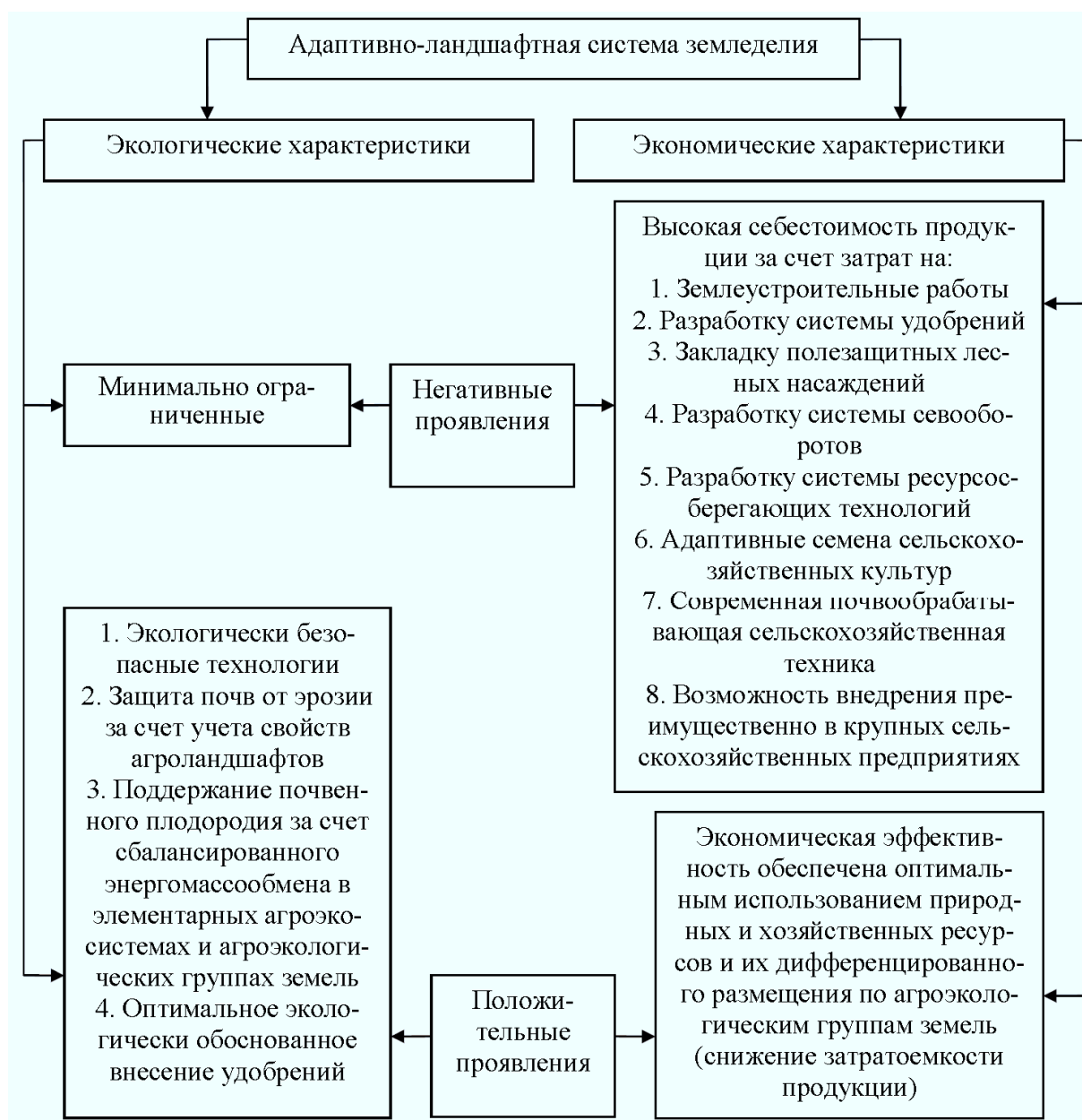


Рис. 4. Эколого-экономические характеристики адаптивно-ландшафтной системы земледелия с точки зрения возможности использования для реабилитации сельскохозяйственных земель

По причине высоких затрат внедрение АЛСЗ без государственных средств (субсидий) практически невозможно. Поэтому для широкого распространения АЛСЗ в сельскохозяйственном производстве России необходимо принятие законодательной базы и, в частности, включение в Федеральную целевую Программу «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России» раздела «Внедрение и распространение АЛСЗ как метода воспроизводства почвенного плодородия» с указанием конкретных сумм и их источников.

В России пока нет ни одного хозяйства с полностью внедренной научно обоснованной адаптивно-ландшафтной системой земледелия. Несмотря на это, по нашему мнению, будущее за АЛСЗ. Первым этапом ее распространения должна стать типизации всех сельскохозяйственных земель. Однако на современном этапе широкое внедрение АЛСЗ невозможно по ряду причин, перечисленных выше. Поэтому мы считаем важным сократить негативную тенденцию деградации сельскохозяйственных земель, стабилизировать и поддерживать почвенное плодородие путем постепенного распространения ресурсосберегающих технологий как неотъемлемого компонента АЛСЗ.

Основными экономическими показателями при сравнительной оценке систем земледелия, характеризующими уровень использования земли, труда, материально-технических средств, являются урожайность, производительность труда, себестоимость и рентабельность производства. При этом важное значение для сельскохозяйственных предприятий имеют показатели ресурсоемкости – расхода ресурсов в натуральном измерении на единицу продукции (Иноземцев, Щербаков, 1988). Как известно, в сельском хозяйстве используются различные технологии растениеводства как системы приемов возделывания сельскохозяйственных культур. Их цель состоит в обеспечении высокой урожайности возделываемых культур при минимальных затратах труда и средств на единицу высококачественной продукции. Уже из дефиниции данного термина следует условие снижения ресурсоемкости продукции. Однако интенсификация производства приводит к росту этого показателя. Поэтому на современном этапе развитие технологий во всем мире происходит в направлении снижения ресурсоемкости производства. Данные технологии получили название ресурсо- или энергосберегающих. Их использование в сельскохозяйственном производстве имеет не только экономическое, но и, как отмечалось выше, экологическое значение. В России же внедрение ресурсосберегающих технологий, по мнению В.Н. Краснощекова (2001), сдерживается, прежде всего, экономическими проблемами нехватки финансовых ресурсов.

Кроме перечисленных преимуществ, ресурсосберегающие технологии позволяют сократить негативные экологические последствия земледелия (рис. 5).

Одним из основных аргументов в пользу ресурсосберегающих технологий, наряду с повышением плодородия и борьбой с эрозией, является, как отмечалось выше, их экономическая эффективность. Рентабельность ресурсосберегающих технологий достигает 93,7%.





Рис. 5. Экологические преимущества ресурсосберегающих технологий земледелия

Об этом свидетельствуют показатели развитых стран, где ресурсосберегающие технологии получили широкое развитие, постоянно совершенствуются и позволяют не только повышать эффективность производства, но и успешно бороться с эрозией почв. В мире около 400 млн. га земли обрабатывается по минимальной и около 100 млн. га – по нулевой обработке почв.

На международных конгрессах по ресурсосберегающим технологиям в сельском хозяйстве (Испания, 2001 г.; Бразилия, 2003 г.) использование таких технологий было признано стратегически важным направлением, позволяющим стабилизировать сельское хозяйство и обеспечить растущие потребности в аграрной продукции (Сыромятников, Свиридов, Федотов, 2010).

Площадь под прямым посевом в мире составляет 95 млн. га. Лидерами его внедрения являются Южная Америка (47% сельхозугодий), США и Канада (39,6%), Австралия (9,4%). На остальные страны, в их числе Россию, приходится всего 3,9%.

США, Аргентина, Канада, Австралия являются ведущими экспортерами на рынке зерна, что во многом обусловлено применением прогрессивных технологий в земледелии. В частности, Бразилия, которая внедрила ресурсосберегающие технологии на 60% сельскохозяйственных угодий, за последнее десятилетие удвоила урожайность зерна при увеличении посевной площади всего на 11%, и получает дополнительный доход 10 млрд. долл. США ежегодно (Орлова, 2007).

В России темпы развития современных ресурсосберегающих технологий значительно отстают от общемировых. По технологиям сберегающего земледелия обрабатывается менее 2% сельскохозяйственных угодий (Зубарев, Каменская, Лашов, 2004). На фоне роста цен на материальные и энергетические ресурсы это является одной из причин повышения себестоимости сельскохозяйственной продукции, что негативно сказывается на уровне конкурентоспособности отечественных сельхозтоваропроизводителей. Удельные средние затраты энергии на одного работающего в отечественном сельском хозяйстве в 2-3 раза выше, чем в Западной Европе и США. Преодолеть данную ситуацию возможно, только проводя инновационную политику по снижению издержек сельскохозяйственного производства за счет применения системы новых технологий.

Таким образом, для внедрения ресурсосберегающих технологий необходимо техническое переоснащение сельскохозяйственных предприятий за счет:

- внедрения высокопроизводительных тракторов и комбайнов с мощностью двигателей от 200 до 450-500 л.с. и с низким удельным расходом топлива;
- применения широкозахватных и комбинированных агрегатов, совмещающих выполнение 3-5 технологических операций (обработку почвы, внесение минеральных удобрений, посев, прикатывание и т.д.);
- применения машин, обеспечивающих снижение удельного расхода топлива, семян, удобрений, средств защиты растений, а также потерь продукции и повышение ее качества;
- повышения качества и надежности сельскохозяйственной техники;
- улучшения технического сервиса и повышения экономической ответственности промышленности за обслуживание в гарантийный и послегарантийный периоды.

Применение сберегающих технологий земледелия является одним из основных путей реабилитации сельскохозяйственных земель, стабилизации и повышения их плодородия. Приоритетность внедрения сберегающих технологий земледелия напрямую связана с интересами сельхозпроизводителей. Внедрение ресурсосберегающих технологий в России позволит существенно снизить антропогенное воздействие на земельные ресурсы. Их успешное использование обосновано не только экономической эффективностью, но и экологической целесообразностью, в том числе и потенциальной способностью восстанавливать, поддерживать и повышать почвенное плодородие.

Устойчивое развитие сельского хозяйства не может осуществляться без развития органического земледелия, т. к. оно предусматривает производство качественной, конкурентоспособной, экологически безопасной сельскохозяйственной продукции. Кроме того, распространение органического земледелия способствует эколого-экономической реабилитации

сельскохозяйственных земель России. Это обосновано, прежде всего, тем, что органическое производство ведется в соответствии с законами природы и учитывает экологические свойства и функции почв. При этом воспроизводство почвенного плодородия в органическом производстве происходит только с помощью технологий, предусматривающих использование экологически чистых компонентов, при исключении химических веществ, загрязняющих почвы (гербициды, нематоциды, инсектициды, фунгициды, минеральные удобрения и др.).

Органическое земледелие является одним из инструментов эколого-экономической реабилитации сельскохозяйственных земель. Это обосновано основной идеей экологического сельского хозяйства – ведением хозяйства в соответствии с законами природы. При этом сельскохозяйственное предприятие рассматривается, как организм с его составными частями: человек, животное, растение и земля.

Основой органического земледелия является высокое качество продуктов питания при экологическом использовании ландшафта, природных ресурсов и энергетики.

В России методы, близкие по своей сути к органическому земледелию, имеют давние исторические корни, но, несмотря на это, на текущий момент органическое земледелие как сектор сельского хозяйства практически отсутствует. По оценкам экспертов, в стране существует не более 160 фермерских хозяйств, производящих сертифицированные органические продукты (Бобылев, Ходжаев, 2007).

Как показывают исследования, основными причинами отсутствия сектора органического земледелия в России являются такие факторы, как:

- неразвитый спрос на органические продукты питания, в т.ч. и из-за их высокой стоимости;
- отсутствие нормативно-правовой базы органического производства;
- отсутствие стандартов качества продукции, процессов и земель для производства органических продуктов;
- отсутствие зарекомендовавших себя структур, способных производить добросовестную сертификацию;
- большое количество «псевдоэкопродуктов», маркируемых производителем, не имеющим на это обоснованных прав, и вызывающим недоверие у потребителей к экологической продукции.

В то же время Россия обладает серьезными предпосылками и хорошими стартовыми условиями для быстрого становления и развития органического земледелия.

Формирование сектора органического земледелия в сельском хозяйстве в России должно быть связано с созданием его институциональных основ. Для этого необходимо:

- создание нормативно-правовой базы;
- создание системы контроля;

– проведение научных исследований, обеспечивающих производственные процессы, а также контроль за вредными веществами.

Таким образом, эколого-экономическая реабилитация сельскохозяйственных земель, воспроизводство почвенного плодородия возможно при выполнении определенного комплекса агротехнических мероприятий. Переход на адаптивно-ландшафтные системы земледелия, как один из основных путей реабилитации сельскохозяйственных земель, способствует: максимальной дифференциации ведения земледелия в зависимости от природных условий; выводу из пашни низкопродуктивных земель; интенсификации земледелия с приоритетом экологических факторов; контурно-мелиоративной организации территории в зависимости от рельефа местности; проведению комплекса мелиоративных мероприятий; применению интегрированных систем защиты растений, удобрений, обработки почвы; интеграции всех форм хозяйствования в общую систему земледелия, приемлемую для элементарного геохимического ландшафта.

Ресурсосберегающие технологии как технологии, обеспечивающие производство продукции с минимально возможным потреблением топлива и других источников энергии, а также сырья, материалов, воздуха, воды и прочих ресурсов для технологических целей, являются одним из основных путей реабилитации сельскохозяйственных земель, стабилизации, повышения их плодородия и, как следствие, эффективности землепользования. Данные технологии, включая в себя использование вторичных ресурсов, утилизацию отходов, а также рекуперацию энергии, замкнутую систему водообеспечения, позволяют экономить природные ресурсы и избегать загрязнения окружающей среды.

Эколого-экономическая реабилитация сельскохозяйственных земель невозможна без распространения органического земледелия. Основная идея экологического сельского хозяйства – это ведение хозяйства в соответствии с законами природы. России необходимо перенимать накопленный в этой сфере международный опыт как один из возможных путей реабилитации деградированных земель.

### ***Заключение***

Исходя из того, что особенности земли как фактора производства в сельском хозяйстве, прежде всего, обусловлены исключительными и уникальными свойствами ее главного компонента – почвы, сохранение и восстановление почвенного плодородия имеет первостепенное значение. Воспроизводство земли становится необходимым условием дальнейшего эффективного ведения сельскохозяйственного производства. Восстановление плодородия почвы также важно и с экологической точки зрения, т. к. оно улучшает способность продуцирования растительности, в т. ч. и сельскохозяйственной, а также поддерживает биогеоценоз. Сохранение качества

почв оказывает позитивное влияние на общее состояние земли и на ее ценность как актива.

Исследование состояния земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации свидетельствует о том, что за последние 40 лет произошло значительное снижение плодородия почв, связанное с нарушением научно обоснованных систем земледелия, отсутствием у землепользователей проектов землеустройства, недостаточной технической оснащенностью отрасли, сокращением доз внесения органических и минеральных удобрений, что привело к уменьшению в почвах содержания гумуса, биофильных элементов (азота, фосфора, калия), увеличению кислотности, неэффективному использованию мелиоративных систем.

Агропроизводство приводит к истощению почвенного плодородия, а использование земли при добыче полезных ископаемых связано с их нарушением. При ограниченности высокопродуктивных земель обостряется потребность и необходимость восстановления качества почв и возврата их в сельхозпроизводство. Воспроизводство и поддержание плодородия земли в сельскохозяйственном производстве требует применения комплекса экологических и экономических мер.

Воспроизводство естественного плодородия почв не может быть обеспечено отдельными технологическими операциями, в частности, рекультивацией и мелиорацией нарушенных и деградированных земель. Необходимо исходить из комплексного эколого-экономического подхода, предусматривающего не только технологические приемы, но и поддерживающие меры экономической поддержки, и инструменты законодательного воздействия на землепользователей.

Для этого следует расширить систему мер воспроизводства нарушенных и деградированных земель сельскохозяйственного назначения эколого-экономической реабилитацией как особым механизмом восстановления почвенного плодородия и качества земель в целом.

Технологические меры эколого-экономической реабилитации базируются на системах органического и адаптивно-ландшафтного земледелия, технологиях ресурсосбережения.

Таким образом, эколого-экономическая реабилитация земель включает систему технологических приемов экологического характера и комплекс мер экономической направленности, позволяющую восстановить нарушенный потенциал и качество сельскохозяйственных угодий и обеспечить эффективное сельскохозяйственное производство.

### *Литература*

- Баранов А.С. К доктрине биологической безопасности России. /<http://www.cosinform.ru/userfiles/file/Baranov.pdf>.  
Бобылев С.Н., Ходжаев А.Ш. Экономика природопользования: учебник. – М.: ИНФРА-М, 2007. – 501 с.

- Большой экономический словарь. Бизнес Группа. <http://business-gruppa.ru/>
- Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2000 г. – М.: ООО «РППР РусКонсалтингГрупп», 2001. – 48 с.
- Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2008 г. – М.: ООО «РППР РусКонсалтингГрупп», 2009. – 50 с.
- Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2010. – 100 с.
- Докучаев В.В. К вопросу о переоценке земель Европейской и Азиатской России с классификацией почв. – М.: печ. А.И.Снегиревой, 1898. – 116 с.
- Земельный фонд Союза ССР по состоянию на 1 ноября 1970 года. – М.: Типография Госнаба СССР, 1973. – 506 с.
- Зубарев Ю.Н., Каменская Н.Ю., Лашов А.И. Энергосберегающая обработка почвы возможна и у нас // Земледелие. – 2004. – № 2. – С. 7–8.
- Иноземцев А.А., Щербаков Ю.А. Использование и охрана ландшафтов. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 158 с.
- Кирюшин В.И. Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирование агроландшафтов. – М.: КолосС, 2011. – 443 с.
- Костенков Н.М. Рекультивация почв техногенных ландшафтов и восстановление плодородия агрогенных почв: учеб. пособие. – Владивосток: Изд-во Дальневосточного ун-та, 2010. – 134 с.
- Кочетов И.С. Агроландшафтное земледелие и эрозия почв в Центральном Нечерноземье. – М.: Колосс, 1999. – 224 с.
- Краснощеков В.Н. Теория и практика эколого-экономического обоснования комплексных мелиораций в системе адаптивно-ландшафтного земледелия: монография. – М.: МГУ природообустройства, 2001. – 293 с.
- Крупеников И.А. История почвоведения. – М.: Наука, 1981. – 327 с.
- Крутова Л.И. Экономическое плодородие почвы и его воспроизводство в условиях развитого социализма (Вопр. теории и методологии). – Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, 1982. – 204 с.
- Макунина И.В. Бухгалтерский учет земельных активов в сельском хозяйстве: автореф. дисс. канд. экон. наук. – М., 2008. – С. 13.
- Маркс К. Нищета философии // Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд. – М.: Госкомиздат, 1955. – Т. 4. – 471 с.
- Маркс К. Капитал // Маркс К., Энгельс Ф. Соч. 2-е изд. – М.: Госкомиздат, 1962. – Т. 25. – Ч. 2. – 319 с.
- О землеустройстве: Федеральный закон Российской Федерации от 18.06.2001 г. № 78-ФЗ // Земельное законодательство. Сборник нормативных актов / сост. М.А. Рябов. – М.: ТК Велби, Изд-во Проспект, 2005. – С. 199-205.
- Орлова Л.В. Быть или не быть ресурсосберегающим технологиям в России? // Земледелие. – 2007. – № 2. – С. 18–19.

- Панников В.Д., Карманов И.И., Булгаков Д.С. и др. Плодородие черноземов России: монография / Под общ. ред. Н.З. Милащенко. – М.: ВИУА, 1998. – 686 с.
- Петров В.И. Оценка стоимости земельных участков: учеб. пособие. – М.: КноРус, 2010. – 264 с.
- Печенкина В.В. Воспроизводство и повышение эффективности использования земельных ресурсов сельского хозяйства: Теория, методология, практика: дисс. докт. экон. наук. – М., 2005. – 323 с.
- Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России / под ред. А.В. Гордеева, Г.А. Романенко. – М.: Росиформагротех, 2008. – С. 192 с.
- Розанов Б.Г. Основы учения об окружающей среде: Учеб. пособие. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. – 376 с.
- Сельскохозяйственный энциклопедический словарь / Редкол.: В.К. Месяц (гл. ред.) и др. – М.: Сов. Энциклопедия, 1989. – 656 с.
- Служба тематических толковых словарей. Glossary Commander. <http://www.glossary.ru>.
- Сыромятников Ю.Д., Свиридов А.К., Федотов В.А. Эффективность ресурсосберегающей обработки почвы и степени интенсификации агротехнологий полевых культур в севообороте // АГРО XXI. – 2010. – № 1–3. – С. 35–38.
- Титенберг Т. Экономика природопользования и охрана окружающей среды. – М.: Олма-пресс, 2001. – 591 с.
- Учет основных средств: Положение по бухгалтерскому учету ПБУ 6/01, утвержденное Приказом Минфина РФ от 30 марта 2001 г. № 26 н. // Российская газета. – 2001. – № 27.
- Учет основных средств: Положение по бухгалтерскому учету, № 156 н. // Российская газета. – 2006. – № 97.
- Федорова Н.В. Воспроизводство ресурсов в системе земледелия: теория, методология, практика: монография. – М.: Дашков и К<sup>0</sup>, 2010. – 676 с.
- Хошимура Ш. Теория воспроизводства и накопления капитала. – М.: Прогресс, 1978. – 256 с.
- Эрозия почв и почвоводоохранное земледелие: учеб. пособие для студентов вузов по агр. специальностям / под ред. В.Д. Мухи. – Курск: Изд-во Кур. гос. с.-х. акад., 2000. – 173 с.
- Conservation Reserve Program. Annual summary and enrollment statistics – fy 2009. [http://www.fsa.usda.gov/Internet/FSA\\_File/fyannual2009.pdf](http://www.fsa.usda.gov/Internet/FSA_File/fyannual2009.pdf).
- EPA. United States Environmental Protection Agency. <http://www.epa.gov/agstar/tools/funding/incentive/USenvironmentalquality>
- Index of /Document. <http://www.anielski.com/Documents/>
- Land rehabilitation. <http://www.businessdictionary.com/definition/land-rehabilitation.html>

## **Раздел 3.**

# **ОБРАЗОВАНИЕ В ОБЛАСТИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОЧВОВЕДЕНИЯ**



## **Преподавание основ экологического почвоведения в МГУ – современное состояние и проблемы**

На факультете почвоведения МГУ преподавание основ экологического почвоведения ведётся как в рамках программы обучения по направлению 021900 «почвоведение», так и по направлению 022000 «экология и природопользование», что является для факультета достаточно новым. Для будущих почвоведов экологические аспекты рассматриваются в таких курсах прикладной направленности, как «Почвенно-экологический мониторинг», «Основы экологического нормирования почв и земель», «Экологические основы мелиорации почв и ландшафтов», «Экологическое проектирование», «Экологическая экспертиза», а также в цикле спецкурсов под условным обобщающим названием «Экология почвенных организмов». Подготовка экологов осуществляется на более фундаментальной основе с опорой на расширенный спектр предметов экологического направления. Здесь студенты изучают такие базовые дисциплины, как «Общая экология», «Прикладная экология», «Экология организмов», «Экология человека», «Экологическая токсикология», «Математические модели в экологии». Этот список продолжают также дисциплины, имеющие выраженную прикладную направленность: «Экологический мониторинг», «Экологический менеджмент», «Экологическая эпидемиология», «Агроэкология», «Техногенные экосистемы и экологический риск», «Оценка воздействия на окружающую среду», «Экологическая экспертиза». Кроме того, в рамках данной программы предусмотрены так называемые дисциплины специализации – специальные предметы для старшекурсников (4 и 5 курсы), учитывающие специфику кафедральных направлений в почвоведении. В частности, на кафедре оценки почв и земельных ресурсов к таким предметам относятся «Регулирование экологического состояния почв при их сельскохозяйственной обработке», «Оценка и экологическое нормирование городских почв» и ряд других предметов, так или иначе затрагивающих проблемы почвенно-экологического нормирования. На кафедре биологии почв читаются курсы «Экологические биотехнологии», «Геоэкология микроорганизмов», на кафедре физики почв – «Почвенно-экологические проблемы сельскохозяйственных ландшафтов».

Из простого перечисления дисциплин экологической направленности, преподаваемых на факультете почвоведения МГУ, видно, сколь широк кругозор выпускников-специалистов, получающих образование по специальности «Экология». Вместе с тем, следует признать, что все они вне зависимости от их узкой специализации в качестве основного курса, закладываемого у них действительно базовые знания в области экологического

почвоведения, осваивают специальный курс «Экологические функции почв».

В основу программы данного спецкурса положен материал учебника «Экология почв» (авторы - Г.В.Добровольский, Е.Д.Никитин). Этот учебник вышел в 2006 году в серии «Классический университетский учебник», посвященной 250-летию Московского университета, и, по словам его авторов, является расширенным обобщением трёх предыдущих книг по данной тематике: «Экологические функции почв» (1986), «Функции почв в биосфере и экосистемах» (1990) и «Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы» (2000). На протяжении ряда предыдущих лет данный спецкурс для студентов кафедры географии почв вели сами авторы учебника Г.В.Добровольский и Е.Д.Никитин. В настоящее время курс читается в качестве поточного для студентов-экологов четвёртого года обучения.

Разделы лекционного курса «Экологические функции почв» в основном соответствуют рубрикации учебника «Экология почв», однако курс претерпел некоторые изменения, учитывающие как актуальную специфику общей программы по специальности «экология», так и новейшие научные данные, опубликованные за пять лет, прошедших с момента выхода учебника в свет.

В первом разделе, который называется «Основы учения о почвенных экологических функциях», даётся определение термина «экология почв», а также вводятся основополагающие понятия и принципы в области изучения почвенных функций. Экология почв трактуется как междисциплинарная область знания, изучающая весь спектр сопредельных с почвами сред на предмет их участия в формировании, динамике и эволюции почв, и всю совокупность почвенных экологических функций, представляющих многообразные ответные воздействия почв на почвообразователи. Приводится история развития взглядов на «экологию почв» и «экологическое почвоведение» в отечественной науке. Вводится понятие «интегральная экология почв», объединяющее в себе три взаимосвязанных блока: учение о факторах почвообразования (факторная экология почв), о почвенных экологических функциях (функциональная экология почв), и о сохранении почв как незаменимого компонента биосферы (почвоохранная экология). Немаловажно, что в данном разделе обсуждаются актуальные проблемы и задачи, стоящие перед интегральной экологией почв, что нацеливает слушателя на творческое восприятие концепции почвенно-экологических функций и стимулирует дальнейшее развитие научной мысли в данном направлении.

Второй раздел лекционного курса – функции почв в экосистемах. В нём приведена типология биогеоценологических функций почв в зависимости от контролирующих их почвенных свойств. Так, среди функций, обусловленных физическими свойствами почв, обсуждаются функция жизненного пространства для огромного видового разнообразия почвенной

биоты, функция жилища и убежища, опорная функция, функция сохранения и депо семян и других зачатков. Подробно анализируются химические функции почв, такие как функция депо и источника питательных веществ, функция стимулятора и ингибитора биохимических и других процессов. Среди физико-химических свойств почв большое экологическое значение придаётся сорбционным характеристикам, которые отводят почвам роль фильтра в экосистемах и в биосфере в целом, при этом специально рассматривается материал, касающийся особенностей сорбции микроорганизмов почвами. Анализируется влияние сорбции на процессы жизнедеятельности микроорганизмов почвы: изменение скорости размножения и метаболизма, изменение морфологии клеток, скорости потребления ресурсов и выделения метаболитов.

Отдельный блок посвящён информационным функциям почв. Это и функция сигнала для циклических процессов, и функция регуляции численности, состава и структуры биоценозов, и функция пускового механизма сукцессий. Здесь же обсуждаются вопросы, касающиеся проявления почвами функции «памяти» биогеоценоза, позволяющей сохранять в почвенном профиле информацию о факторах почвообразования, прошлых и современных, что составляет предмет палеопочвоведения - интенсивно развивающейся области современной науки о почвах.

Рассмотрение биогеоценологических функций почв было бы неполным без анализа их целостных (холистических) функций, и, прежде всего, такой универсальной функции как трансформации вещества и энергии в биогеоценозе. При этом подчеркивается принципиальная неравновесность почвы, как системы, одновременно придающая экосистеме, в состав которой почва входит как подсистема, свойство равновесности, устойчивости. Кроме того, в качестве холистических функций почвы выделяется её санитарная функция, а также функция защитного и буферного биогеоценологического экрана.

Третий раздел курса под названием «Биосферные функции почв» предваряется материалом о месте и роли почвы в структуре наземных экосистем и биосферы в целом. Всесторонне обсуждаются аспекты взаимовлияния и совместной эволюции почвенного покрова Земли (педосферы) и биосферы. Затем отдельно рассматриваются литосферные, гидросферные и атмосферные функции педосферы. К основным литосферным функциям отнесены: функция защитного слоя и фактора развития литосферы, функция биохимического преобразования литосферы, функция источника вещества и энергии для формирования пород, а также функция передачи солнечной энергии в недра Земли.

Важнейшие гидросферные функции включают в себя функцию формирования водного баланса суши, функцию трансформации химического состава вод, функцию фактора биопродуктивности водоёмов, функцию защитного барьера акваторий.

Подробно освещаются в курсе и вопросы, связанные с проявлением почвами атмосферных функций. Важная роль отводится функции формирования и эволюции газового состава атмосферы, который рассматривается как продукт совместного динамического взаимодействия всех сред планеты. Дается характеристика геологическим этапам формирования атмосферы Земли, «допочвенной» и почвенной стадии её преобразования. Оцениваются масштабы эмиссии газов педосферой Земли. Большое значение придается функции регулирования энергетического режима и влагооборота атмосферы, прослеживается связь глобальных климатических показателей с состоянием почвенного покрова Земли.

Среди общебиосферных функций почв в первую очередь рассматривается функция среды обитания организмов суши. Освещаются отмеченные ещё Вернадским особенности распределения и функционирования живого вещества на поверхности суши по сравнению с океаном: высокая «плотность» жизни, цикличность жизнедеятельности, высокое видовое и структурно-функциональное разнообразие, биохимическое преобразование субстрата. Показана роль почвенного покрова различных биоклиматических поясов земного шара в формировании многообразия наземных экосистем.

Ещё одной общебиосферной функцией почв является функция связующего звена биологического и геологического круговоротов. Показано, что на фоне разномасштабности и разнонаправленности биологического и геологического круговоротов педосфера включена в оба круговорота как регулирующий фактор перераспределения веществ и энергии между ними. Обращено особое внимание на многочисленные в научной литературе примеры, иллюстрирующие нарушение сложившихся геохимических потоков биосферы при изменении педосферы.

Не оставлена без внимания почвенная функция фактора биологической эволюции. Почва в соответствии с современными концепциями представляется специалистам как многофазная полидисперсная структурная система, что позволяет считать её идеальной средой для перехода от водного образа жизни к наземному и наоборот. Обратной стороной медали в вопросе биологической эволюции являются буферность и внутривидовое экологическое разнообразие почвы как факторы, способствующие сохранению древних форм организмов.

Раздел «Биосферные функции почв» завершается лекцией, посвящённой анализу основных тенденций антропогенных (техногенных) изменений общебиосферных функций почвенной оболочки. Основные из них - глобальное ухудшение условий жизни организмов суши и общее сокращение жизненного пространства; снижение разнообразия естественных и появление антропогенно-обусловленных почвенно-экологических ниш; уменьшение дифференцирующего влияния почвенного покрова на биосферу; исчезновение естественных растительных зон; появление новых зо-

нально-региональных геосферных образований; изменение соотношения биологического и геологического круговоротов; исчезновение видов в связи с деградацией почвенных местообитаний - уменьшение генофонда Земли.

Четвёртый раздел курса «Экологические функции почв» называется «Роль и значение почв в жизни человека». Данный раздел существенно расширяет тематику курса по сравнению с материалом учебника, из которого взяты лишь главы о плодородии почв и их этносферных функциях. Помимо этого обсуждаются разносторонние социальные функции почв: экономические, санитарные и другие, приводится оценка почвенных ресурсов мира, показано их значение в мировой экономике. Кратко затрагиваются вопросы продовольственной безопасности и экономической независимости государств в связи с проблемой почвенных ресурсов, а также новейшая концепция почвенного «здоровья».

Завершается рассматриваемый курс разделом, который озаглавлен «Учение о почвенных экологических функциях – основа для сохранения и рационального использования почв». В основном в данном разделе представлен материал из IV части учебника, но при этом он значительно расширен сведениями из области экологической оценки почв и почвенно-экологической экспертизы. Раздел в целом подытоживает всю ранее изложенную в курсе информацию, чётко очерчивая такие основные принципы, как взаимосвязь и изменчивость экологических функций почв, их целостность и соподчиненность, их динамичность, пространственную вариабельность и буферность. Показана необходимость учёта этих принципов при разработке приёмов и методов регулирования экологических функций почв. Обсуждаются новейшие концепции в области рационального использования и охраны почв на основе учёта их экологических функций и экологических рисков – концепция экологического земледелия, концепция гармоничного землеустройства территории, концепция почвенно-экологических рисков.

Представленная здесь столь подробно программа спецкурса «Экологические функции почв» призвана дать исчерпывающее представление, максимально возможное в рамках данной книги, о том, сколь сложной и многосторонней является обсуждаемая проблематика, и о том, насколько важно для студента-эколога получить систематизированное знание по всем изложенным вопросам. Представляется очевидным, что в связи со спецификой специальности студенты обязаны знать важнейшие экосистемные функции почв и уметь применять методы их исследования, в какой бы области им не пришлось работать в дальнейшем, после завершения образования в университете. Знание основ экологического почвоведения – учения об экологических функциях почв – является абсолютно необходимым компонентом образования выпускников университета, чья будущая работа связана с деятельностью в области экологического контроля, мониторинга

или экологического нормирования, тем более, что в системе экологических нормативов, действующих в настоящее время, почвенно-функциональный аспект учитывается крайне недостаточно. Весьма вероятно, что всесторонний учёт почвенно-экологических функций при разработке экологических нормативов – дело весьма близкого будущего, и тем более актуальной представляется своевременная подготовка специалистов в данной области.

Важно отметить, что в МГУ имени М.В.Ломоносова преподавание основ экологического почвоведения осуществляется не только для студентов факультета почвоведения. Наряду с ними данную предметную область осваивают также слушатели и других естественных факультетов: географического, биологического, геологического. Так, в частности, студентам кафедр геоэкологии, криологии и инженерной геологии вот уже более 15-ти лет читается курс «Почвоведение». В рамках ознакомительного лекционного курса продолжительностью в один семестр слушатели получают начальные понятия в области экологического почвоведения, в том числе узнают, какие биосферные и экосистемные функции выполняют почвы, каково разностороннее влияние почв и почвенного покрова Земли на её литосферу и другие планетарные оболочки. Начиная с 2011 года изучение данного предмета студентами-геологами проводится по углублённой программе с дополнением лекций семинарскими занятиями, в том числе с опорой на почвенную экспозицию музея земледования МГУ, точно так, как это уже много лет проводится для студентов факультетов географического и почвоведения. Расширилась также за последние годы и программа преподавания почвоведения на биологическом факультете, где элементы преподавания основ экологического почвоведения входят как в лекционный курс, так и в программу летней учебной полевой практики на Звенигородской биологической станции.

Экспозиция музея земледования МГУ, где представлена достаточно обширная коллекция почвенных монолитов (231 образец), служит отличной базой для проведения практических занятий по экологическому почвоведению. Ежегодно эти занятия в залах музея занимают более 350 академических часов. Помимо студентов МГУ, студенты других вузов, в основном почвоведы (Воронежский и Ростовский госуниверситеты), а также экологи-природопользователи из более 20 вузов страны стремятся ежегодно посетить музей для знакомства с коллекцией почвенных монолитов. Для них здесь специально разработана тематическая экскурсия «Почвы России и их экологическое состояние», которая оказалась востребованной не только студентами, но и школьниками. Данная экскурсия включает рассмотрение основных факторов почвообразования, типов почв России и мира, а также знакомит с закономерностями их географического распространения. Важной составной частью экскурсии является обсуждение проблем деградации почвенного покрова, включая эрозию почв и различные виды загрязнения, большое внимание уделяется мерам, направленным на охра-

ну почв. Однако, только данной экскурсией не исчерпывается знакомство посетителей музея с почвенной тематикой. Краткая характеристика почв дается и в экскурсии «Природная зональность», а это - 80 экскурсий в год с общей численностью разновозрастных посетителей около 2000 человек. Кроме того, в 2010 году впервые в музее земледелия были организованы курсы повышения квалификации для учителей экологии города Москвы.

В заключение хотелось бы заострить внимание на двух очевидных проблемах, связанных с преподаванием экологического почвоведения в Московском университете. Первая проблема имеет частный характер и заключается в отсутствии в настоящий момент дисциплины «Экологические функции почв» в программе обучения студентов факультета почвоведения МГУ, специализирующихся по направлению 021900 «почвоведение». Можно было бы считать это временным недоразумением, если бы не другая проблема, имеющая более общий, философско-концептуальный характер. Кратко она может быть сформулирована в виде вопроса: в чём совпадают, и чем отличаются компетенции специалистов, обучающихся по направлениям «почвоведение» и «экология и природопользование» на естественных факультетах университетов и иных вузов? Казалось бы, ответ очевиден: «почвоведы» по сравнению с «экологами» должны быть более осведомлены обо всём том, что касается закономерностей внутренних процессов в почвах, их морфологии, строения почвенного профиля, разнообразных свойств и признаков, связанных с происхождением, внутренним функционированием, эволюцией почв. В то же время «экологам-природопользователям», очевидно, более присущ средологический взгляд на почву, при котором в первую очередь должны быть изучены те почвенные свойства и признаки, которые отвечают за выполнение почвой разнообразных экологических функций по отношению к многочисленным по видовому составу и биомассе организмам, обитающим в почве и на почве. Не в последнюю очередь должны интересоваться «экологов» также географические особенности функционирования различных почв и их взаимосвязей с сопредельными средами, которые рассматриваются в традиционном почвоведении в качестве совокупности факторов почвообразования. Принимая широчайшее природное разнообразие сочетания последних, трудно представить себе грамотного, всесторонне эрудированного эколога, не знакомого хотя бы с основными закономерностями географического распространения почв. Тем не менее, из программы обучения студентов дневного отделения факультета почвоведения МГУ по специальности «экология» по малообъяснимым формальным причинам изъяты разделы лекций из потокового курса «Почвоведение», посвящённые именно этим вопросам.

Мультидисциплинарный характер современных экологии и почвоведения, их прогрессирующее взаимопроникновение в части методологии и направлений исследований на стыке наук, казалось бы, подразумевает аналогичное взаимное «прораствание» учебных программ этих двух дисциплин.

лин, чего в действительности, к сожалению, не наблюдается. Хочется надеяться, что это искусственное размежевание учебных программ экологического направления в почвоведении и почвенного блока в экологии – всего лишь временное явление, «болезнь роста» интенсивно развивающейся в последние десятилетия мегаэкологии – науки XXI века.



## **Экологическое почвоведение для средней школы: методы популяризации и инновационные подходы в МГУ**

Федеральный закон «Об охране окружающей среды» (2002) определил одним из важнейших принципов государственной экологической политики экологическое образование и просвещение, что особенно актуально для сохранения почвенных ресурсов России. Недооценка значения почв в биосфере и жизни человека, недопонимание необходимости бережного отношения к почвам как к многофункциональным ресурсам и природному богатству приводят к бездумной, хищнической эксплуатации, развитию процессов деградации, вплоть до полного уничтожения ресурсного потенциала.

Процесс формирования экологической культуры необходимо начинать с детских лет. К сожалению, в средней школе учащиеся получают крайне мало знаний о почвах и их роли в общем благополучии планеты. Это связано как со сложностью изучения самого объекта, так и с почти полным отсутствием современной научной информации по почвоведению в школьных программах и учебниках. Кроме того, как правило, и педагоги, преподающие детям и подросткам дисциплины естественнонаучного цикла, не обладают необходимыми знаниями в данной области.

Для московских школьников на факультете почвоведения МГУ уже более четверти века существует «Школа Юного Почвоведца», преобразованная в последние годы в «Школьный кружок по почвоведению и экологии». На занятиях кружка учащиеся получают знания о различных направлениях исследований в области экологического почвоведения. С 2007 года факультет почвоведения совместно с Музеем Землеведения МГУ участвует в работе программы «Школа развития» Малой Академии МГУ по модулю «Науки о Жизни и Земле». В рамках этой программы в осеннем семестре школьников знакомят с основами экологического почвоведения и его современными достижениями. В весеннем семестре учащиеся выполняют исследовательские проекты под руководством научных сотрудников музея и факультета. Наряду с этим, в музее существуют тематические экскурсии «Почвы России и их экологическое состояние» и «Природная зональность», которые включают рассмотрение основных факторов почвообразования, знакомство с разнообразием почв и закономерностями их географического распространения на основе уникальной коллекции почвенных монолитов и моделей биоценозов (Попова, Белая, 2011).

Развитие компьютерных технологий и, прежде всего, средств телекоммуникаций существенно расширило возможности почвоведов в рас-

пространении современных знаний о почвах и решении проблем сохранения почвенных ресурсов.

В октябре 1997 года в Институте экологического почвоведения МГУ был создан Российский телекоммуникационный проект «Экологическое Содружество», направленный на совершенствование системы экологического образования, популяризацию научных знаний для детей и молодежи, разработку и внедрение инновационных методов и форм обучения, вовлечение школьников в практическую природоохранную деятельность.

В Проекте «Экологическое Содружество» реализуются три комплексные учебные программы для школьников: «Экологическое почвоведение», «Экология и контроль состояния окружающей среды (Экологический мониторинг)», «Сохранение биологического разнообразия», – и две программы повышения квалификации учителей школ и педагогов дополнительного образования: «Экологическое почвоведение для педагогов», «Организация проектной эколого-исследовательской и природоохранной работы школьников». Работа осуществляется в сотрудничестве с факультетом почвоведения МГУ, который в настоящее время готовит специалистов по двум специальностям – «Почвоведение» и «Экология». Программы Института экологического почвоведения призваны ознакомить школьников с данными специальностями, помочь им подготовиться к выпускным экзаменам в школе и олимпиадам по биологии и экологии, научить учащихся применять знания, полученные по предметам естественнонаучного цикла, для решения исследовательских и природоохранных задач.

Цели образовательных программ Проекта «Экологическое Содружество»:

- обучение школьников основам экологии и почвоведения;
- формирование у детей и молодежи экологического мировоззрения;
- вовлечение школьников в практическую работу по охране природы;
- укрепление сотруднических отношений между образовательными и природоохранными организациями.

«Экологическое Содружество» – это активно взаимодействующая сеть, охватывающая более 250 образовательных учреждений и организаций из 52 регионов РФ и стран СНГ. Ежегодно более 4500 школьников и 400 педагогов участвуют в исследовательской и природоохранной работе. В обучение вовлечены дети и подростки от 6 до 17 лет, но основную часть составляют учащиеся средних и старших классов.

В Проекте создана и успешно реализуется система дистанционного обучения школьников и повышения квалификации педагогов, включающая:

- обучающие страницы на сайте Проекта (<http://www.ecosoop.ru>) с использованием интерактивных форм общения, компьютерных определителей, систем анализа данных;

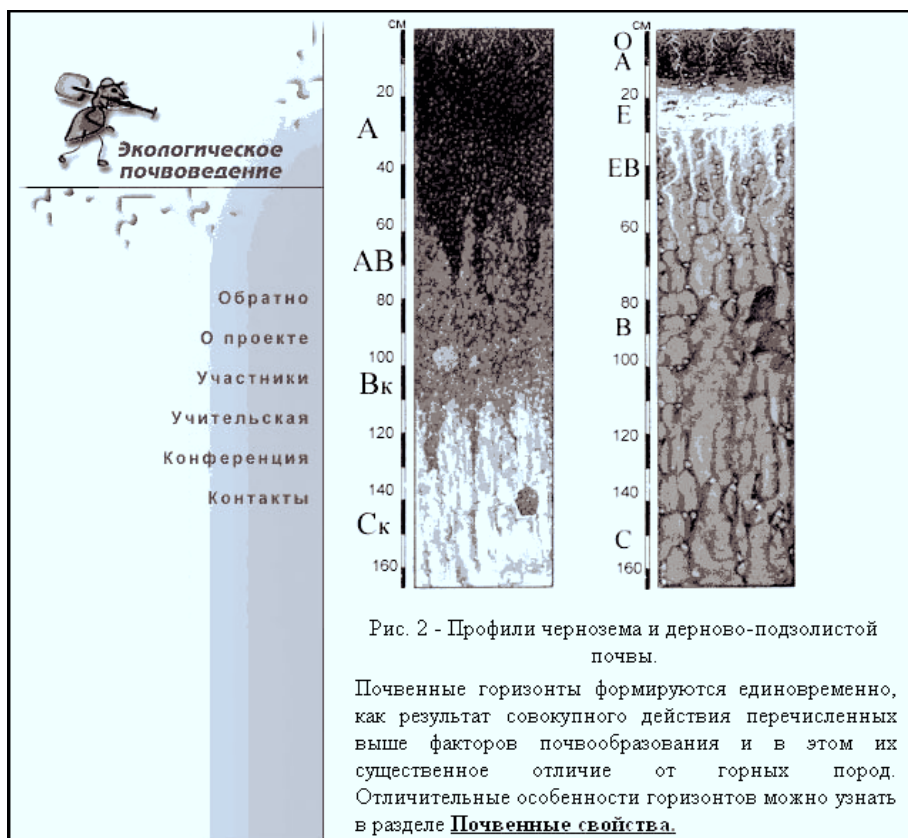
- организацию совместной эколого-исследовательской и природоохранной работы образовательных коллективов из разных регионов Российской Федерации и стран СНГ: телекоммуникационное общение и обмен полученными результатами;
- постоянную консультационную поддержку школьников и их педагогов в форумах Проекта «Экологическое Содружество»;
- проведение сетевых инициатив: конференций, он-лайн семинаров (вебинаров), творческих конкурсов, дискуссий;
- публикацию результатов деятельности эколого-образовательных учреждений на сайте Проекта «Экологическое Содружество» (Рыхликова, 2005, 2009).

В 2001 году в рамках Проекта было открыто направление «Экологическое почвоведение», необходимость которого для его организаторов стала очевидна. Основные цели направления – обсуждение с участниками Проекта проблем экологического почвоведения; помощь учителям и школьникам в постановке исследований в данной области; организация их участия в проводимых в рамках Проекта практических мероприятиях, направленных на сохранение почвенного покрова – неотъемлемого компонента наземных ландшафтов.

На сайте Проекта создано несколько веб-разделов, посвященных основным характеристикам почв, их свойствам, характеру описания почвенного профиля, полезным для школьников методам исследования почв, проблемам охраны почвенных ресурсов (рис. 1). Кураторы направления в интерактивной форме консультируют участников Проекта по вопросам, связанным с изучением почв и их функций.

Хорошо известная специалистам-почвоводам специфика проблем, связанных с охраной почв, и, вместе с тем, крайне слабое освещение этих проблем в школьных программах по биологии, географии и экологии, привели кураторов Проекта к необходимости разработки дистанционных курсов в двух вариантах – для школьников и для учителей общеобразовательных школ и педагогов дополнительного образования. Курсы размещены на сервере Центра дистанционного образования МГУ (<http://www.de.msu.ru>).

Дистанционный курс «Основы экологического почвоведения и охраны почв для школьников» разбит на 6 тематических разделов, первый из которых знакомит слушателей с понятием «почва» и ее ролью в жизни и благополучии планеты. Подчеркивается, что почва не только является основой сельского хозяйства, но и играет огромную экологическую роль в биосфере и жизни человека за счет выполнения различных биологических, физических, физико-химических и информационных функций



Сохраним нашу землю

**Почва - основа жизни**

*Что имеем, не храним, Потеряем - плачем*

По современным данным человечество уже утратило за исторический период около 2 млрд. га некогда плодородных земель, превратив их в антропогенные пустыни. Это больше, чем площадь всей современной пашни в мире, составляющей 1,5 млрд. га. В конце XX века стало очевидным, что деградация почв приобрела угрожающие размеры и является одной из основных угроз глобального экологического кризиса.

Мы когда-нибудь задумываемся над тем, что в нашей жизни значит почва? Пожалуй, что очень редко. Ведь почва - это не цветок, не насекомое, не зверь. Что с ней может случиться? Так и будет всегда лежать под ногами. А вместе с тем всемирно известный эколог Жан Пьер Дорст сказал: "Почва - наш самый драгоценный капитал. Жизнь и благополучие всего комплекса наземных биоценозов, естественных и искусственных зависит, в конечном счете, от тонкого слоя, образующего самый верхний покров Земли".

Основа жизни  
Земля, вода и ветер  
Изучаем нарушенные ландшафты

В чем же уникальность почвы на нашей планете?

Рис. 1. Фрагменты обучающих страниц по экологическому почвоведению, размещенных на сайте Проекта «Экологическое Содружество»: сверху – из раздела «Исследования», внизу – природоохранного раздела «Сбережем нашу землю»

(Структурно-функциональная роль почвы в биосфере, 1999; Добровольский, Никитин, 2006; Добровольский и др., 2010). Это позволяет привлечь внимание юных слушателей к малоизученному и, зачастую, малоизвестному объекту исследования. Следующие разделы посвящены характеристике факторов формирования почв, описанию самой почвы и ее свойств, географическим закономерностям почвенного покрова России, а также проблемам охраны почв. В последнее время крупномасштабное антропогенное воздействие на природу приводит к целому ряду нежелательных, зачастую необратимых изменений в почве. Многочисленные процессы нарушений почвенного покрова, связанные с химическим загрязнением, перевыпасом, водной и ветровой эрозией, деградацией, превращают в пустынные ландшафты огромные пространства. Вместе с тем, для того чтобы сформировался зрелый почвенный профиль, необходимы сотни, а иногда и тысячи лет. Представленная в курсе информация помогает сформировать у школьников бережное отношение к окружающей среде и почвенному покрову как ее основе.

Дистанционный курс «Основы экологического почвоведения и охраны почв для учителей средних школ и педагогов дополнительного образования» охватывает элементы специальностей «Почвоведение» и «Экология», расширяет представление о свойствах и функциях почв, раскрывает современные проблемы трансформации и деградации почвенного покрова (рис. 2). Курс открывается разделом по истории развития почвоведения, в котором особое место отводится трудам В.В. Докучаева и его роли в становлении почвоведения как самостоятельного раздела естествознания, а также современному состоянию науки, в частности, ее экологизации. Большое внимание в данном курсе уделяется знакомству с методиками изучения почв школьниками и методами охраны почвенных ресурсов. Представленные методические подходы служат хорошей основой для проведения школьниками самостоятельных исследований почв под руководством школьных учителей и педагогов дополнительного образования.

Оба курса содержат в себе ряд занятий, как в виде текстов, так и в виде презентаций с большим количеством иллюстративного материала, включают контрольные тесты и вопросы по разделам, а также сопровождаются ссылками на литературные источники. Ресурсы телекоммуникационной системы позволяют осуществлять групповое и индивидуальное консультирование слушателей, организовывать виртуальные дискуссии, привлекать разнообразные возможности контроля эффективности образовательного процесса (Мартыненко и др., 2010).

Наряду с дистанционными методами используются традиционные формы обучения: лекции и семинары для педагогов, мастер-классы для школьников в учебное время и практические занятия с учащимися в природной обстановке – на экскурсиях, в летних экологических лагерях и экспедициях. Заинтересованным педагогам высылаются книги и методиче-

ские пособия по почвоведению. Так, при поддержке нескольких грантовых программ проведены 38 семинаров и мастер-классов в школах и эколого-биологических центрах Москвы и Московской области, Самары, Белой Калитвы, на базе летних экологических лагерей в Ярославской и Ростовской областях, в которых приняли участие 480 школьников и 208 учителей и педагогов дополнительного образования из 64 учреждений России (рис. 3-5). Шестнадцать образовательных учреждений Самары, Белой Калитвы, Чеховского района Московской области оснащены сертифицированными школьными лабораториями для проведения простейших химических анализов почв (Рыхликова, 2008; Рыхликова, Бондарчук и др., 2008).

Проведение мастер-классов и семинаров позволяет на практике познакомить учителей и школьников с основами почвоведения и экологии почв. Прежде всего, это касается особенностей методических подходов к изучению экологических функций почв школьниками разных возрастных групп, в частности, подчеркивается разница в форме преподнесения материала и методах исследования. Были разработаны методики изучения почв для учеников начальной школы, средних и старших классов, соответствующие школьной программе и уровню знаний по естественным предметам.

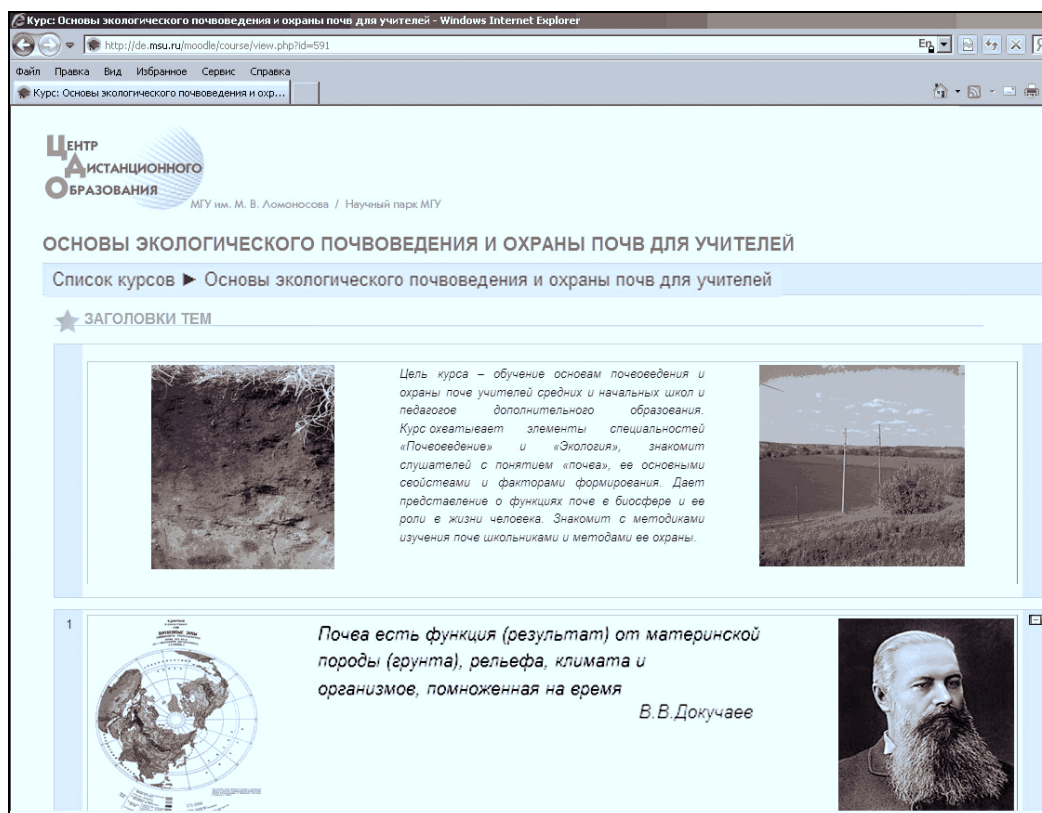


Рис. 2. Заглавная страница дистанционного курса «Основы экологического почвоведения и охраны почв для учителей»



Рис. 3. Семинары и мастер-классы для учителей и школьников в учебное время



Рис. 4. Освоение методов исследований: младшими (слева) и старшими (справа) школьниками

Предложенные методы изучения почв для школьников 1-6 классов просты в исполнении, не требуют сложного специального оборудования и подготовки, но в то же время наглядны и дают представление о свойствах почв и их функциях. Например, при изучении физических функций почв используются методики органолептического определения гранулометрического состава или определения фильтрационной способности песчаных и суглинистых почв. При изучении биологических функций применяется методика определения степени переуплотнения почв и оценивается его влияние на почвенную мезофауну. Для изучения информационных функций почв наглядны и эффективны профильный метод исследования или составление почвенных коллекций (рис. 4).

Со старшеклассниками, знакомыми с основами химии, физики, биологии и математики, можно использовать более сложные методы анализа. Для исследования физических, химических и физико-химических функций почв применимы классические методы определения pH водной и солевой вытяжки (Аринушкина, 1961) или плотности скелета почв (Вадюнина, Корчагина, 1986). Знакомство с биологическими функциями можно проводить, используя методики определения целлюлозолитической активности почв аппликационным методом (Гельцер, 1986), метод ручной разборки проб для анализа мезофауны и метод эклекторов для сбора микроартропод (Гиляров, 1975), определения продуктивности наземной биомассы (Абра-



мова, Березина, 1988) или изучения скорости процессов разложения растительных остатков в почвах (Стриганова, 1975). Определение суммарной токсичности почвы и растительной продукции фитотестированием (Практикум по агрохимии, 2001) наряду со всеми предыдущими дает общее представление о роли почвы в биосфере.

Особенностью методик, применяемых в работах со старшеклассниками, является их упрощение по сравнению с классическими подходами, например, замена рН-метра, как правило отсутствующего в школьных лабораториях, на лакмусовые бумажки или замена стальных цилиндров-буров для отбора проб почв на плотность – жестяной баночкой от детского питания. Такие подходы, безусловно, снижают точность определения, но расширяют круг учащихся, способных ознакомиться с методами изучения экологических функций почв (рис. 4).

Участникам семинаров демонстрировалась также коллекция образцов наиболее распространенных почв различных регионов России; давались рекомендации по использованию учебно-методической литературы и ссылки на почвенные Интернет-ресурсы; представлялись образцы цветковых шкал для проведения морфологических описаний почвенных горизонтов и другие материалы.

На практических занятиях с учащимися в природной обстановке (на экскурсиях, в летних экологических лагерях и экспедициях) школьников знакомили, прежде всего, с почвой как объектом природной среды и ее ролью в сохранении биологического разнообразия (рис. 5). Для изучения обычно выбираются как типичные зональные ландшафты, так и интразональные, в частности, пойменные. Это дает возможность показать разнообразие почв региона, их свойств и функций. Перед детальным исследованием почв проводится описание ландшафтно-географических особенностей территории, необходимых для характеристики экологического состояния почв. Отмечаются особенности рельефа, состава почвообразующих пород, характера растительности на участке, вид антропогенного воздействия, если оно присутствует. Далее проводится подробное морфологическое описание почвенного разреза (мощность почвенного профиля в целом и отдельных горизонтов, формирующего почвенный профиль, цвет, влажность, структура, механический (гранулометрический) состав и др.), т.к. это наиболее простой и наглядный метод знакомства юных почвоведов-экологов с экосистемными функциями почв (рис. 4). Такие физические и биологические функции почв как механическая опора, жизненное пространство, депо семян и среда обитания организмов хорошо объясняются на примере описания следов жизнедеятельности почвенной мезофауны и растительных включений. Функции аккумуляции биофильных элементов, деструкции и минерализации органических остатков легко объяснить при характеристике гумусовых и органических (например, торфяных) горизонтов; функции ресинтеза минеральных веществ – на примере минеральных

новообразований. Информационные функции (запись и хранение показателей истории экосистем) легко проиллюстрировать на примере слоистых аллювиальных почв. Кроме того, обязательно проводятся занятия по изучению экологического состояния почв нарушенных и ненарушенных территорий (например, сравнение плотности поверхностного слоя или суммарной зоомассы почвенных беспозвоночных двух участков). Таким образом, школьники получают представление о роли почвы в сохранении жизни на планете.

Наиболее значимой формой обучения является выполнение школьниками самостоятельных эколого-исследовательских проектов, которые они представляют на Всероссийскую Интернет-конференцию «Природу России сохраняют дети». Конференция проводится с 1999 года, ежегодно в ноябре-декабре, в семи разделах форума Проекта «Экологическое Содружество». Каждый год в ней принимают участие от 40 до 80 образовательных учреждений (школ, лицеев, эколого-биологических центров, станций юных натуралистов, отделов экологического просвещения ООПТ) со всей территории России и несколько организаций из Белоруссии, Украины и Казахстана. Не выезжая с мест, участники могут представить результаты своей эколого-исследовательской и природоохранной работы, обменяться опытом, получить рекомендации специалистов.

Учащиеся публикуют экологические проекты в виде тезисов, к которым прилагают таблицы, графики, фотографии. Тематика конференции охватывает шесть направлений исследований Проекта «Экологическое Содружество»: ботанические, зоологические исследования, экологическое почвоведение, гидробиологические исследования и мониторинг водных экосистем, мониторинг наземных экосистем, проекты по особо охраняемым природным территориям.

В период с 2001 по 2011 гг. на конференцию представлены 106 исследовательских проектов школьников по экологическому почвоведению из 58 образовательных учреждений Российской Федерации и Республики Беларусь. В выполнении самостоятельных эколого-почвенных исследований приняли участие 262 учащихся всех возрастов общеобразовательной школы, от начальных до выпускных классов.

Тематика самостоятельных исследований школьников определяется возможностями школьных лабораторий и квалификацией учителей в области почвоведения (Рахлеева, Рыхликова, 2005). Анализ тематик школьных работ по экологическому почвоведению, представленных на Телеконференцию за прошедшие 10 лет, выявил следующие основные направления исследований:



Рис. 5. Занятия в летних экологических лагерях

- Изучение природных почв того или иного региона;
- Исследование состояния городских почв;
- Изучение отдельных физико-химических и агрономических свойств почв;
- Изучение состава и функций комплексов почвенной фауны, прежде всего, почвенных беспозвоночных животных в различных типах почв;
- Индикационная геоботаника;
- Фитотестирование почв и почвенных вытяжек;
- Оценка влияния различных антропогенных факторов на экологическое состояние территорий;
- Возможности утилизации бытовых отходов с целью очищения почв;
- Изучение эрозионных процессов и способов борьбы ними.

Кроме того, в Проект каждый год приходят комплексные проекты, сочетающие в себе несколько направлений исследований.

Вместе с общей обеспокоенностью населения экологическим состоянием территорий проживания усиливается внимание к экологическому состоянию почв. Так, более четверти представленных на конференции исследований приходится на оценку влияния антропогенных воздействий на почвенный покров, далее с большим отрывом идут работы по анализу физико-химических и агрономических свойств почв и изучению почвенной мезофауны. Интересно отметить, что разнообразие тематик проектов учеников 1-6 классов столь же высоко, как и старшеклассников. В качестве иллюстрации можно привести несколько наиболее интересных тем работ, выполненных учащимися младших классов:

*Влияние типа почв на дождевых червей Каменного Лога* (авторы – группа учащихся 1 класса МОУ СОШ № 50, СЮН «Эколог»). г. Липецк. 2001 г. Руководитель – педагог СЮН «Эколог», методист Г(О)ОУДОД «Областной Детский эколого-биологический центр» Лычковская И.Ю.

*Механический состав почвы и развитие растений* (авторы – группа учащихся 3 класса МОУ СОШ № 9), пос. Восточно-Горняцкий, Белокалитвинский район, Ростовская область. 2008 г. Руководитель – учитель начальной школы Ганощенко Л.А.

*Капотня – вчера, сегодня, завтра* (автор – Горшкова Екатерина, 4 класс ГОУ СОШ № 1996), г. Москва. 2006 г. Руководитель – учитель начальных классов Кузовлева В.М.

*Изучение листового опада* (авторы Маслова Елена и Астраух Надежда, 5 класс СЮН «Флора»). г. Липецк. 2002 г. Руководитель Лычковская И.Ю.

*Характеристика почв Дзержинского района (Беларусь)* (автор Каспорский Дмитрий, 5 класс). Гимназия № 1 г. Дзержинска, Республика Бе-

ларусь. 2006 г. Руководитель – заведующий музеем «Природа Дзержинщины» Ярохович С.К.

*Влияние шлака школьной котельной на состав почвы* (авторы – группа учащихся 5 класса МОУ СОШ № 9), пос. Восточно-Горняцкий, Белокалитвинский район, Ростовская область. 2011 г. Руководитель – учитель биологии Шильцова Н.П.

*Исследование почвы на пришкольном участке* (автор – Ермакова Екатерина, 6 класс, МОУ СОШ № 5 им. П.Н.Бучина), г. Тутаев, Ярославская область. 2005 г. Руководитель – учитель химии и экологии Хохлова О.В.

*Оценка загрязнения почв и вод с использованием кресс-салата как биоиндикатора среды* (автор – Радаев Андрей, 6 класс). МОУ ДОД ДДТ «Успех», Полевой учебный центр «Стриж», г. Астрахань. 2010 г. Руководитель – учитель биологии и географии, ныне – педагог дополнительного образования Соколова Г.А.

Как видно из перечня, работы выполняются под руководством педагогов различной степени подготовки в области естественных наук. Анализ списка победителей и призеров Телеконференции показал, что 60 % работ сделано под руководством учителей средних школ (из которых 2/3 приходится на учителей биологии), 35 % работ – под руководством педагогов экологических, эколого-биологических, центров, станций юных натуралистов и других учреждений дополнительного образования. При этом работы-победители учеников старших (9-11) классов часто сделаны при участии научных консультантов, в качестве которых выступают научные сотрудники профильных НИИ и преподаватели высшей школы. Кроме того, стоит отметить, что большая часть учителей прошла подготовку на выездных семинарах и мастер-классах Проекта «Экологическое Содружество», а остальным были высланы специальные методические пособия.

Тезисы школьников размещены в разделах форума и его архивах, а значит, доступны любому пользователю сети Интернет. Часть работ опубликована в периодическом печатном издании – «Вестнике «Экологического Содружества» и в выпущенном к 10-летию юбилею Проекта сборнике тезисов призеров конференции (2008).

В текущем учебном году в МГУ впервые (!) была проведена Олимпиада «Ломоносов» по экологии для школьников 5-11 классов. На заочный тур Олимпиады учащиеся 11-го класса могли представить на выбор либо ответы на вопросы, либо экологический проект, тематика которого совпадает с традиционной тематикой Всероссийской конференции «Природу России сохраняют дети». Всего в этой Олимпиаде приняло участие 452 школьника 5-11 классов, представлявших 269 школ из 61 субъекта Российской Федерации и 9 школ из Казахстана, Таджикистана и Украины.

На настоящий момент развитие системы образования и просвещения, воспитание экологической культуры населения рассматривается как одна

из первоочередных задач в решении проблемы сохранения почвенных ресурсов (Добровольский, Куст, 2011). Анализ школьных программ по биологии и географии показал, что при существующем тематическом планировании отмечается некоторая раздробленность в подаче экологических знаний. Сформировать целостные представления об экологических аспектах почвоведения возможно только при соблюдении определенной последовательности насыщения биологических разделов этих программ экологическим содержанием (Попова, 2007). Проведение практических занятий по экологическому почвоведению в школах возможно только при системной подготовке учителей и педагогов в области экологического почвоведения. В связи с этим перед почвенным научным сообществом одной из первых встает задача адаптации классических методик исследования почвенных свойств к уровню школьных программ и возможностям школьных лабораторий.

Другой важнейшей задачей является вовлечение детей и молодежи в практическую работу по охране окружающей среды. С этой целью в Проекте созданы шесть природоохранных направлений, одно из которых – «Сбережем нашу землю» – посвящено проблемам сохранения почв. «Почва – наш самый драгоценный капитал. Жизнь и благополучие всего комплекса наземных естественных и искусственных биоценозов зависят, в конечном счете, от этого тонкого слоя, образующего самый верхний покров Земли», – слова одного из руководителей Международного союза охраны природы и природных ресурсов профессора Жана Дорста (1968) служат девизом юным экологам, которые участвуют в посильных мероприятиях по восстановлению нарушенных эрозией территорий, занимаются расчисткой свалок и озеленением, помогают лесничествам в посадке защитных лесополос, организуют просветительскую работу с населением.

Современные информационные технологии открывают новые возможности для решения образовательных и просветительских задач и, что самое ценное, помогают вовлечь в работу по изучению и сохранению почв широкий круг молодежи.

Авторы выражают глубокую благодарность Министерству природных ресурсов РФ, Московскому правительству, Агентству по международному развитию США, Фонду АЛКОА, Фонду «Устойчивое развитие» за финансовую поддержку образовательных и природоохранных мероприятий Проекта «Экологическое Содружество».

### *Литература*

- Абрамова Л.И., Березина Н.А. Летняя практика по ботанике. М.: Изд-во МГУ, 1988. – 85 с.
- Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1961. – 492 с.

- Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
- Гельцер Ю.Г. Биологическая диагностика почв. М.: Изд-во МГУ, 1986. – 81 с.
- Гиляров М.С. Учет крупных почвенных беспозвоночных (мезофауны) // Методы почвенно-зоологических исследований. М.: Наука, 1975. – 280 с.
- Добровольский Г.В., Карпачевский Л.О., Криксунов Е.А. Геосферы и педосфера. М.: ГЕОС, 2010. – 190 с.
- Добровольский Г.В., Куст Г.С. Ключевые проблемы в сфере управления почвами и землями России и возможные пути их решения // Роль почв в биосфере: Тр. Ин-та экологического почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова / Под ред. Г.В. Добровольского и Г.С. Куста. М.: МАКС Пресс, 2011. Вып.11. – С. 5-30.
- Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экология почв. Учение об экологических функциях почв: учебник. М.: Изд-во МГУ; Наука, 2006. – 364 с.
- Дорст Ж. До того, как умрет природа. М.: Прогресс. 1968. – 480 с.
- Мартыненко И.А., Рахлеева А.А., Рыхликова М.Е. Инновационные подходы к обучению школьников и педагогов основам экологического почвоведения // Роль почв в биосфере: Тр. Ин-та экологического почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова / Под ред. Г.В. Добровольского и Г.С. Куста. М.: МАКС Пресс, 2010. Вып.10. – С. 225-235.
- Попова Л.В. Экологическая составляющая в школьном курсе биологии. 2007. <http://www.museum.msu.ru/upl/74/bio.pdf>
- Попова Л.В., Белая Н.И. Использование интерактивных форм обучения в Музее Землеведения МГУ имени М.В. Ломоносова // Университеты и общество. Сотрудничество и развитие университетов в XXI веке: Материалы Третьей международной научно-практической конференции университетов «Университеты и общество. Сотрудничество и развитие университетов в XXI веке: МГУ имени М.В. Ломоносова. 23-24 апреля 2010. М.: Изд-во МГУ, 2011. – С. 743-746.
- Практикум по агрохимии: Учеб. пособие для студентов вузов / В.Г. Минеев, В.Г. Сычев, О.А. Амельянчик и др. (Под ред. В.Г. Минеева). М.: Изд-во МГУ, 2001. – 687 с.
- Природу России сохранят дети. Работы призеров IX конференции Российского детского телекоммуникационного проекта «Экологическое Содружество», ноябрь-декабрь 2007 г. / Отв. ред. М.Е. Рыхликова. М.: МАКС Пресс, 2008. – 96 с.: ил.
- Рахлеева А.А., Рыхликова М.Е. Обучение основам экологического почвоведения и практическая природоохранная работа в Российском телекоммуникационном проекте «Экологическое Содружество» // Роль почв в биосфере: Тр. Ин-та экологического почвоведения МГУ им. М.В. Ломо-

- носова / Под ред. Г. В. Добровольского и Г.С. Куста. М.: Изд-во «Советский спорт», 2005. Вып. 5. – С. 167-176.
- Рыхликова М.Е. Опыт создания и функционирования системы дистанционного экологического обучения школьников и повышения квалификации педагогических кадров // Роль почв в биосфере: Тр. Ин-та экологического почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова / Под ред. Г.В. Добровольского и Г.С. Куста. М.: Изд-во «Советский спорт», 2005. Вып. 5. – С. 153-166.
- Рыхликова М.Е. Популяризация экологического почвоведения и охрана природы в Российском телекоммуникационном проекте «Экологическое Содружество» // Материалы V Всероссийского съезда почвоведов им. В.В. Докучаева, 18-23 августа 2008 г. Ростов-на-Дону: ЗАО «Росиздат», 2008. – С. 516.
- Рыхликова М.Е. Российскому телекоммуникационному проекту «Экологическое Содружество» – 11 лет // Науки о жизни и образование. Фундаментальные проблемы интеграции: Всероссийская научная конференция памяти профессора М.В. Гусева. Москва, МГУ имени М.В. Ломоносова. Биологический факультет. 2-4 февраля 2009 г.: Материалы конф. / Ред. Совет: Лобакова Е.С. и др. М. МАКС Пресс, 2009. – С. 328-332.
- Рыхликова М.Е., Бондарчук Е.А., Львutiна Е.А., Чернышова Л.В. Воспитывающая любовь к природе // Экология и жизнь, 2008, № 3 (76). – С. 68-71.
- Стриганова Б.Р. Методы оценки деятельности беспозвоночных-сапрофагов в почве // Методы почвенно-зоологических исследований. М.: Наука, 1975. – 280 с.
- Структурно-функциональная роль почвы в биосфере. М.: ГЕОС, 1999. – 278 с.
- Федеральный закон РФ «Об охране окружающей среды» от 10.01.2002 № 7-ФЗ. <http://www.consultant.ru/popular/okrsred/>



## **Краткий словарь по экологическому почвоведению (предложенные и используемые основные термины и определения)**

Приведенный ниже список терминов и определений не является словарем по экологическому почвоведению в строгом смысле этого слова. Он не претендует на полноту и конечность формулировок, а скорее, как и многие главы в этой книге, намечает контуры будущей работы в данном направлении на базе терминологии и постулатов, используемых и/или предлагаемых авторами. Как можно заметить из приведенного списка, экологическое почвоведение как развивающееся направление науки о почвах охватывает широкий спектр понятий и терминов разных смежных наук и областей знаний, и одновременно - формирует свой собственный понятийный аппарат.

**Автоматизированная информационная система (АИС)** – совокупность интегрированных компьютерных средств и программных продуктов для обеспечения ввода, редактирования, обработки, хранения, выдачи и передачи информации по исследуемому объекту.

**Ассоциация (образование ассоциатов)** – объединение простых молекул или ионов в более сложные, не вызывающие изменения химической природы вещества.

**Биобезопасность** – медицинская, ветеринарная, экологическая – совокупность действия техногенных и природных факторов, прямо или косвенно не приводящая к жизненно важным фатальным ущербам (вредным последствиям) для здоровья человека, домашних животных и нецелевой биоты.

**Биогеохимические провинции** (или *аномальные биохимические провинции*) - географические районы или местности, отличающиеся резко выраженным недостатком или избытком в почвах, водах и кормовых растениях таких химических элементов, которые вызывают эндемические болезни человека и животных (например: недостаток иода - болезнь щитовидной железы, избыток стронция при недостатке кальция -уровская болезнь костных тканей, и др.). Понятие и примеры природных биогеохимических провинций предложил и обосновал академик А.П.Виноградов.

**Биоиндикатор** (*санитарно-гигиенический, экологический, фитосанитарный*) - тест-организм, свидетельствующий о состоянии здоровья почвы, воды или атмосферы и реагирующий на наличие вредных факторов, содержащихся выше установленных для этих сред санитарно-гигиенических, экологических или фитосанитарных нормативов.

**Биоразнообразие (биологическое разнообразие)** — в широком смысле слова - разнообразие жизни во всех её проявлениях. В более узком

смысле под биоразнообразием понимают разнообразие на трёх уровнях организации: генетическое разнообразие (разнообразие генов и их вариантов — аллелей), видовое разнообразие (разнообразие видов в экосистемах) и, наконец, экосистемное разнообразие, т.е. разнообразие самих экосистем. По Уиттекеру выделяют также: *альфа-разнообразие* - разнообразие внутри сообщества; *бета-разнообразие* - между сообществами; *гамма-разнообразие* - разнообразие надценотической системы по градиентам среды. Значение почвы для поддержания разнообразия жизни, прежде всего, связано с ее средообразующей ролью. Почва – важнейший фактор формирования условий для существования всего разнообразия жизни. В то же время, сами экосистемные функции почв определяются уровнем разнообразия экосистем.

**Биосферология, учение о биосфере** – фундаментально-прикладное научное направление, изучающее возникновение, эволюцию, структуру, механизмы функционирования и устойчивости биосферы.

**Высокомолекулярные соединения** – (полимеры), характеризуются молекулярной массой от нескольких тысяч до нескольких (иногда многих) миллионов. В состав молекул высокомолекулярных соединений (макромолекул) входят тысячи атомов, соединенных химическими связями. Любые атом или группа атомов, входящие в состав цепи полимера или олигомера, называют составным звеном. Наименьшее составное звено, повторением которого может быть описано строение регулярного полимера, называют составным повторяющимся звеном. Составное звено, которое образуется из одной молекулы мономера при полимеризации, называют мономерным звеном (ранее элементарным звеном). Например, в полиэтилене  $[-CH_2CH_2-]_n$  повторяющееся составное звено -  $CH_2$ , мономерное -  $CH_2CH_2$ .

**Географическое районирование опустынивания/деградации земель России** - разработано в 2005 году в масштабе 1: 8 млн. на картографической базе *Карты опустынивания России*. Цель районирования процессов опустынивания – разделение территории юга России на регионы, сходные по проявлениям основных направлений опустынивания для прогноза состояния земель и почвенного покрова, выбора оптимальных методов организации использования земельных ресурсов. Районирование проведено на основе сопоставления данных почвенно-географического, климатического, геоботанического, ландшафтного, природно-сельскохозяйственного районирования, агропочвенного и др.

**Гидрофобное взаимодействие** – притяжение между неполярными частицами в воде (или других полярных растворителях), которое обусловлено термодинамической невыгодностью контакта воды с неполярными веществами. Гидрофобное взаимодействие проявляется только в присутствии полярных растворителей. Сильное притяжение между полярными молекулами приводит к отталкиванию ими гидрофобных частиц и агломе-

рации последних. Гидрофобное взаимодействие участвует в формировании третичной структуры белков и обеспечивает молекулярное распознавание в некоторых супрамолекулярных комплексах «гость-хозяин». Оно проявляется также при образовании мицелл и других структур в растворах поверхностно-активных веществ.

**Гомеостаз почвенного покрова** - состояние почвенного покрова, при котором под воздействием внешних факторов на начальных этапах изменений характерно такое состояние, когда почвы могут постоянно эволюционировать (изменяться) в том или ином направлении, а такие параметры почвенного покрова, как его состав (разнообразие составляющих его почв) и соотношение площадей, занятых разными почвами, остаются постоянными. Структура почвенного покрова и конкретные почвенные индивидуумы при этом могут эволюционировать (изменяться). Определение состояния гомеостаза важно для диагностики начала изменений, особенно связанных с деградацией почв. Следует отличать от состояния *стабильности почвенного покрова*, при котором неизменной остается также и структура почвенного покрова. В таких системах (например, дельты крупных рек, крупные ирригационные системы) равновесие почвенного покрова является крайне неустойчивым и поддерживается не за счет сил и средств саморегуляции, а лишь за счет внешних дополнительных источников массы и энергии.

**Деградация земель** означает снижение или потерю биологической и экономической продуктивности и сложной структуры богарных пахотных земель, орошаемых пахотных земель или пастбищ, лесов и лесистых участков в засушливых, полузасушливых и сухих субгумидных районах в результате землепользования или действия одного или нескольких процессов, в том числе связанных с деятельностью человека и структурами расселения, таких, как: ветровая и/или водная эрозия почв; ухудшение физических, химических и биологических или экономических свойств почв; долгосрочная потеря естественного растительного покрова. Деградация земель в аридных, семиаридных и засушливых субгумидных условиях носит название *опустынивания*. Роль почв в явлении опустынивания в основном проявляется в их уникальных индикаторных свойствах, позволяющих диагностировать не только разные стадии опустынивания, но и оценивать рискообразующие условия и опасность деградации земель. Кроме того, почвы играют роль регуляторов характера, степени, скорости и глубины проявления опустынивания, в значительной степени определяя инерционные и буферные свойства экосистем, подверженных опустыниванию или испытывающих риск воздействия неблагоприятных факторов и условий среды.

**Деградация почв (д.п.)** – в широком смысле – процессы, ухудшающие плодородие почв. В более узком смысле – процессы разрушения структуры, потери гумуса и обменных оснований, а иногда – и вымывание

ила в черноземах. Несмотря на очевидность понятия *д.п.*, связанного в первую очередь со значительной (по времени) историей развития земледелия и использования почвенных ресурсов, впервые научное обоснование *д.п.* и влияния на них деятельности человека дали российские ученые В.В.Докучаев (1877) и А.А.Измаильский (1879). Докучаеву же впервые принадлежит введение понятия "деградация" применительно к почвам, а также обоснование необходимости учета антропогенного фактора при анализе становления и развития почв. Хотя развитие почвоведения в качестве самостоятельной науки имеет более чем вековую историю, "*д.п.*" до настоящего времени не имеет четкого определения из-за многосторонности понятия, связанной как с природными, так и антропогенными обстоятельствами, включая экономическую деятельность человека. Вместе с тем, обобщая многочисленные определения *д.п.*, содержащиеся в современной литературе, можно отметить близость их смыслового содержания и выделить следующие базовые элементы: а) понятие *д.п.* преимущественно раскрывается через совокупность процессов почвообразования, приводящих к изменениям в почвах и почвенном покрове по сравнению с эталонными (как природными эталонами, так и эталонами по продуктивности); б) *д.п.* ведет к снижению плодородия почв, продуктивности или качества продукции; в) *д.п.* ведет к повышению затрат на восстановление средств и уровня производства; г) *д.п.* приводит к изменению функций почв как элемента экологической системы, отклонениям от экологических норм и ухудшению параметров, важных для функционирования биоты и человека. Различают три основные категории *д.п.*: физическая, химическая, биологическая.

**Закон ноосферы** – биосфера неизбежно превращается в ноосферу, где разум человека будет играть доминирующую роль в развитии системы «человек ↔ природа» (В.И. Вернадский).

**Здоровье почвы** – способность почвенной биосистемы (педоценоза) в заданных пространственных границах поддерживать продуктивность растений, животных, приемлемое качество воды и воздуха, а также обеспечивать здоровье людей, животных и растений. *Здоровая почва* не содержит техногенные радионуклиды, ксенобиотические и природные поллютанты, а также (фито)патогенные агенты сверх допустимых санитарно-гигиенических, экологических и фитосанитарных нормативов.

**Императив экологический** – совокупность облигатных ограничений на техногенез в связи с необратимостью наступления вредных последствий для человека и экосферы.

**Инвентаризация [городских] почв** – периодический учет с выявлением наличия, качества и количества почв земельных участков и более крупных элементов [в структуре градостроительного зонирования].

**Инерционность почв** – это их свойство постепенно изменяться от одного равновесного состояния к другому при скачкообразном изменении условий почвообразования.

**Инженерное почвоведение** – прикладная наука, призванная решать конкретные инженерные задачи природообустройства, связанные с разработкой экологичных технологий использования почв и оценкой их воздействия на ландшафт. Почвенно-инженерные сооружения, возникающие в результате воплощения проектов природообустройства, должны представлять собой вписанный в окружающий ландшафт почвенно-технический комплекс, сохраняющий или создающий основу для устойчивого существования естественной окружающей среды.

**Информационная функция почв** – способность почв хранить в своем составе и свойствах закономерности изменений природных и антропогенных условий почвообразования и развития человеческой цивилизации. Информационная емкость почв – около  $10^{20}$  бит.

**Карта опустынивания России** – картографическое отображение для территории России комплекса деградационных явлений и процессов, связанных с *опустыниванием*: причин опустынивания, направлений (трендов) опустынивания, степени, скорости и глубины опустынивания. Наиболее подробная карта (масштаб 1: 1,5 млн) была составлена в 2001 году с использованием материалов дистанционного зондирования, и с тех пор не обновлялась.

**Качество [городских] почв** – совокупность свойств почв, определяющих характер и эффективность участия почв в обеспечении [на территории города] благоприятной среды обитания человека, растений и животных. *Показатели качества почв земельного участка* – научно-обоснованный комплекс физических, химических, физико-химических и иных характеристик для оценки качества почв в совокупности с показателями санитарно-гигиенического состояния. Включает непосредственно измеряемые и расчетные характеристики.

**Кластер** – объединение нескольких однородных элементов, которое может рассматриваться как самостоятельная единица, обладающая определёнными свойствами. В химии кластер рассматривается как сложное объединение нескольких атомов или молекул, обладающее определенной структурной организацией.

**Кондуктивная почва** – благоприятствующая сохранению и размножению фитопатогенных микроорганизмов (противоположность – *супрессивная почва*).

**Культивация (обработка) и реабилитация почв** – процесс перманентного возделывания почв для поддержания их экологического состояния, плодородия, функционирования и компенсации как естественных факторов деградации (разложения органических веществ, выноса питательных элементов, эрозии, почвоутомления, дефицита влаги, и др.), так и

негативных техногенных и антропогенных воздействий (уплотнение, загрязнение, заражение, засоление, и др.). Осуществляется с помощью отдельных технологических операций (рыхление, вспашка, внесение удобрений, поливы, дезинфекция, и др.) или их комплекса (*реабилитация почв*), неразрушающими почву методами и техническими средствами.

**Материал наноструктурированный** – конденсированный материал, полностью или частично состоящий из структурных элементов (частиц, зерен, кристаллитов, волокон, прутков, слоев) с характерными размерами от нескольких нанометров до нескольких десятков нанометров, причем дальний порядок в структурных элементах сильно нарушен, и роль многочастичных корреляций в расположении атомов в этих элементах берет на себя ближний порядок, а какие-либо макроскопические свойства материала определяются размерами и/или взаимным расположением структурных элементов.

**Менеджмент (управление) [городских почв]** – система мероприятий по оперативному контролю экологического состояния [городских] почвенных объектов и принятия управленческих решений по его оптимизации на базе современных технических средств и технологий.

**Мониторинг экологический** – система длительных регулярных наблюдений действия, взаимодействия, состояния экологических факторов и экосистем, позволяющая оценивать их прошлое, настоящее и будущее.

**Наследственность почвообразования** – гипотеза, выдвинутая на основании картографической обработки состояний эволюции современных почв, заключающаяся в том, что во многих случаях почвенный покров в целом и почвы в частности ведут себя в ходе эволюции аналогично живым организмам, определяя в ходе современного онтогенеза почв возможность повторения реакций и откликов, обусловленных филогенетическим развитием почвенного покрова. При этом в ходе эволюции почвы способны проявлять реакции и свойства, аналогичные свойствам и процессам наследуемости, репликации, изменчивости, регенерации и др. Гипотеза имеет большое практическое значение, позволяя теоретически обосновывать прогноз природной и антропогенной эволюции почв. На практике это означает, например, что если известно, что почвы в филогенезе имели стадии засоления (дегумификации, осолонцевания, и др) то даже при отсутствии признаков современного засоления (или иных соответствующих) они будут испытывать риск засоления ( и т.п.) в большей степени, чем почвы, не прошедшие в филогенезе таких стадий.

**«Об охране почв» - федеральный закон** - последний вариант проекта был отклонен Правительством России в 2006 году. Вместе с тем, в 2007 году был Городской Думой г. Москвы принят Закон города Москвы «О городских почвах». Экспертиза проекта федерального закона Общественной палатой РФ в 2009 году подтвердила его целесообразность и сохраняющуюся актуальность. В отличие от других ключевых природных

ресурсов (воды, ресурсов недр, биологических ресурсов), для которых порядок их использования определен действующим законодательством (Земельный Кодекс, Водный Кодекс, Лесной Кодекс, законы о растительном и животном мире), только почвы не имеют соответствующего симметричного закона. Новый федеральный закон «О почвах» (как природном ресурсе) должен определить отличие земельных отношений, возникающих вокруг использования почвенных ресурсов, от земельных отношений, возникающих вокруг земельных участков как объектов недвижимости, законодательно определить понятие почв и почвенных ресурсов, установить основные направления государственной почвенной политики, определить компетенцию органов государственной власти и местного самоуправления по вопросам использования и охраны почвенных ресурсов в составе земель различных категорий, определить стимулы землепользователей к улучшению качественного состояния почв и земель.

**Обследование почв земельного участка** – получение натурной информации о фактическом состоянии почв земельного участка. Включает обязательный выезд на объект, отбор репрезентативных проб и их лабораторный анализ. Осуществляется лицензированными в сфере экологических услуг организациями.

**Общая экономическая стоимость** - показатель, позволяющий измерять в стоимостной форме выгоды, получаемые обществом от нерыночных природных благ. Общая экономическая стоимость может также определяться как общественная или публичная ценность природных благ, не участвующих в рыночных процессах. Основным назначением определения общей экономической стоимости является включение в проектный анализ экологических выгод и затрат, которые игнорируются рынком и поэтому не учитываются в принимаемых решениях по развитию территорий. К неучитываемым рыночной средой благам природы относятся экосистемные услуги, под которыми понимаются природоохранные и рекреационные функции, выполняемые экосистемами и их отдельными компонентами. Основное отличие показателя ОЭС от рыночной стоимости заключается в том, что расчеты ОЭС основаны на моделировании суррогатных рынков услуг и полезностей исходя из выявления предпочтений потребителей данных услуг и полезностей.

**Опустынивание почв** - это сложный комплекс процессов, приводящих к формированию равновесных автоморфных почв в условиях аридного или засушливого климата или к исчезновению почв как природных тел в результате абсолютного преобладания литогенеза над педогенезом

**Оценка экологического состояния почв земельного участка** – оценка степени соответствия фактического состояния почв нормативным требованиям по ряду отдельных показателей и по всей их совокупности (комплексная оценка) на данном земельном участке с учетом доли данного типа почв.

**Палеопочва** - почва, сформировавшаяся под воздействием былых ландшафтных обстановок в геологическом прошлом.

**Палеоэкологические архивы планеты** - это серии разновозрастных природных объектов, обладающих способностью запоминать изменения параметров окружающей среды и сохранять их в виде устойчивых во времени признаков. Природные архивы палеоэкологической информации – лимнологический, гляциологический, палинологический, дендрохронологический, фаунистические комплексы, дневные и погребенные почвы, лессово-почвенные серии и педолитоседименты.

**Парниковые газы** — газы с высокой прозрачностью в видимом диапазоне и с высоким поглощением в дальнем инфракрасном диапазоне. Присутствие таких газов в атмосферах планет приводит к появлению парникового эффекта. Основными парниковыми газами, в порядке их оцениваемого воздействия на тепловой баланс Земли, являются водяной пар, углекислый газ, метан, закись азота. Почвы играют важную роль в формировании современного состава атмосферы, процессах эмиссии и поглощения парниковых газов в разных экосистемах. Наиболее активно газообмен между почвой и атмосферой протекает в почвах с высоким содержанием гумуса, что определяется большим микробным разнообразием и высокой активностью процессов микробной трансформации  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$  в почвах соответствующими физиологическими группами микроорганизмов. Возрастающий поток парниковых газов из почв является следствием нарушения динамического равновесия между процессами их образования и поглощения под влиянием факторов внешней среды и антропогенных воздействий на почву - применения минеральных и органических удобрений; искусственном орошении и часто связанными с этим разрушением почвенных агрегатов и засолением почв; при использовании средств защиты растений (гербицидов); вследствие аккумуляции в почвах тяжелых металлов и радионуклидов; выпадении кислотных осадков и других факторов.

**Паспорт почв земельного участка** – документ, содержащий сведения о состоянии почв на конкретном земельном участке и происходящих в них в результате хозяйственной и иной деятельности изменений. Выдается собственникам земельных участков, землепользователям, землевладельцам и арендаторам.

**Патология почв** - а) понятие о разных видах деградации, химического загрязнения почв, которые отражаются на состоянии здоровья человека, животных и растений; б) состояние, проявляющееся в ухудшении основных функций почв, вызванное отравлением поллютантами, инфицированием патогенами, заселением вредными животными и растениями.

**Педоклиматостратиграфия** – методология распознавания и считывания палеоклиматической информации из почвенно-стратифицированных



толщ, сформированных в результате процессов морфо-, лито- и педогенеза. Объектом изучения педоклиматостратиграфии являются дневные, погребенные и ископаемые почвы, а также их части, сохранившиеся на месте их образования или переотложенные в процессе денудации, в которых почвенными признаками записаны климатические изменения и связанные с ними изменения экологических условий. Чередование различных типов почв и пород в отличие от климатостратиграфии не имеет ключевого значения, так как любые почвенные объекты, содержащие органическое вещество, могут быть датированы высокоразрешающими методами. Напротив, характер нарушений ритмичности несет информацию об интенсивности экзогенных процессов и отражает климатические условия периодов их формирования.

**Педосфера** - термин является синонимом понятия *почвенный покров Земли*; предложен в 1905 году проф. А.А. Яриловым как аналог понятий атмосфера, гидросфера, литосфера. В настоящее время термин широко используется в энциклопедиях, учебниках, научных журналах.

**Почвенно-ландшафтный инжиниринг** - предоставление услуг по доведению научно-исследовательских разработок до стадии производства. Может состоять из следующих этапов: разработка технического задания на проектирование, составление почвенно-инженерной карты территории, разбивочного чертежа планировки, проектирование дренажа или оросительной системы, поля фильтрации или плана дорожных покрытий, составление плана организации рельефа и карты земляных масс, макетирование ландшафта, авторский надзор за исполнением проектов, консалтинг и т.п.

**Почвенно-экологическая опасность/угроза** - это некое свойство или процесс, присущие почве, способное вызвать нарушение в биологическом объекте, в отношении которого оценивается риск.

**Почвенно-экологическая оценка** – проводится с целью регулирования имущественных и других хозяйственных отношений и споров, в том числе разрешаемых в судебном порядке. Представляет собой комплекс специальных полевых и лабораторных исследований, проводимых специалистами-почвоведом для установления состояния почв конкретного земельного участка, его ресурсных качеств, появления риска, угрожающего здоровью человека, а также рисков, снижающих качества сопряженных компонентов окружающей среды (вод, воздуха, биоты). В определенной степени на практике имеет смысл различать процедуры почвенно-экологической оценки и почвенно-экологической экспертизы. Несмотря на то, что методические подходы к их проведению схожи, как правило, экспертиза осуществляется при решении споров или для принятия решений. «Оценка» предполагает более мягкое проведение этих процедур и может служить как основой для «экспертизы», так и иметь самостоятельную информационную ценность, например для экономических расчетов,

**Почвенно-экологический риск** - вероятностная мера соответствующей опасности (совокупностей опасностей), непосредственно связанной с почвенными свойствами или процессами, установленная для определенного объекта (организма, популяции, сообщества) в виде его возможных потерь за единицу времени.

**Почвенные биомаркеры** – микро- и нано-следы жизни в дневных и погребенных почвах, например, соотношения лигниновых фенолов, гумусовые кислоты, спектр жирных кислот, состав полисахаридов, аминокислот, изотопные отношения элементов и т.д.

**Почвенные гели** покрывают и связывают почвенные частицы между собой, превращая смесь частиц в единую систему – почву. **Гели** – (от лат. *gelo* - застываю или *gelatus* - замороженный, неподвижный): 1) в коллоидной химии – дисперсная система с жидкой средой, в которой частицы дисперсной фазы образуют пространственную структурную сетку за счет силового взаимодействия; 2) в науке о полимерах гели называют студнями.

**Почвенные кондиционеры (почвомодификаторы)** – почвенные материалы, вносимые с целью оптимизации водоудерживающей и поглощательной (обменной) способностей почвы, ее структурного состояния и иных почвенно-экологических факторов.

**Почвенные конструкции (конструктоземы)** – искусственно создаваемые инженерные сооружения в виде системы функциональных горизонтов (слоев), коммуникаций, барьеров и иных структурных элементов с целью оптимизации почвенных свойств, режимов и экологических функций в антропогенных ландшафтах.

**Почвенные материалы** – естественные и синтетические компоненты почвенных объектов: растительные грунты (гумусовые горизонты); рыхлые горные породы (супеси, пески, суглинки, глины), добываемые в карьерах и изымаемые при строительстве различных сооружений; различные виды торфа (верховой, переходный, низинный), сапрпель, компосты, синтетические гидрогели, геосинтетика, биотекстиль и т.д.

**Почвенные палеоиндикаторы** [климатоиндикаторы] – носители палеоэкологической [палеоклиматической] информации.

**Почвенные режимы** – закономерно повторяющиеся изменения мобильных свойств и характеристик почвы (температуры, влажности, состава и концентраций почвенных растворов, микробиологической активности (дыхания) и т.д.) от которых зависит текущее выполнение экологических функций, включая поддержание роста и развития зеленых насаждений;

**Почвенные ресурсы (п.р.)** - такие почвенные системы, а также компоненты, свойства и функции природных и антропогенно преобразованных, а также искусственных почв, которые используются или могут быть использованы для осуществления хозяйственной, культурной, духовной и иной деятельности человека, способствуют устойчивому развитию человеческой цивилизации при условии повышения качества жизни и со-

хранения человека как биологического вида, и имеют соответствующую потребительскую ценность. Выделяют две основные группы *п.р.* – *вещественные* и *функциональные*. К вещественным *п.р.* относятся все те слагающие почву компоненты, которые имеют самостоятельную ресурсную ценность или ресурсный потенциал (например, гумус почв). К функциональным ресурсам (прямого и непрямого потребления) относятся характеристики почв, связанные с выполнением ими биогеоценотических (экосистемных) и глобальных функций (экосистемных услуг) – плодородие, защита литосферы, регулирование состава гидросферы, и др. Особо выделяется также группа *культурно-эстетических и информационных ресурсов почв*, связанную с эксплуатацией таких *свойств* почв, которые имеют (или могут иметь в будущем) значение для культурной жизни общества. *П.р.* – понятие многоплановое и многоцелевое. Это значит, что хотя возможность интегральной характеристики почвенных ресурсов и существует, тем не менее, в реальной жизни такая характеристика не имеет существенного значения. Для хозяйственных, юридических и других целей гораздо важнее (а также методически и технически проще) определять почвенные ресурсы лишь через те компоненты, свойства и функции почв, которые имеют непосредственное отношение для осуществления выбранной цели.

**Почвоутомление, токсикоз почвы** – резкое снижение продуктивности сельскохозяйственных культур при их повторном или бесменном возделывании в результате сохранения и накопления в почве токсических веществ, семян и вегетативных органов сорных растений, размножения фитотоксигенных сапротрофов, фитопатогенов и фитофагов.

**Предельная буферная емкость почвы, ПБЕП** – показатель взаимодействия присутствующих в почве поллютантов, рассчитываемый как отношение суммы  $1/2$  ПДК каждого поллютанта к их совокупной ПДК; при аддитивном взаимодействии поллютантов ПБЕП = 1, антагонистическом <1, синергетическом >1.

**Принцип «минимакса»** – максимальное заполнение пространства при минимальном объеме материала.

**Проградация почв** – процесс (комплекс процессов), обратный деградации почв. Как правило, является результатом естественных климатических и геологических процессов или результатом продуманной мелиоративной деятельности человека.

**Реестр [городских] почв** – свод данных о количестве и качестве [городских] почв в соответствии с их классификацией и принадлежностью к тем или иным функциональным элементам в структуре [градостроительно-го] зонирования.

**Рекультивация земель** – комплекс работ, направленных на восстановление продуктивности и народно-хозяйственной ценности нарушенных земель, а также на улучшение условий окружающей среды.

**Рекультивация почв** – восстановление и конструирование почвенного покрова территории в соответствии с ее функциональным назначением с использованием техники и специальных технологических операций (эвакуации, завоза, замены, почвогрунтов, очищения от загрязняющих веществ (*ремедиации*), проведение дренажа, ирригации и иных конструкций и мероприятий), коренным образом изменяющих исходное состояние деградированных и антропогенно-нарушенных почвенных объектов; составная часть *рекультивации земель*.

**Ремедиация почв** – восстановление техногенно и антропогенно загрязненных почв посредством физических, химических, биологических методов и технологий очистки и дезактивации, а также их сочетаний (комплексов).

**Ресурсология почв** - научное направление на стыке почвоведения и экономики, главной задачей которого является решение вопросов рационального управления почвами, их устойчивого использования в хозяйственной жизни. Отличительной особенностью почвенной ресурсологии является ее практическая направленность, конечная ориентация на потребителя услуг (хозяйствующие субъекты, государственные и муниципальные органы, страховые и кредитные организации, оценочные организации, юридическую и правоприменительную практику). Среди подзадач вычлениаются: обоснование и методическая реализация понятий "запасов почвенных ресурсов", "ресурсного потенциала", "исчерпаемости-неисчерпаемости", "возобновимости-невозобновимости", "уничтожаемости" и "рассеиваемости", "критических порогов состояния", и других понятий, принятых в ресурсологии и энвайронменталистике; расширение теоретических представления о категориях почвенных ресурсов, их экономической оценке и управлении; детализация знаний о качествах почв как ресурсов вообще, и др.

**Самоочищающаяся способность [ландшафта]** – а) совокупность всех процессов (физических, химических, биологических), направленных на восстановление первоначальных свойств [ландшафта или отдельных его элементов], б) способность педоэкосистемы (биогеоценоза) освобождаться от поллютантов и вредных агентов со скоростью, исключающей какое-либо вредное действие для системы.

**Санитарно-гигиеническое состояние почв и грунтов** – совокупность физико-химических, химических и биологических свойств почв и грунтов, определяющих качество и степень их безопасности в санитарно-эпидемиологическом отношении. *Показатели санитарно-гигиенического состояния* почв – комплекс санитарно-химических, микробиологических, гельминтологических, энтомологических характеристик почвы, установленный действующими на территории РФ СанПиН и ГН.

**Система** – целостность, обусловленная функциональным взаимодействием входящих в нее частей, и свойства системы складываются как из

свойств, составляющих ее частей, так и определяются характером взаимодействия между этими частями – связями между ними. Поэтому, познав свойства частей системы, невозможно понять и предсказать ее поведение.

**Студни** – структурированные гомогенные системы, заполненные жидкостью, каркас которых образован молекулами высокомолекулярных соединений.

**Супрамолекулярные соединения.** В термине «супрамолекулярные соединения» оба слова являются ключевыми. Термин «супрамолекулярный» означает, что соединения возникают за счет нековалентных связей, а термин «соединения» содержит информацию о том, что это не смеси, а образования, имеющие определенные состав и структуру. Как любые соединения они возникают не из всякого набора компонентов, и если в смеси органических веществ возможно образование супрамолекулярных соединений, то они могут образоваться из части органических молекул смеси, а остальные органические молекулы останутся свободными. Супрамолекулярные соединения делятся на две группы – супермолекулы и супрамолекулярные ансамбли. *Супрамолекулярные ансамбли* имеют определенную структуру и соотношение между образующими их молекулами. Размер и соответственно количество образующих их молекул может меняться. Типичным представителем супрамолекулярных ансамблей являются мембраны. *Супермолекулы* – соединения, имеющие четкий состав и структуру.

**Супрессивность почвы** – атрибут почвенного здоровья, обусловленный совокупным действием биологических, физико-химических и агрохимических ее свойств, обеспечивающих развитие почвенных супрессоров –антагонистической микробиоты (ингибирующей, паразитарной, конкурентной) –подавляющих выживаемость и паразитизм факультативных фитопатогенов в критические для них периоды.

**Фрактальная структура** – (от лат. *fractus* - дробный, ломанный) структура, которая обладает свойством самоподобия, т.е. состоит из таких фрагментов, структурный мотив которых повторяется при изменении масштаба. Важным отличительным признаком фрактальной структуры является самоподобие: каждый фрагмент фрактальной структуры повторяется при изменении масштаба. Фрактальную структуру характеризует значение степени заполненности пространства структурой (размерность), которая не является целой величиной. Так,  $n$ -мерные фракталы занимают промежуточное положение между  $n$ -мерными и  $n+1$ -мерными объектами. В природных фракталоподобных структурах, в отличие от регулярных фракталов, отсутствует дробная размерность, а самоподобие наблюдается только до определенного масштаба. Природными примерами объектов со структурой, напоминающей фракталы, являются кучевые облака, кроны деревьев, молнии. Геометрия некоторых наносистем, например, молекул дендримеров и фрактальных кластеров, с хорошей точностью описывается с по-

мощью рекурсивных функций, что позволяет моделировать их микро- и макроскопические свойства.

**Фунгистазис почвенный** – свойство здоровой почвы препятствовать прорастанию и развитию инфекционных структур фитопатогенных микромицетов.

**Экологическая ёмкость почвы** – потенциальное плодородие почвы, обеспечиваемое оптимальным функционированием её геобионтов, наземных (автотрофных, гетеротрофных, миксотрофных) организмов, продуктивность и плотность популяций которых ограничивается экологическими ресурсами конкретного биотопа.

**Экологическая устойчивость почвы** – характеристика здоровья почвы, оцениваемая оптимумом её биологического разнообразия (генофонда), способностью самоочищения от загрязняющих веществ и супрессивностью в отношении чужеродной паразитной биоты – санитарно-показательной, фитопатогенной.

**Экологически дестабилизированный почвенный покров** - как правило, формируется тогда, когда современные, преимущественно антропогенные и краткосрочные быстротекущие тренды эволюции/изменения почв идут вразрез с преобладающим долговременным («длительнопроизводным») природным трендом эволюции почвенного покрова региона. Антропогенное вмешательство приводит к тому, что почвы приобретают новый, до конца не сформированный облик, неравновесный с природным. Естественный тренд эволюции прерывается, возникает новый, связанный с антропогенными воздействиями. В случаях наиболее сильного проявления антропогенно инициированных процессов (например, эрозии и дегумификации) могут возникать необратимые изменения, связанные с потерей характерных для естественных почв облика и свойств. Дестабилизированный почвенный покров в большинстве случаев хорошо диагностируется по высокой мозаичности и комплексности, не явно связанной с литогенной или топогенной неоднородностью.

**Экологические функции почв** - свойства почв, которые влияют на условия жизни растений, животных и микроорганизмов, на жизнедеятельность человека, а также на состав и состояние гидросферы, литосферы, и в целом биосферы. Например: плодородие, очищение атмосферы, вод, закрепление земной поверхности, депонирование биофильных элементов и их соединений, банк биоинформации, поддержание биоразнообразия и другие.

**Экологическое образование** – непрерывный процесс обучения, самообразования, накопления опыта и развития личности, направленный на формирование ценностных ориентаций, норм поведения и получение специальных знаний по охране окружающей природной среды и природопользованию, реализуемых в экологически грамотной деятельности. В современном понимании содержание полного экологического образования

должно включать следующие разделы: основные сведения по общей экологии (реакции организмов, популяций и сообществ на факторы внешней среды, а также внутривидовые процессы и закономерности развития сообществ); учение о биосфере, круговороте веществ, эволюции биосферы; демографические закономерности роста численности человечества; основные этапы эволюции хозяйственной деятельности человечества; знакомство с основными научными прогнозами дальнейшего развития человечества в связи с ограниченностью природных ресурсов и опасностью снижения устойчивости биосферы в результате значительного антропогенного нарушения природных механизмов саморегуляции, уменьшения биологического разнообразия; анализ проблемы исчерпаемости невозобновимых ресурсов, возможностей ресурсосберегающих технологий; энергетические ресурсы и проблема глобального изменения климата Земли в результате дальнейшего увеличения энергопотребления; стратегия экономии энергии; проблема загрязнения окружающей среды, неблагоприятной воздействия на экосистемы и здоровье людей; способы снижения загрязнения окружающей среды; малоотходные технологии; законодательные, экономические и организационные методы предотвращения экологического кризиса и обеспечения экологической безопасности; значение международного сотрудничества, образования и просвещения, участия общественности и роль каждого человека в решении экологических проблем; концепция устойчивого развития человечества, гармоничного сочетания экономического роста, экологической устойчивости и социального благополучия.

**Экологическое почвоведение** – направление в современном почвоведении, изучающее роль почв как уникальной среды обитания растений, животных, микроорганизмов, и особенно – в жизнедеятельности человека, в функционировании биосферы и отдельных экосистем

**Экологическое состояние почв земельного участка** – комплексная характеристика почв земельного участка, отражающая степень соответствия их фактического состояния нормативным требованиям экологически безопасного использования и функционирования.

## Сведения об авторах



**Добровольский Глеб Всеволодович** - Директор Института экологического почвоведения Московского государственного университета имени М.В.Ломоносова, академик Российской академии наук, доктор биологических наук, заслуженный профессор Московского университета. Основатель факультета почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова. Специалист в области почвоведения, географии, экологии. Автор более 600 научных публикаций, включающих монографии, учебники, почвенные карты и статьи в научной периодической литературе. Почетный член Международного союза наук о почве и Докучаевского общества почвоведов. Лауреат Государственных и Правительственных премий в области науки и образования, почетных медалей, дипломов имени выдающихся ученых.



**Андреева Ольга Валентиновна** – старший научный сотрудник Института экологического почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова, кандидат биологических наук (2002). Область научных интересов – почвоведение, эволюция почв, проблемы и деградации земель, использование материалов дистанционных исследований в картографии почв и экосистем.

Организатор нескольких международных научных конференций. Автор более 40 научных работ, в том числе карты опустынивания Российской Федерации (1:1,5 млн).



**Бессонова Елена Анатольевна** - кандидат экономических наук (1999), доцент; докторант кафедры агроэкономики экономического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова; доцент кафедры бухгалтерского учета и анализа хозяйственной деятельности Финансового университета при Правительстве РФ, филиал в г. Курске.





**Добровольская Татьяна Глебовна** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник кафедры биологии почв факультета почвоведения МГУ. Специалист в области почвенной бактериологии. Разработала новый системный подход к изучению пространственно-функциональной организации микробных сообществ почв. Обосновала принципы организации бактериальных сообществ водных и наземных биогеоценозов, исследовала роль растений и животных как центров формирования бактериоценозов. Автор нескольких монографий, посвященных анализу биоразнообразия и экологических функций почвенных бактерий.



**Ковалев Иван Васильевич** - кандидат биологических наук, научный сотрудник кафедры физики и мелиорации почв факультета почвоведения МГУ. Автор более 110 научных публикаций, монографии и 10 научно-популярных статей по почвенно-ландшафтному проектированию. Работает над проблемами диагностики гидроморфных почв, эволюции почв под влиянием заболачивания и дренажа. Развивает такие новые направления в почвоведении как биогеохимия лигнина и инженерное почвоведение. Лауреат премии Европейской академии, Немецкого общества академических обменов, руководитель дипломных работ на кафедре физики и мелиорации почв и отделении «почвенно-ландшафтного проектирования» ф-та почвоведения МГУ.



**Ковалева Наталия Олеговна** – доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник Института экологического почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова, автор 140 научных трудов, в т.ч. 6 монографий, 11 научно-популярных статей, а также учебных курсов «Инженерное почвоведение», «Почвоведение для целей ландшафтного дизайна». Область научных интересов – палеопочвоведение, эволюция и функции горных почв в биосфере, органическое вещество почв, почвенно-ландшафтный инжиниринг, исследование почв как архива палеоклиматической и палеоэкологической информации. Лауреат Медали РАН «За лучшую научную работу года» (2002), а также Немецкого фонда академических обменов, руководитель дипломных работ и кандидатских диссертаций факультета почвоведения МГУ, преподаватель Высшей Школы

ландшафтного дизайна МАРХИ.



**Куст Герман Станиславович** - заместитель директора и заведующий лабораторией почвенных ресурсов и экологического проектирования Института экологического почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова, профессор кафедры географии почв факультета почвоведения МГУ. Доктор биологических наук (1996). Консультант и эксперт ряда международных и российских организаций по вопросам управления окружающей средой и природными ресурсами, проблемам сельского хозяйства. Область научных интересов - почвоведение, экология, биогеография, динамика и эволюция почв и экосистем, дистанционные методы в почвоведении и экологии, устойчивое использование природных ресурсов, экономическая экология, экологическая экспертиза и оценка земель, экологическое образование. Автор более 180 научных трудов.



**Лысак Людмила Вячеславовна** - доктор биологических наук, доцент кафедры биологии почв факультета почвоведения Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова. Область научных интересов – экология почвенных микроорганизмов, является высококвалифицированным специалистом в области почвенной бактериологии. Ею проведено детальное исследование бактериальных сообществ природных и антропогенно нарушенных почв, изучаются бактериальные сообщества специфических почвенных локусов (гифосфера, микоризосфера базидиальных грибов, почвенные конкреции). Разработаны методы определения состояния и жизнеспособности бактерий в почвах, изучения почвенных ультрамикробактерий (наноформ).



**Макеев Александр Олегович** – ведущий научный сотрудник Института экологического почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, руководитель информационно-образовательного отдела Евразийского центра по продовольственной безопасности (Аграрного центра МГУ), директор Центра дистанционного образования Научного парка МГУ. Доктор биологических наук. Область научных интересов - палеопочвоведение, география и эволюция почв, информационное сопровождение аграрных проектов, устойчивое земледелие. Секретарь Международной комиссии по палеопочвоведению IUSS/INQUA. Член редколлегии и рецензент журналов Quaternary International, Catena и Geological Quarterly.



**Мартыненко Ирина Анатольевна** - ассистент кафедры географии почв факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова. Область научных интересов - почвоведение, география почв и почвообразующих пород, городские почвы, экологическое состояние урбанизированных территорий, экологическое образование.



**Медведева Ольга Евгеньевна** – профессор кафедры экономических измерений Государственного университета управления. Доктор экономических наук (2000). Оценщик. Член экспертного совета Российского общества оценщиков. Член Центра экологической политики. Эксперт Института устойчивого развития общественной палаты Российской Федерации. Эксперт Национального совета по оценочной деятельности. Область научных интересов – методология стоимостной оценки недвижимого имущества, экономическая оценка биологических и земельных ресурсов, экономические инструменты природопользования, экономическая оценка экологического ущерба.



**Попова Людмила Владимировна** – кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник Музея Землеведения МГУ имени М.В. Ломоносова, один из авторов и разработчиков Федерального государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования третьего поколения по направлению 022000 «Экология и природопользование» (бакалавриат и магистратура). Область научных интересов – высшее профессиональное экологическое образование, биологическое природопользование и экологическое просвещение.



**Рахлеева Анна Алексеевна** - старший преподаватель, кандидат биологических наук, заместитель декана по дополнительному образованию факультета почвоведения МГУ им. М.В.Ломоносова. Область научных интересов - почвенная зоология: структурно-функциональная организация почвенной фауны природных и урбанизированных ландшафтов.



**Розов Сергей Юрьевич** - старший научный сотрудник кафедры общего почвоведения факультета почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова. Кандидат биологических наук (1989). Область научных интересов - почвоведение, экология, дистанционные методы в почвоведении и экологии, экологическая экспертиза, агро-экологическая оценка почв и земель.



**Рыхликова Марина Евгеньевна** - старший научный сотрудник Института экологического почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова. Кандидат биологических наук (1988). Область научных интересов - экология, охрана окружающей среды, экологическое образование и просвещение, применение информационных технологий и инноваций в экологическом образовании. Организатор и руководитель Российского телекоммуникационного проекта "Экологическое Содружество", объединившего более 250 коллективных участников из России и СНГ. Одна из организаторов Всероссийской Олимпиады школьников "Ломоносов" по экологии. Участвовала в разработке и реализации российских и международных программ, направленных на развитие системы экологического образования и охраны природы. Награждена Почетным дипломом Высшего экологического совета Государственной Думы и Российского экологического союза "За развитие экологического образования в Российской Федерации".



Санаев Виктор Георгиевич - ректор Московского государственного университета леса, профессор (2002), доктор технических наук (1997). Имеет более 100 научных работ по различным проблемам лесного комплекса. Область научных интересов: высшее профессиональное образование в области лесного дела, древесиноведение. Председатель Совета Учебно-методического объединения по образованию в области лесного дела, академик-секретарь Секции агропромышленного и лесного комплекса Международной академии наук высшей школы, действительный член Международной академии наук о древесине (International Academy of Wood Science).



Смагин Андрей Валентинович - профессор (2007), доктор биологических наук (2004). Окончил МГУ в 1987г., стажировался в США (1990). Профессор кафедры физики и мелиорации почв ф-та почвоведения МГУ, зав. энергомассообмена в почвах и экосистемах Института экологического почвоведения МГУ. Автор и соавтор около 200 научных работ, включая 11 монографий. Развивает фундаментальное биогеофизическое направление, рассматривающее на количественном уровне процессы и модели природной и антропогенной организации динамических биокосных систем. Руководитель и ответственный исполнитель более 20 исследовательских проектов РФФИ, федеральных программ «Интеграция», «Университеты России», ОБН-РАН «Биоресурсы России», Президиума РАН «Биоразнообразие», Московского правительства. Лауреат премий Европейской Академии (1997) и РАН (2000), грантов «Доктора наук РАН» (2005, 2006), премии им. И.И. Шувалова 1ст. (2004), Национальной экологической премии (2009). Православный христианин. Женат, имеет двух сыновей.



**Соколов Михаил Сергеевич** - академик РАСХН (1997), доктор биологических наук (1983), профессор (1987). Научный консультант Компании «МикроБио» (Москва); зам. гл. редактора научно-производственного журнала "Агро XXI" МСХ РФ, ж. "Агрохимия" РАН, член редсовета ж. "Вестник защиты растений", член Бюро Отделения «Защита и биотехнология растений» РАСХН, член Технического комитета №447 Фед. Агентства по тех. регулированию и метрологии «*Биологическая безопасность пищевых продуктов, кормов и товаров народного потребления и методы ее контроля*». Участвовал в реализации экологических программ СЭВ, ЮНЕСКО «Человек и биосфера», МНТЦ. Член специализированных советов по защите докторских диссертаций по специальностям «Экология» и «Защита растений». Подготовил 7 кандидатов и трех докторов наук. Автор 15 авторских свидетельств и патентов, более 400 научных работ, в т.ч. 10 монографий и брошюр. Научные интересы: экология, экологическая токсикология, защита растений, почвоведение, агрохимия.



**Степанов Алексей Львович** - профессор кафедры биологии почв факультета почвоведения МГУ, доктор биологических наук. Область научных интересов – почвоведение, микробиология, биотехнология, экология микроорганизмов, парниковые газы, микробное образование и поглощение парниковых газов в почвах, микробная трансформация азота в почвах, биологическая активность гуминовых кислот.



**Федотов Геннадий Николаевич** - старший научный сотрудник Института экологического почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, доктор биологических наук (2006), кандидат химических наук (1984), старший научный сотрудник по специальности физическая химия (1987). Эксперт РФФИ по почвоведению. Научные интересы: почвы, почвенные коллоиды, гумусовые вещества, супрамолекулярная организация гумусовых веществ, почвенные гели, наноструктурная организация почв.



**Чернов Иван Юрьевич** - заведующий кафедрой биологии почв факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, зав. лабораторией биоразнообразия и экологии почв Института экологического почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, член-корреспондент РАН (2006). Специалист в области экологии, биологии почв, микологии. Основные работы посвящены таким проблемам, как роль видового разнообразия в формировании и функционировании сообществ, ценотические связи микро- и макроорганизмов, закономерности географического, в том числе широтно-зонального распределения почвенных микроорганизмов, а также методологии и методике синэкологических исследований, применению информационных и компьютерных технологий в анализе биоразнообразия.



**Шалаев Валентин Сергеевич** - директор Института системных исследований леса Московского государственного университета леса, профессор (2002), доктор технических наук (1995). Руководитель и исполнитель ряда международных и российских проектов по различным вопросам лесного комплекса. Область научных интересов - почвоведение, мониторинг и устойчивое развитие лесных и урбоэкосистем, морфологические особенности древесины.

Научное издание

# ПОЧВЫ В БИОСФЕРЕ И ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА

Коллективная монография

Ответственные редакторы

академик РАН Г.В.Добровольский

д.б.н. Г.С.Куст

д.т.н. В.Г. Санаев

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М.В.ЛОМОНОСОВА

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ЛЕСА

Институт экологического почвоведения МГУ

119991, Москва, Ленинские горы, д.1

Тел (495) 939 3774

Верстка Ю.П. Батырева, Н.В.Коркиной

Отпечатано с готового оригинал-макета

Издательство

Лицензия

Подписано к печати 23.03.2012 г.

Формат 60 x 90 1/16. Усл. печ. л. 37,5. Тираж 500 экз. Заказ УУУ.

119992, Москва, Ленинские горы, д.1.

Тел.: (495) 939 37 74