

ISSN 1561-1124

МАТЕРИАЛЫ
ПО
ИЗУЧЕНИЮ РУССКИХ ПОЧВ

ВЫПУСК 9 (36)



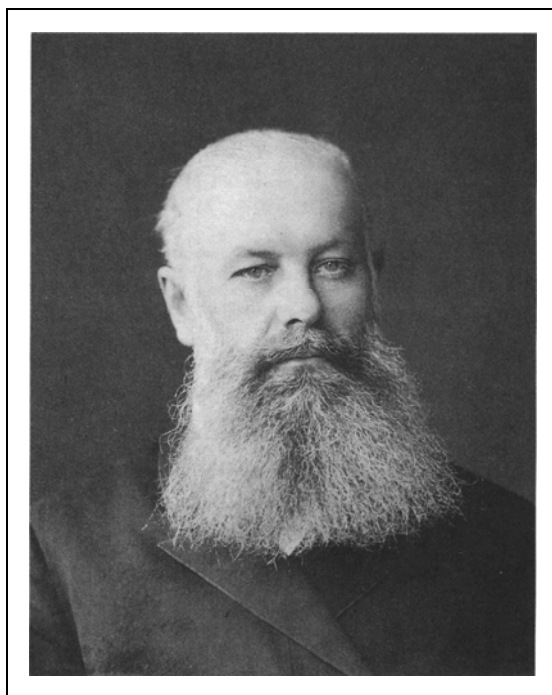
Санкт-Петербург
2017

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА ПОЧВОВЕДЕНИЯ И ЭКОЛОГИИ ПОЧВ
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ МУЗЕЙ ПОЧВОВЕДЕНИЯ ИМ. В.В.ДОКУЧАЕВА

МАТЕРИАЛЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ РУССКИХ ПОЧВ

ВЫПУСК 9 (36)

Издание основано в 1885 г.
А.В. Советовым и В.В. Докучаевым



Санкт-Петербург
2017

УДК 631.4
ББК 40.3
М34

Редакционная коллегия: *Б.Ф. Апарин (председатель), Г.А. Касаткина, Е.Ю. Максимова, Н.Н. Матинян, Я.В. Мерзлякова, Е.В. Мингареева, А.И. Попов, О.В. Романов, А.В. Русаков, А.Г. Рюмин, Е.Ю. Сухачева, Н.Н. Федорова, С.Н. Чуков, А.А. Шешукова, И.В. Штангеева*

Материалы по изучению русских почв. Вып. 9 (36): Сб. науч. докл. / Под ред. М34 Б.Ф. Апарина. – СПб, 2017. – 324 с.

В очередном, девятом, выпуске «Материалы по изучению русских почв» (вып. 8 (35) вышел в 2014 г.) представлены доклады участников XVIII Докучаевских молодежных чтений «Деградация почв и продовольственная безопасность России» (2015 г., СПб) и XIX Докучаевских молодежных чтений «Почва – зеркало ландшафта» (2016 г., СПб), а также материалы Международного семинара «Организация почвенно-экологического мониторинга с использованием почвенных монолитов» / «Методы организации научно-просветительской деятельности в области почвоведения» (2015 г., СПб).

Материалы посвящены широкому кругу проблем почвоведения: генезису, географии, экологии, охране, плодородию почв, рациональному использованию природных ресурсов, пропаганде достижений почвоведения среди широких слоев населения.

Работы представляют интерес для студентов и ученых, работающих в области наук о Земле, экологии, агрохимии, биологии и сельского хозяйства.

ББК 40.3

Материалы опубликованы при поддержке РФФИ
грант № 17-34-10010 мол_г



© Центральный
музей почвоведения
им. В.В. Докучаева, 2017

Материалы Международного семинара

**«Организация почвенно-экологического мониторинга с использованием почвенных монолитов» /
«Методы организации научно-просветительской
деятельности в области почвоведения»**

5–10 августа 2015 г.

Международный семинар «Организация почвенно-экологического мониторинга с использованием почвенных монолитов» /«Методы организации научно-просветительской деятельности в области почвоведения», посвященный Международному году почв, был проведен в период с 5 по 10 августа 2015 г в Центральном музее почвоведения им В.В. Докучаева (г. Санкт-Петербург).

Организаторами семинара являлись: ФГБНУ Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева; Federation of Eurasian Soil Science Societies; Отделение Аграрных Наук НАН Азербайджана; Общество Почвоведов Грузии; ОО «Общество почвоведов, агрохимиков и агроэкологов» Казахстана; Университет Ондокуз Майис, Самсун, Турция; Университет Орду, Турция.

Основные задачи семинара:

– обмен опытом организации почвенно-экологического мониторинга с использованием почвенных монолитов и научно-просветительской деятельности в России и зарубежных странах;

– решение вопросов организации научно-просветительской деятельности с целью популяризации почвоведения.

Приглашения на семинар были разосланы по ведущим почвенным институтам, отделением обществ почвоведов различных регионов России и стран СНГ. Информация была размещена на сайтах музей-почвоведения.рф и почвовед.рф.

В семинаре приняли участие профессора, ведущие специалисты из Азербайджана, Казахстана, Армении, Болгарии, России.

Программа семинара включала проведение следующих мероприятий:

1. Заседание рабочей группы по темам: «Организация почвенно-экологического мониторинга с использованием почвенных монолитов», «Методы организации научно-просветительской деятельности в области почвоведения».

На заседании были заслушаны следующие доклады:

Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю. (СПбГУ, ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева, Россия, Санкт-Петербург).

«Коллекция почвенных монолитов как основа организации мониторинга почв».

Gasimzade T.E. (Department of Agrarian Sciences of ANAS, Azerbaijan, Baku)

«Action of soil elements on plant growing».

Макеев А.О. (Евразийский Центр по Продовольственной Безопасности МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, Москва).

«Перспективы развития системы непрерывного дистанционного образования в области экологии, почвоведения и продовольственной безопасности в Евразийском регионе».

Мартынова Н.А (Иркутский государственный университет, Россия, Иркутск).

«Мониторинг почвенного разнообразия байкальской Сибири и его отражение в коллекциях Восточно-сибирского музея почвоведения».

Енакиев Ю.И. (ИПАЗР «Никола Пушкарлов», Болгария, София).

«Разработка органо-минеральных удобрений для экологического земледелия».

Сухачева Е.Ю. (ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева, СПбГУ, Россия, Санкт-Петербург).

«Международный год почв 2015».

Nasirov R.M. (U.U. Uspanov Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry, Kazakhstan, Almaty).

«Soil museum. U.U. Uspanov Kazakh Research Institute of Soil Science and Agrochemistry, Kazakhstan, Almaty».

Чупрова В.В., Ульянова О.А., Кураченко Н.Л., Демьяненко Т.Н. (Красноярский ГАУ, Россия, Красноярск).

«Рациональное и эмоциональное в организации научно-просветительской деятельности почвоведов Красноярского ГАУ».

Чигалейчик Е.Д. (ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева, Россия, Санкт-Петербург).
«Рекреационно-познавательные формы работы со старшеклассниками в ЦМП им. В.В. Докучаева».

Русакова Е.А. (ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева, Россия, Санкт-Петербург).
«Формы и методы научно-просветительской деятельности ЦМП им. В.В. Докучаева».

2. Обзорная экскурсия по Центральному музею почвоведения им. В.В. Докучаева.

3. Посещение музейного комплекса, работающего в структуре ГУП Водоканал Санкт-Петербурга «Вселенная воды».

4. Посещение Смоленского кладбища и возложение цветов на могилу основателя науки о почве и Центрального музея почвоведения – В.В. Докучаева.

5. Культурная программа. Всем участникам семинара предоставлялась возможность познакомиться с историей, культурой «города на Неве». В программу входило посещение основных достопримечательностей и музеев г. Санкт-Петербург.

Сотрудниками ЦМП им. В.В. Докучаева была сделана презентация, которая включала рассказ:

– об истории и экспозиции музея – системе тематических научно-художественных комплексов, включающих: живописные полотна, скульптуру, натурные экспонаты, почвенные монолиты, диорамы, макеты;

– о научной и научно-просветительской деятельности – проведение экскурсий, дней рождения, лекций и практических занятий со студентами;

– об участии музея в организации и проведении различных научных конференций, мероприятий, таких как: акция «Ночь музеев», фестиваль «Детские дни в СПб», «Большая регата»;

– о выполнении музеем исключительно важной миссии – воспитание бережного отношения к почве-земле – основе национального богатства России.

Также была показана богатейшая коллекция почвенных монолитов ЦМП им. В.В. Докучаева, демонстрирующая почвы различных природных зон и стран мира.

Ниже представлены избранные доклады, которые были заслушаны на конференции.

Отв. секретарь
Лазарева М.А.

СТУДЕНЧЕСКОЕ НАУЧНОЕ ОБЩЕСТВО
КАК МЕТОД ОРГАНИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ

О.А. Анциферова

ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»,
кафедра агропочвоведения и агроэкологии, Россия, г. Калининград, anciferova@inbox.ru

STUDENT SCIENTIFIC SOCIETY AS A METHOD OF RESEARCH OF SOIL

O.A. Antsiferova

Kaliningrad State Technical University,
Department of Soil Science and Agroecology, Russia, Kaliningrad, anciferova@inbox.ru

В современных социальных и экономических условиях функционирования университетов, эффективным методом организации научных исследований, популяризации и просвещения в области знаний о почвах, являются студенческие научные общества. Такой опыт практикуется в ФГБОУ ВПО «КГТУ» с 2004 г., однако, в последние годы, в связи с переходом на бакалавриат, метод стал особенно актуальным в плане подготовки квалифицированных кадров для сельскохозяйственного производства и дальнейшего обучения в магистратуре. Знакомство студентов с научными исследованиями осуществляется на втором курсе в период чтения курса «Общее почвоведение». После получения опыта полевых и аналитических работ создаются научные коллективы из числа заинтересованных в исследованиях студентов-дипломников на период 2 года. Студенты подключаются к теоретическим и прикладным направлениям исследования региональных почв по выработанному плану. В настоящее время на кафедре агропочвоведения и агроэкологии «КГТУ» работает научное общество «ГЕОС», включающее 12 студентов 3–4-х курсов направления «Агрохимия и агропочвоведение». Цель: привлечение студентов к научным исследованиям по актуальным направлениям – почвоведения, агрофизики, агроэкологии и фитоценологии, и получение навыков экспедиционных и аналитических работ. За период 2014–2015 гг. научной группой под руководством к.с.-х.н., доц. Анциферовой О.А. выполнен проект «Агроэкологический мониторинг почв Зеленоградского района Калининградской области», включающий ряд направлений: 1) гидрологические особенности и сезонная динамика влажности осушаемых почв в агроландшафтах; 2) оценка почв для пригодности под нулевую и минимальную обработку; 3) влияние почвенных и гидрологических факторов на структуру урожая озимой ржи и ячменя; 4) агроэкологический анализ засоренности полей с учетом степени гидроморфизма почв [1–7].

Научные исследования предполагают интенсивную полевую и лабораторную деятельность и позволяют, наряду с обучением, раскрыть возможности и способности каждого студента, воспитать: чувства коллективизма, взаимопомощи, ответственности, коммуникабельности, понимание специфики профессиональной деятельности. В период работы коллектива происходит тесный контакт преподавателя и студентов, совместные дискуссии, что позволяет лучше понять современное поколение студентов. Обязательная апробация результатов исследований в форме выступлений на конференциях разного уровня, публикации статей, формируют у студентов значимость и ценность личного вклада в почвоведение. Поэтому работа студенческого научного общества ориентирована на высокий научный уровень исследований. Иерархия, складывающаяся в коллективах, объединяющих студентов разных курсов, обеспечивает: преемственность, передачу научных знаний и «профессиональный рост». В условиях университета студенческие научные общества – это, на наш взгляд, единственный способ организации действительно комплексных почвенно-экологических исследований и мониторинга, требующих слаженных действий целого коллектива под единым руководством.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Анциферова О.А.* Оценка потерь урожая ячменя от лимитирующих факторов в условиях нулевой обработки почвы /О.А. Анциферова, О.В. Васильева // *Аграрная Россия*. 2014. № 6. С. 12–14.
2. *Васильева О.В.* Применение нулевой обработки почвы при выращивании ячменя в условиях холмистого рельефа Калининградской области /О.В. Васильева // *Студенческая научно-техническая конференция КГТУ: материалы*. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. – С. 17–18.
3. *Колестро Е.В.* Экологический аспект в исследовании засоренности полей / Е.В. Колестро, Н.И. Терехова // *Материалы XVIII Докучаевских молодежных чтений «Деградация почв и продовольственная безопасность России» 2–5 марта 2015*. – Санкт-Петербург, 2015. – С. 113–114.
4. *Сидоренко Е.В.* Оценка зарастания земель сельскохозяйственного назначения Гвардейского района Калининградской области с использованием методов дистанционного зондирования / Е.В. Сидоренко // *Студенческая научно-техническая конференция КГТУ: материалы*. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. – С. 19–20.
5. *Терехова Н.И.* Фитосанитарная оценка и продуктивность озимой ржи на эродированных буроземах / Н.И. Терехова // *Материалы межвузовской научно-технической конференции курсантов и студентов 6 – 17 апреля 2015*. Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2015. – С. 61 – 65.
6. *Шерпитис Д.С.* Причины изреживания всходов озимой ржи на эродированных почвах в условиях холмистого агроландшафта / Д.С. Шерпитис // *Студенческая научно-техническая конференция КГТУ: материалы*. – Калининград: ФГБОУ ВПО «КГТУ», 2014. – С. 20–21.
7. *Шерпитис Д.С.* Режим влажности и плодородие эродированных супесчаных буроземов Калининградской области / Д.С. Шерпитис, Н.И. Терехова // *Материалы XVIII Докучаевских молодежных чтений «Деградация почв и продовольственная безопасность России» 2–5 марта 2015*. – Санкт-Петербург, 2015. – С. 171–172.

ПОЧВЫ АРМЕНИИ В УСЛОВИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА И ОПУСТЫНИВАНИЯ

У.К. Казарян, Н.М. Манукян

Филиал Национального аграрного университета Армении «Научный центр почвоведения, агрохимии и мелиорации им. Г. Петросяна», Армения, Ереван

ghazaryan_soil@yahoo.com; manukyan.am@mail.ru

SOILS OF ARMENIA IN THE CONDITIONS OF CLIMATE CHANGE AND DESERTIFICATION

H.Gh. Ghazaryan, N.M. Manukyan

Armenian National Agrarian University Branch «Scientific Center of Soil Sciences,
Agrochemistry and Melioration after Hrant Petrosyan», Armenia, Yerevan

ghazaryan_soil@yahoo.com; manukyan.am@mail.ru

Армения – небольшая горная страна с ограниченными почвенными ресурсами. Территория составляет 29743 км², средняя высота – 1800 м н. у. м., около 90 % территории расположено выше 1000 м н. у. м. Почвенный покров развит на территории 261600 км², при этом, изрезанность рельефа, разнообразие природно-климатических и геоморфологических условий обусловили значительную пестроту почвенного покрова. Всего в Армении выделяется 14 генетических типов, множество подтипов, родов, видов и разновидностей почв (всего – 228) [1, 4].

Годовые осадки на Араратской равнине и в предгорных районах составляют 200–400 мм, в среднегорных районах 600–700 мм, в высокогорных – 800–900 мм. Испарение на Араратской равнине и в предгорных районах составляет 1100–1200 мм, а в горных районах снижается до 300–500 мм. В целом, более 50 % территории республики расположено в засушливой зоне, где коэффициент влагообеспеченности ниже единицы.

Описанные условия делают почвы Армении крайне чувствительными к глобальному изменению климата и к явлениям опустынивания.

Одним из последствий изменения климата является перемещение границ природно-ландшафтных поясов вверх по горному профилю, что прогнозировалось (на основе геоботанического анализа) еще в 1-м Национальном сообщении Республики Армения Рамочной конвенции ООН об изменении климата [3]. Наблюдения последних десятилетий за изменениями почвенного покрова показали, что этот процесс уже происходит (таблица). При этом, имеет место перераспределение площадей, занимаемых разными поясами, с увеличением территорий нижележащих более засушливых поясов.

Таблица. Перемещение природно-почвенных поясов по горному профилю.

Природно-почвенные пояса	Высота над у. м.		Изменения занимаемых площадей, %
	1985 г.	2013 г.	
Полупустынный	850–1250	850–1370	30
Сухой горно-степной	1250–1900	1275–1950	7.7
Горно-степной	1300–2450	1350–2500	–4.3
Горно-лесной	500–2400	500–2400	0
Горно-луговой	2200–4095	2250–4095	–2.6

Как следствие изменений климата и нерационального использования земельных ресурсов, в Армении около 80 % земель характеризуются признаками опустынивания и различным уровнем деградации. Одним из признаков деградации почв является уменьшение количества органического углерода и гумуса. На протяжении последних десятилетий происходило заметное снижение этих показателей в большинстве типов почв страны [2].



Рисунок. Изменения содержания органического углерода в верхнем слое почвы.

Как видно из рисунка, содержание органического углерода с 1987 по 2013 г. резко сократилось в большинстве типов почв. Параллельно происходило сокращение содержания гумуса. За тот же период количество гумуса в верхнем (0–25 см) слое в полупустынных бурых почвах сократилось на 10–15 %, а в каштановых и в черноземах – на 15–20 %. Процесс, однако, почти не затронул горно-луговые почвы, где климат и антропогенные факторы остаются почти неизменными, и где сокращение содержания как углерода, так и гумуса, было крайне незначительным.

Наряду с процессами дегумификации почв, в Армении, вследствие нерационального земле- и водопользования, наблюдается целый спектр других явлений опустынивания и деградации земель: угнетение и истощение, водная эрозия и дефляция, образование уплотненных и деструктурированных слоев, вторичное засоление, иссушение, местами – переувлажнение и заболачивание, затопление террас первого уровня (близ водохранилищ), подъем грунтовых вод у рыбопроизводных хозяйств, загрязнение и химическое отравление земель и вод, и т. д.

Смягчение последствий изменений климата, преодоление процессов опустынивания и деградации земель требуют разработки и внедрения комплекса мер по рационализации земле- и водопользования, скоординированной деятельности всех заинтересованных хозяйствующих субъектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эдилян Р.А., Петросян Г.П., Розов Н.Н. (ред.). Почвы Армянской ССР. Ереван, Изд-во «Айастан», 1976, 31 с.
2. *Armenia's Third National Communication on Climate Change*. Yerevan, «Lusabats» Publ. House, 2015, 165 p.
3. *First National Communication of the Republic of Armenia under the United Nations Framework Convention on Climate Change*. Yerevan, «Tigran Mets» Publ. House, 1998, 66 p.
4. Ghazaryan H. Soils of Armenia. In: Yu. Yigini, P. Panangos, L. Montarella (eds.). *Soil Resources of Mediterranean and Caucasus Countries. Extension of the European Soil Database*. Luxemburg, Publ. office of the EU, 2013: 5–16.

ДЕЙСТВИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЧВЫ НА РОСТ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Т.Э. Касимзаде

Отделение Аграрных Наук НАН Азербайджана, Азербайджан, Баку

nushana_kasimova@yahoo.com

ACTION OF SOIL ELEMENTS ON PLANT GROWING

T.E. Gasimzadeh

Department of Agrarian Sciences of ANAS, Azerbaijan, Baku

nushana_kasimova@yahoo.com

Почва состоит из минеральной и органической (гумуса) частей. Минеральная часть составляет от 90 до 99 % и более от всей массы почвы. В ее состав входят почти все элементы периодической системы Д.И. Менделеева. Однако, основными составляющими минеральной части почв являются связанные соединения: кислород, кремний, алюминий и железо. Эти четыре элемента занимают около 93 % массы минеральной части. Гумус является основным источником питательных веществ для растений. Благодаря жизнедеятельности населяющих почву микроорганизмов происходит минерализация органического вещества с освобождением в доступной для растений форме азота, фосфора, серы и других необходимых для растений химических элементов. Органическое вещество оказывает большое влияние на формирование почв и изменение ее свойств. При разложении органических веществ почвы выделяется углекислый газ, который пополняет приземную часть атмосферы и ассимилируется растениями в процессе фотосинтеза. Однако, какой бы богатой питательными веществами ни была почва, при возделывании сельскохозяйст-

венных растений, рано или поздно, она начинает истощаться. Поэтому для поддержания плодородия в нее необходимо вносить питательные вещества (удобрения) органического или минерального происхождения. Кроме того, что удобрения дают растениям питательные вещества, они улучшают физические, физико-механические, химические и биологические свойства почв. Органические удобрения в значительной степени улучшают водно-воздушные и тепловые свойства почв. Способность почвы поглощать пары воды и газообразные вещества из внешней среды является ее важной характеристикой. Благодаря этой способности почва задерживает влагу, а также аммиак, образующийся в результате разложения органических веществ и служащий важным питательным веществом [1, 5]. Для развития и роста растению необходимо много различных химических элементов. Наибольшее значение для питания растений имеют: соли калия, кальция, магния, железа и кислот – азотной, фосфорной, серной и угольной [3]. Их растения берут, главным образом, из почвы. С наибольшей скоростью почва теряет азот, фосфор и калий. Эти химические элементы усваиваются растениями в наибольшем количестве и поэтому для поддержания плодородия полей в почву необходимо вносить соответствующие удобрения.

В мире минеральные удобрения, в состав которых входят микроэлементы (марганизированный суперфосфат), или специальные микроудобрения, начали применять сравнительно недавно. Спрос на минеральные удобрения быстро увеличивается, так, что их мировое потребление с начала текущего столетия удваивается за каждые десять лет.

По современным данным, более 30 микроэлементов считаются необходимыми для жизнедеятельности растений и животных. Большинство микроэлементов – металлы (Fe, Cu, Ni, Mn, Zn, Mo, Co и др.), некоторые – неметаллы (I, Se, Br, F, As) [2]. Наибольшее значение имеют микроэлементы – медь, кобальт, марганец, цинк, йод [4]. Микроэлементы в почвах входят в состав разных соединений, большая часть которых представлена нерастворимыми или труднорастворимыми формами и лишь небольшая – подвижными формами, усваиваемыми растениями. На подвижность микроэлементов и их доступность растениям большое влияние оказывают: кислотность почвы, влажность, содержание органического вещества и другие условия. Содержание микроэлементов в почвах различных типов неодинаково.

Недостаток или избыток микроэлементов в почве приводит к дефициту или избытку их в растительном и животном организмах. При этом, происходят изменения характера накопления, ослабление или усиление синтеза биологически активных веществ, перестройка процессов межсуточного обмена, выработка новых адаптаций, или развиваются расстройства, ведущие к так называемым эндемическим заболеваниям человека и животных. Микроэлементы участвуют в деятельности ферментов, гормонов, витаминов и других веществ, регулирующих важные физиологические функции живых организмов.

Нами были проведены исследования химического состава некоторых типов почв Шамахинского района Азербайджана рентгеноспектральным методом в Институте Геологии НАНА. Было определено содержание: натрия, магния, алюминия, меди, фосфора, углерода, калия, кальция, титана, марганца, железа. Наиболее высокое содержание Al и Si наблюдалось у горно-лесолуговых выщелоченных и горно-луговых карбонатных плотно-дерновых почвах.

Компонентный состав почв с глубиной меняется незначительно. В среднем, данные показатели достаточны для нормального роста и развития растительности на указанных почвах в данном районе и близки к общепринятым стандартам.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Виноградов А.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах, 2 изд., Микроэлементы, 1957.
2. *Ковальский В., Андрианова Г.* Микроэлементы в почвах СССР, Микроэлементы, 1970.
3. *Ковальский В., Раецкая Ю., Грачева Т.* Микроэлементы в растениях и кормах, Микроэлементы, 1971.

4. Мамедов Г.Ш. Содержание микроэлементов в кормовых растениях, почвах и их значение в бонитировке почв, Мат. III респ. науч.-техн. конф. «Химия и с/х», Баку, 1981.
5. Школьник Я. Значение микроэлементов в жизни растений и в земледелии, Микроэлементы – Л., 1950.

МОНИТОРИНГ ПОЧВЕННОГО РАЗНООБРАЗИЯ БАЙКАЛЬСКОЙ СИБИРИ И ЕГО ОТРАЖЕНИЕ В КОЛЛЕКЦИЯХ ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МУЗЕЯ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

Н.А. Мартынова

Иркутский государственный университет, Россия, г. Иркутск, natamart-irk@yandex.ru

SOILS DIVERSITY MONITORING OF BAIKAL SIBERIA AND IT REFLECTION AT EAST-SIBERIAN MUSEUM OF PEDOLOGY

N.A. Martynova

Irkutsk State University, Russia, Irkutsk, natamart-irk@yandex.ru

Для сохранения уникальных ландшафтов Байкальской Сибири, использования их в природоохранных, рекреационных, просветительских и научных целях, необходим мониторинг почвенного разнообразия, свойств почв, их экологической устойчивости, распространения, уникальности и т.п.

Бассейны озер Байкал и Хубсугул относятся к одним из наиболее крупных геохимических макроландшафтных сопряжений каскадных ландшафтно-геохимических систем (КЛГС), связанных между собой через р. Селенгу и ее приток – р. Эгийн-гол (исток оз. Хубсугул). Исследование Байкало-Хубсугульской природной территории (БХПТ) весьма актуально в связи с выполнением международных обязательств по сохранению участка мирового наследия и разработки принципов нормирования нагрузок на геосистемы БХПТ. Здесь создана система ООПТ: заповедников, национальных парков, заказников и различных природных и исторических памятников, как на российской стороне, так и в Монголии.

Разнообразие растительности высотных зон в сочетании с разнообразием пород обуславливают большое разнообразие почв. Один из важнейших уровней в каскадных ландшафтно-геохимических системах БХПТ занимают таежно-степные пространства вместе с нивальными высокогорными комплексами, характеризующиеся своим комплексом почвообразовательных и экзогенных процессов, на которые в значительной степени влияют экспозиционно-высотное расположение и исходный состав материнской основы. Древность тектонических структур и сложность геологической истории обусловила разнообразие петрографического состава горных пород, часто выступающих на поверхность и принимающих участие в почвообразовании. Наиболее древние породы – гранитоиды Приморского комплекса протерозоя (возраст 1800–1900 млн лет) и метаморфические породы Приольхонья.

Среди почв лесного пояса, представленного в основном сосновыми и лиственничными мохово-кустарничковыми лесами, были выделены: подбуры (дерново-, торфяно-), буроземы, дерново-подзолистые, подзолы, ржавоземы, серогумусовые, темногумусовые, серые, литоземы, петроземы. «Неоподзоленность» или слабая оподзоленность почв рассматриваются как одна из провинциальных особенностей почвенного покрова.

На пологих склонах на кислых элювиально-делювиальных отложениях развиваются грубогумусные буроземы (иногда оподзоленные). В средних частях склонов формируются иллювиально-железистые, иллювиально-гумусовые и гумусово-железистые подзолы, в нижних частях, под травяными лесами – слабокислые дерново-подзолистые почвы.

На карбонатных породах формируются: карболитоземы темногумусовые (рендзины), элювиально-метаморфические почвы, пелоземы, петроземы.

На холодных и увлажненных северных и теневых склонах горного Прибайкалья под лиственнично-сосновыми сообществами на грубообломочном делювии бескарбонатных пород, в долинах рек, распространены различные типы мерзлотно-таежных почв – глееземов и криоземов (торфяно-криоземов, криоземов грубогумусных, дерново-криоземов) с бурым слабо дифференцированным профилем, с частым вихревым рисунком криотурбированного горизонта над многолетнемерзлой материнской породой. Низкогорья окрестностей заняты лиственнично-сосновыми рододендрово-душекиевыми бруснично-разнотравными лесами, и вторичными, возникшими на их месте, березово-сосновыми и березовыми лесами. Здесь, на южных склонах, буроземы сменяются: остепненными серогумусовыми, темногумусовыми, перегнойно-темногумусовыми, буроземами темногумусовыми (дерново-карбонатными) в сочетании с литоземами серогумусовыми литофильных и мертвопокровных сосняков. На средних и основных породах развиваются дерново-подбуры и ржавоземы.

В долинах рек, в переувлажненных слабофильтрующихся местоположениях под еловыми и лиственнично-еловыми лесами, часто в комплексе с заболоченными лугами и кустарниками, формируются кислые, слабонасыщенные основаниями глееземы, торфяно-глееземы, глееземы криометаморфические.

На склонах южных экспозиций формируются уникальные для Предбайкалья ландшафты предгорных сухих криоксеропетрофитных степей с каштановыми (иногда солонцеватыми), горными черноземами, литоземами темногумусовыми, и черноземовидными почвами. Они протягиваются неширокой полосой в Приольхонье и на о. Ольхон, встречаются в системе Тункинских котловин, в горном Прихубсугулье. Эти полынно-типчачово-вострецовые и ковыльно-житняковые степи являются наиболее ценными растительными сообществами, заслуживающими особой охраны. Шлейфы Маломорского побережья Байкала заняты подтаежно-степным высотным поясом с редкостойными остепненными травяными лиственничниками.

В долинах рек под парковыми лесами с луговой растительностью, на пойменных и низких надпойменных террасах, формируются: хорошо дренируемые аллювиальные дерновые, аллювильно-луговые, лугово-лесные и лугово-болотные почвы (аллювиальные серогумусовые, темногумусовые, торфяно- и перегнойно-глеевые) и их различные комбинации.

Скрытосинлитогенный характер генезиса полноразвитых почв БХПТ помогает расшифровать эволюцию ландшафтов. Многолетний опыт изучения почв Прибайкалья с генетических и хроностратиграфических позиций [1] показывает, что контакт голоценового минерального субстрата с позднеплейстоценовым приходится, как правило, на границу бескарбонатных горизонтов (А, В) с карбонатными (B_{ca} или C_{ca}). Субстрат карбонатной толщи представлен эолово-делювиальными лессовидными суглинками, сформированными в криоаридной обстановке средне- и позднесартанского времени плейстоцена. В пределах горизонта C_{ca} нередко встречаются своеобразные сартанские слаборазвитые почвы.

Восточно-Сибирский музей почвоведения им. профессора И.В. Николаева ИГУ, являясь единственным музеем почв в Восточной Сибири, активно участвует в образовательно-просветительской, учебно-научной и социально-экологической деятельности региона. Почвенная коллекция музея, включая на сегодня 58 единиц макро-монолитов и 420 единиц микромонолитов, показывает большое разнообразие почв Байкальской Сибири. Но, в силу большой протяженности региона и трудной досягаемости, горности, а также – большой трудоемкости работ и ограниченности площади музея, пополнение коллекции музея новыми монолитами весьма скудное. Коллекция не отражает всего природного разнообразия почв региона. Поэтому необходимы новые подходы и технологии музейной консервации и экспонирования всего того природного богатства края, которое в силу природных и антропогенно-техногенных причин мы безусловно теряем. Музейные эталоны природных почвенных систем должны служить сегодняшним и будущим поколениям наглядным примером почвенного разнообразия региона.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Воробьева Г.А.* Проблема выделения рубежа плейстоцена и голоцена на территории Байкало-Енисейской Сибири / Г.А. Воробьева, Н.Е. Бердникова, О.И. Горюнова // Палеоэкология плейстоцена и культуры каменного века Северной Азии и сопредельных территорий. – Т. 2. – Новосибирск: Изд-во ИАиЭ СО РАН, 1998. – С. 37 – 45.

РАЦИОНАЛЬНОЕ И ЭМОЦИОНАЛЬНОЕ В ОРГАНИЗАЦИИ НАУЧНО-ПРОСВЕТИТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПОЧВОВЕДОВ В КРАСНОЯРСКОМ ГАУ

В.В. Чупрова, О.А. Ульянова, Н.Л. Кураченко, Т.Н. Демьяненко

Красноярский ГАУ, Россия, г. Красноярск, kora64@mail.ru

RATIONAL AND EMOTIONAL IN THE ORGANIZATION OF SCIENTIFIC AND EDUCATIONAL ACTIVITIES OF SOIL SCIENTISTS IN KRASNOYARSK SAU

V.V. Chuprova, O.A. Ulyanova, N.L. Kurachenko, T.N. Demyanenko

Krasnoyarsk SAU, Russia, Krasnoyarsk, kora64@mail.ru

Популяризация знаний в области почвоведения необходима, так как по меткому определению Жана Дорста, почва является самым драгоценным капиталом человечества. Как на заре своего существования, так и в настоящее время, несмотря на все достижения прогресса, человек по-прежнему получает от почвы почти все необходимое для поддержания своей жизнедеятельности. Современный этап развития науки о почвах требует самого тщательного анализа, ясного понимания роли почвы в жизни природы и в развитии нашей цивилизации. Организация научно-просветительной работы знаний о почве в Красноярском ГАУ проводится в системе школьник – студент – аспирант и включает рациональное и эмоциональное звено.

Рациональной была идея о создании в 1996 году летней научной биолого-почвенной школы, которая получила название «BIOPED». Она организована благодаря поддержке Комитета по делам молодежи при администрации Красноярского края. Цель авторской летней биолого-почвенной научной школы – научно-просветительская деятельность в области почвоведения и содействие профессиональному самоопределению школьников путем внедрения довузовских курсов. Задачи школы: рассказать о природных царствах и показать их взаимосвязь и взаимодействие; использовать натурные объекты для изучения составляющих экосистемы; приобщить к научному поиску и выполнить ряд научных экспериментов. Участниками этой авторской научной школы являются учащиеся 9–10 классов сельских школ. Условиями участия учащихся в научно-исследовательской работе являются: хорошая успеваемость в образовательной школе, конкурс научных рефератов по тематике предлагаемых экспериментов. Продолжительность работы школы – две недели. Особенностью программы школы стала демонстрация различными средствами (лекция; натурные образцы; ландшафтные объекты и т.д.) докучаевского положения «о теснейшем взаимодействии и полном содружестве мира органического и мира неорганического». Разговор на такие темы как «Планетарная роль почвы», «Нарушение гармонии в БГЦ», «Сохраним почву – сбережем жизнь на планете» и др. раскрывает значение почвы как весьма информативного объекта научного познания.

Эмоциональная составляющая в организации научно-просветительской деятельности заключается в демонстрации результатов исследований сначала на научном симпозиуме, которым завершается работа летней школы, затем на других конференциях или конкурсах. Нужно отметить, что благодаря динамичной и продуктивной работе в период летней школы, ребята уже на симпозиуме демонстрируют полученные в поле результаты,

показывают здесь же свои «натурные» образцы, с которыми завершают работу уже в зимнее время в лабораториях университета. Молодые исследователи тщательно и с удовольствием готовятся к таким мероприятиям, на которых, как правило, царит деловая атмосфера. А это мобилизует и способствует появлению у них новых идей и предложений для продолжения своих исследований. Первый тур конференций – лицейская, второй – районная, третий – краевая. Большинство учащихся проходят все три тура. Кроме того, они с большим энтузиазмом делают доклады на студенческих научных конференциях в Красноярском ГАУ, что придает особую значимость школьным исследованиям среди студенческих. Отдельные доклады представляются и на других Всероссийских конференциях и публикуются в материалах этих конференций. Таким образом, в организации научной работы учащихся используется принцип: поле – лаборатория – конференция. Как правило, участники научной школы «BIOPEd» в дальнейшем становятся студентами Красноярского ГАУ и плодотворно продолжают свои начатые в школьные годы научные изыскания уже в стенах ВУЗа. Среди них есть уже прошедшие аспирантуру и защитившие кандидатские диссертации.

Другой формой профориентации школьников можно назвать квест, который предполагает исследование окружающего мира через различные игровые приёмы, проводимые со школьниками 6–11 классов. Площадка Института агроэкологических технологий Красноярского ГАУ уже традиционно посвящается почве, как основному средству сельскохозяйственного производства, незаменимому природному ресурсу, обеспечивающему существование жизни на Земле. Участвуя в этом мероприятии, ребята узнают о самых главных и важных экологических функциях почвы, участвуют в моделировании фрагмента геологического круговорота, предшествующего почвообразованию; первичного почвообразовательного процесса и дальнейшего формирования почвы в разных экологических условиях. Отвечая на вопросы викторины «Что я знаю о почве?», они понимают стратегическую важность подготовки специалистов, работающих в агропромышленном комплексе Красноярского края.

Экскурсии в почвенный музей, который есть на кафедре почвоведения и агрохимии, также являются одной из форм научно-просветительской деятельности в области почвоведения. Его экспонатами являются: монолиты почв, отобранных на сельскохозяйственной территории Красноярского края; коллекции минералов и пород; почвенные образцы, диагностирующие морфологические признаки; карты, картограммы; стендовый материал. Все это используется в учебных целях. Музей посещается школьниками, студентами из других вузов, делегациями в период различных совещаний. В нем проводятся экскурсии для школьников по темам: «Экологические функции почв», «Почва-основа жизни», «Почва как зеркало ландшафта» и другие.

Эффективное и качественное образование не представляется без активного привлечения к научной работе молодых исследователей – студентов! Одной из разновидностей студенческой научно-исследовательской деятельности в высшей школе является кружок студенческого научного общества (СНО). В работе кружка кафедры почвоведения и агрохимии Красноярского ГАУ участвуют в разные годы от 15 до 40 студентов. Темы исследований студентов и докладов самые разнообразные. Кроме того, результаты своих исследований студенты показывают не только на кружке СНО, но и на конференциях регионального, всероссийского и международного уровня. Благодаря многочисленному участию студентов в конференциях и получению дипломов, они становятся лауреатами разных премий: имени Е.А. Крутовской, премии губернатора края, главы города Красноярска, премии правительства РФ, премии президента РФ и другие.

Эмоциональным звеном в организации научно-просветительной деятельности знаний о почве на кафедре почвоведения и агрохимии становится традиционное проведение тематических семинаров: «Оценка агрохимического состояния и химизации почв Красноярского края»; «Использование космических технологий для агроэкологической оценки почв и земель сельскохозяйственного назначения». Особенно ярким и эмоциональным

событием была конференция, посвященная Международному Дню Почв, проходившая в Красноярском ГАУ 5 декабря 2014 года. В ней приняли активное участие школьники, студенты, аспиранты и преподаватели. Научно – популярные доклады, раскрывающие наиболее интересные моменты из истории почвоведения, чередовались со стихами, частушками и гимном о почве. Самые юные участники – школьники 3–5 классов представили авторский мультипликационный фильм «Червячные ответы», в котором в популярной форме раскрываются основные вопросы происхождения, свойств и функций почвы. Таким образом, традиции, накопленные при организации научно-просветительской работы в области почвоведения, позволяют значительно повысить образовательный уровень школьников, необходимый для осознанного выбора будущей профессии, адаптироваться к обучению в вузе будущих студентов, сформировать представление о научной работе у молодых исследователей и использовать навыки научного поиска в будущем.

Материалы Международных научных конференций

XVIII Докучаевские молодежные чтения
«Деградация почв и продовольственная
безопасность России»
2–5 марта 2015 г.

XIX Докучаевские молодежные чтения
«Почва – зеркало ландшафта»
1–4 марта 2016 г.

ХІХ ДОКУЧАЕВСКИЕ МОЛОДЕЖНЫЕ ЧТЕНИЯ

Е.Ю. Максимова

ХІХ Докучаевские молодежные чтения «Почва – зеркало ландшафта» были проведены в Санкт-Петербургском государственном университете на кафедре почвоведения и экологии почв и в ФГБНУ «Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева». Конференция в 2016 году была посвящена обсуждению одной из фундаментальных функций почв – носителя информации о факторах почвообразования: климат, рельеф, горные породы, растительность, микроорганизмы, а также антропогенная деятельность, которая становится один из ведущих факторов изменения почв и почвенного покрова в настоящее время. ХІХ Докучаевские чтения были приурочены к юбилейной дате – 170-летию со дня рождения В.В. Докучаева – основателя науки о почвах.

Тема и программа конференции предложена молодежным оргкомитетом, состоящим из студентов-магистрантов и выпускников кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ и молодых сотрудников ФГБНУ Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева.

Заявки на конференцию поступили из различных регионов России (в т.ч. из Москвы, Санкт-Петербурга, Ростов-на-Дону, Красноярска, Перми, Саратова, Казани, Оренбурга, Томска, Нижневартовска, и др.), а также из Ирана, Германии, Польши, Украины, Беларуси, Казахстана, Узбекистана.

Докучаевские молодежные чтения на базе СПбГУ и ФГБНУ «Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева» проводятся ежегодно с 1997 г. и стали самой популярной школой научного общения студентов и молодых почвоведов ВУЗов и НИИ различных регионов России и стран ближнего зарубежья. Особенностью чтений является то, что подготовка и проведение конференции осуществляются самими студентами. Такой подход дает возможность молодым специалистам набраться опыта в организации и проведении научных конференций.

Открытие конференции состоялось 1 марта 2016 года в актовом зале Санкт-Петербургского государственного университета.

Пленарное заседание открыл председатель оргкомитета конференции, лидер научно-педагогической школы фундаментального почвоведения СПбГУ, заведующий кафедрой почвоведения и экологии почв, научный руководитель Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева, профессор Борис Федорович Апарин.

С приветственными словами к молодым юношам и девушкам обратилась председатель Межрегиональной общественной организации «Природоохранный союз», академик Российской Экологической академии В.М. Тарбаева. После официальной части заседание продолжила серия пленарных докладов. С историческим докладом о жизни и научной деятельности В.В. Докучаева выступил д.г.н., профессор, гл. научный сотрудник Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН И.В. Иванов. Продолжили заседание немецкие коллеги из Страсбурга Е.О. Klose, Т.А. Karasyova (Maerkish Institute for Promotion of Technology and Innovation) с докладом «Technology and devices for vegetation monitoring and their relation to soil sciences». Последующие три доклада на пленарном заседании были сделаны молодыми учеными, аспирантами из разных регионов России и других стран:

1. Костецки Я. (associate professor of University of Zielona Góra, Zielona Góra, Poland)
«Запечатывание почвы – проблема современных городов»
2. Макаренко Т.И. (м.н.с. Института природопользования НАН Беларуси, Минск, Беларусь)
«Рациональное освоение торфяных месторождений Республики Беларусь»

3. Овсепян Л.А. (аспирант Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкино)

«Постагрогенная динамика запасов и состава органического вещества серых лесных почв Московской области»

Пленарные доклады были выбраны членами редколлегии и оргкомитетом перед проведением конференции.

Важным событием для участников конференции было посещение Смоленского кладбища и возложение цветов на могилы основателя науки о почве В.В. Докучаева, его супруги Анны Егоровны и ее матери А.И. Синклер. Сразу после посещения кладбища состоялась экскурсия «Санкт-Петербург – колыбель почвоведения» (Чигалейчик Е.Д., с.н.с. ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева).

Вторая часть первого дня конференции продолжилась в Центральном музее почвоведения им. В.В. Докучаева состоялись презентации выставок, посвященных 170-летию со дня рождения В.В. Докучаева и 150-летию со дня рождения Павла Владимировича Отоцкого, а также презентация измерительной системы для мониторинга растительности гостей из Германии.

Тринадцатый год учащиеся школ принимают участие в Молодежных Докучаевских чтениях. И более десяти последних лет для заслушивания докладов школьников организуются отдельные секции. Всего было сделано 11 докладов. Были докладчики из Санкт-Петербурга, а также из Волгограда. Отмечен высокий уровень докладов многих докладчиков, слушатели активно задавали вопросы. Участники школьной секции выразили благодарность организаторам за проведение конференции.

Всего на Докучаевских чтениях были заслушаны 112 докладов, в т.ч. 7 докладов в стендовой секции, 5 – на пленарных заседаниях и 11 докладов на школьной секции. В выступлениях были освещены результаты исследований различных форм деградации почв и методов их восстановления, возможности сохранения, повышения и восстановления естественного почвенного плодородия в современных экономических условиях, проведенные студентами, аспирантами и молодыми учеными, а также представлены результаты изучения генезиса и эволюции почв, разнообразия почвенного покрова в пространстве и времени, освещены вопросы почвенных классификаций.

Научная программа включала работу следующих секций:

1. Генезис, эволюция и классификация почв.
2. Почвы урбанизированных ландшафтов.
3. Разнообразие почв России и их пространственно-временная динамика.
4. Сохранение и повышение плодородия почв.
5. Исследования органического вещества почв.
6. Деградация, методы реабилитации и охраны почв.
7. Биология почв.
8. Школьная секция «Почвы как сердце экосистемы».

По результатам секционных заседаний на закрытии конференции 4 марта 2016 г. участниками, председателями и кураторами секций отмечены самые интересные и информативные научные выступления и ранжированы по местам. Отмеченные доклады были рекомендованы к опубликованию в виде статей в периодическом издании СПбГУ «Материалы по изучению Русских почв» (вып. 9 (36)).

Информация о конференции была размещена на сайтах ЦМП им. В.В. Докучаева, кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ, а также на специальном сайте dokuchaevskie.ru, который был запущен в 2014 году. Сайт предусматривает активный обмен новостями в области почвоведения, впечатлениями о конференциях и фотографиями.

На закрытии конференции выступили кураторы и председатели секций, рассказав об их итогах. Был отмечен высокий методический уровень выполненных участниками исследований и актуальность затронутых тем. Кроме того, с благодарственными словами выступили участники конференции с обещаниями приехать со своими докладами на До-

кучаевские чтения в следующем году, а также привлечь своих коллег к участию в нашей конференции. Гости из Германии с самыми лучшими впечатлениями о прошедшем мероприятии предложили сотрудничать и провести следующие Докучаевские чтения совместно с их институтом.

На закрытии конференции участники единогласно постановили:

Опубликовать лучшие доклады в виде статей в периодическом издании СПбГУ «Материалы по изучению Русских почв» 9 (36) и просить кафедру почвоведения и экологии почв СПбГУ организовать XX Юбилейные Докучаевские молодежные чтения в 2017 году.

УДК 634.1

ТЕХНОГЕННОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ БОТАНИЧЕСКОГО САДА ЮЖНОГО ФЕДЕРАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

А.В. Барахов

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

В работе приводятся результаты исследований загрязнения почвенного покрова Ботанического сада Южного федерального университета тяжелыми металлами и радионуклидами. Удельная активность радионуклидов исследуемой территории (160.5 га), в основном соответствует среднемировым значениям и характерны для Ростовской области и г. Ростова-на-Дону. Превышение до 2 ПДК установлено только для цинка и свинца. Для остальных представителей тяжелых металлов превышение ПДК не установлено.

ВВЕДЕНИЕ

Ботанический сад – территория, на которой с научно-исследовательской, просветительной и учебной целью культивируются, изучаются и демонстрируются коллекции живых растений разных частей света и различных климатических зон.

В связи с тем, что территория БС ЮФУ находится в черте города и испытывает увеличивающуюся год от года антропогенную нагрузку, то изучение загрязнения тяжелыми металлами и радионуклидами почв, является весьма актуальным.

Целью данной работы являлось изучение загрязнения тяжелыми металлами и радионуклидами наземных экосистем особо охраняемой территории – Ботанического сада Южного федерального университета (БС ЮФУ).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований являлся почвенный покров БС ЮФУ. В настоящее время Ботанический сад занимает площадь в 160.5 га с разнообразным рельефом. Отличительной особенностью территории является многообразие форм рельефа и гидрологических условий. Наиболее высокая часть Ботанического сада – до 84.5 м расположена на западе территории, которая плавно снижается при продвижении на восток к устью р. Темерник (до 4 м), а затем снова возрастает по правому берегу до 24.4 м (рис. 1).

Сложная орография территории способствовала формированию разнообразных типов геохимических ландшафтов – элювиального (возвышенные участки водораздела), транзитного (склоны) и аккумулятивного (отрицательные элементы и депрессии рельефа).

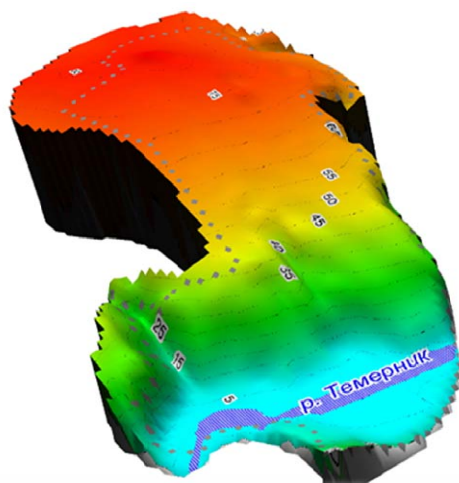
Это позволяет проанализировать:

- горизонтальное распространение антропогенных воздействий;
- возможности накопления радионуклидов и тяжелых металлов (формирование техногенных геохимических аномалий) и самоочищения ландшафта.

Почвенный покров территории БС ЮФУ является не однородным. Он включает в себя как зональные (черноземы обыкновенные, 76 % от общей площади), так и интразональные почвы (лугово-черноземные, лугово-болотные), расположенные на различных элементах рельефа (рис. 2).



а)



б)

Рисунок 1. Космоснимок (а) и трехмерная гипсометрическая модель (б) территории Ботанического сада ЮФУ

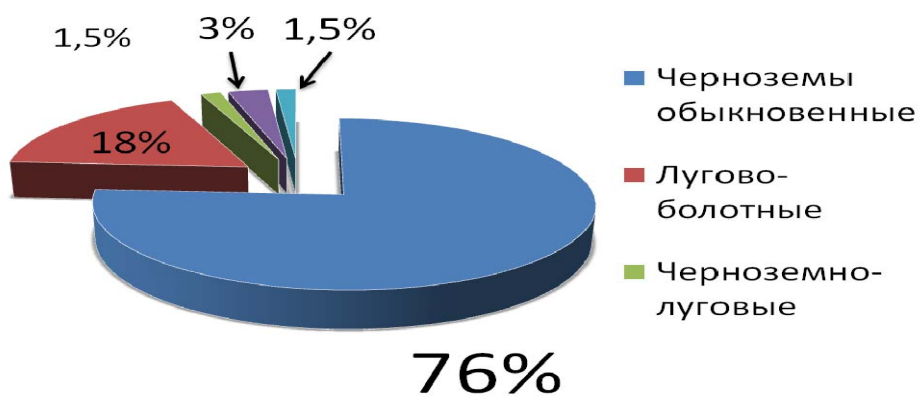


Рисунок 2. Основные типы почв Ботанического сада ЮФУ.



Рисунок 3. Карта-схема точек отбора проб для определения тяжелых металлов.

В качестве методов исследования использовались полевые (заложение разрезов и отбор почвенных проб по точкам) и лабораторные методы.

Для определения валовых форм ТМ использовался метод рентгенофлуоресцентного анализа на Спектроскане Макс GV. Подвижные формы ТМ определяли методом экстракции из почвы ацетатно-аммонийным буфером (ААБ) с последующим их определением атомно-абсорбционным методом.

Для оценки загрязнения почвенного покрова Ботанического сада радионуклидами в экспедиция 2014 года были заложены 75 контрольных участков. Данные точки были выбраны с помощью программы QGIS в соответствии с уклоном местности, экспозицией склонов, типом почв и особенностями рельефа Ботанического сада.



Рисунок 4. Карта-схема точек отбора проб для радионуклидного анализа.

Радионуклидный состав проб почвы в слое 0–5 см и 0–25 см определяли с использованием сцинтилляционного гамма-спектрометра «Прогресс-гамма» и геометрий счетного образца – Маринелли 1 литр, Маринелли 0.5 литра. Методики отбора и подготовки проб применялись стандартные, время набора гамма-спектра не превышало 24 часа для различных геометрий счетного образца.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Установлено, что основными загрязнителями почвенного покрова исследуемой территории являются 4 элемента – Ni, Cu, Zn, Pb, превышение до 2 ПДК выявлено по цинку и свинцу (табл. 1)

ТМ в почвах БС ЮФУ представлены, в основном, валовыми формами (табл.1), так как подвижные их формы составляют менее 1 %. Это свидетельствует о закреплении основной массы поступающих ТМ компонентами почв и отсутствии их миграции по почвенному профилю, что согласуется с данными других исследователей.

Территорию БС ЮФУ можно ранжировать по уровню и опасности загрязнения цинком и свинцом следующим образом: Пойма реки Темерник левый берег > пойма р. Темерник правый берег > склоны и дно балки > водораздел реки Темерник – реки Мертвый Донец (верхняя часть БС ЮФУ).

Был рассчитан суммарный показатель загрязнения территории БС ЮФУ по следующей формуле:

$$Z_c = \sum Kc_i - (n-1),$$

где n – число определяемых металлов; Kc_i – коэффициент концентрации металла, который определяется отношением содержания металла в почве к фоновому содержанию металла.

По величине Z_c выделяют следующие категории загрязнения почв:

- чрезвычайно опасная (Z_c больше 128),
- опасная ($Z_c = 32-128$),
- умеренно опасная ($Z_c = 16-32$)
- допустимая (Z_c меньше 16).

Суммарный показатель загрязнения территории Ботанического сада для всех точек отбора $Z_c=0.76$. Следовательно, по величине суммарного показателя загрязнения Z_c территорию БС ЮФУ можно отнести к допустимой категории загрязнения (Z_c меньше 16).

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов в почвах БС ЮФУ.

№ точки	Ni		Cu		Zn		Pb	
	1	2	1	2	1	2	1	2
1–5	$\frac{55.3}{0.11}$	0.06	$\frac{46.3}{0.02}$	0.01	$\frac{83.6}{0.16}$	0.13	$\frac{32.0}{0.07}$	0.02
6	$\frac{49.0}{0.08}$	0.04	$\frac{39.6}{0.04}$	0.02	$\frac{124.7}{0.18}$	0.22	$\frac{31.8}{0.08}$	0.03
7	$\frac{49.7}{0.05}$	0.03	$\frac{43.3}{0.03}$	0.02	$\frac{101.9}{0.21}$	0.21	$\frac{31.6}{0.43}$	0.14
8	$\frac{37.1}{0.15}$	0.06	$\frac{28.8}{0.07}$	0.02	$\frac{85.5}{0.43}$	0.37	$\frac{40.3}{0.29}$	0.12
9	$\frac{49.3}{0.18}$	0.09	$\frac{35.8}{0.04}$	0.02	$\frac{192.5}{0.09}$	0.18	$\frac{60.7}{0.07}$	0.04
10	$\frac{31.1}{0.10}$	0.03	$\frac{35.3}{1.08}$	0.38	$\frac{86.0}{0.40}$	0.35	$\frac{46.0}{0.67}$	0.31
11	$\frac{47.1}{0.22}$	0.10	$\frac{35.6}{0.05}$	0.02	$\frac{147.9}{0.63}$	0.93	$\frac{48.6}{0.34}$	0.16
12	$\frac{41.6}{0.13}$	0.052	$\frac{46.2}{0.03}$	0.02	$\frac{78.5}{0.57}$	0.45	$\frac{33.1}{1.04}$	0.34
13	$\frac{50.4}{0.72}$	0.36	$\frac{39.2}{0.77}$	0.30	$\frac{139.9}{2.06}$	2.82	$\frac{65.5}{1.46}$	0.96
14	$\frac{53.8}{0.02}$	0.02	$\frac{44.3}{0.24}$	0.01	$\frac{104.8}{0.17}$	0.18	$\frac{35.9}{0.07}$	0.03
ПДК	$\frac{85.0}{4.0}$		$\frac{55.0}{3}$		$\frac{100.0}{23}$		$\frac{32.0}{6.0}$	

Примечание. В столбце под цифрой 1 в числителе указано валовое содержание элемента в процентах, в знаменателе содержание подвижных форм в ppm. В столбце 2 указан процент содержания подвижных форм ТМ от валовых.

Таблица 2. Пределы распределения удельной активности радионуклидов в почвах БС ЮФУ в слое 0–5 см.

Радионуклид	Минимум, Бк/кг	Максимум, Бк/кг	Среднее значение, Бк/кг
^{137}Cs	1.3	38.3	12.6
^{226}Ra	11.6	33.4	12.3
^{232}Th	8.4	38.4	30.7
^{40}K	111.3	524.0	419.5

Удельная активность радионуклидов в почвах Ботанического сада Южного федерального университета, в основном соответствует среднемировым значениям и характерны для Ростовской области и г. Ростова-на-Дону (1, 2).

Поверхностное распределение естественных радионуклидов и искусственного ^{137}Cs в почвах территории исследования в целом неравномерное (рис. 5) и связано, в первую очередь с особенностями рельефа Ботанического сада.

Естественные радионуклиды в профиле чернозема обыкновенного в Ботаническом саду ЮФУ распределены равномерно, без значительных вариаций удельной активности по профилю. Средние содержания ^{226}Ra , ^{232}Th и ^{40}K составляют 26,0, 32,8, 468,1 Бк/кг соответственно. Искусственный радионуклид ^{137}Cs отличается уменьшением удельной активности с глубиной (1.2).

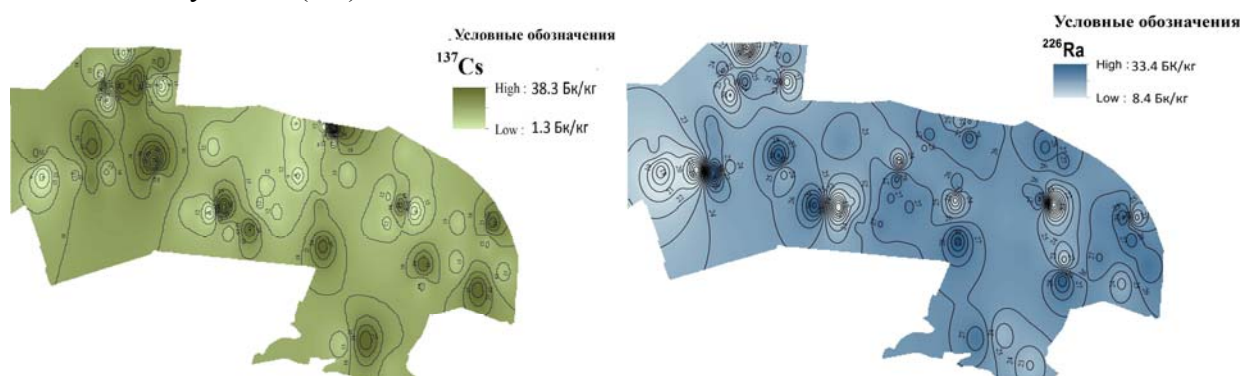


Рисунок 5. Распределение радионуклидов в почвах Ботанического сада на примере цезия и радия (слой 0–5 см).

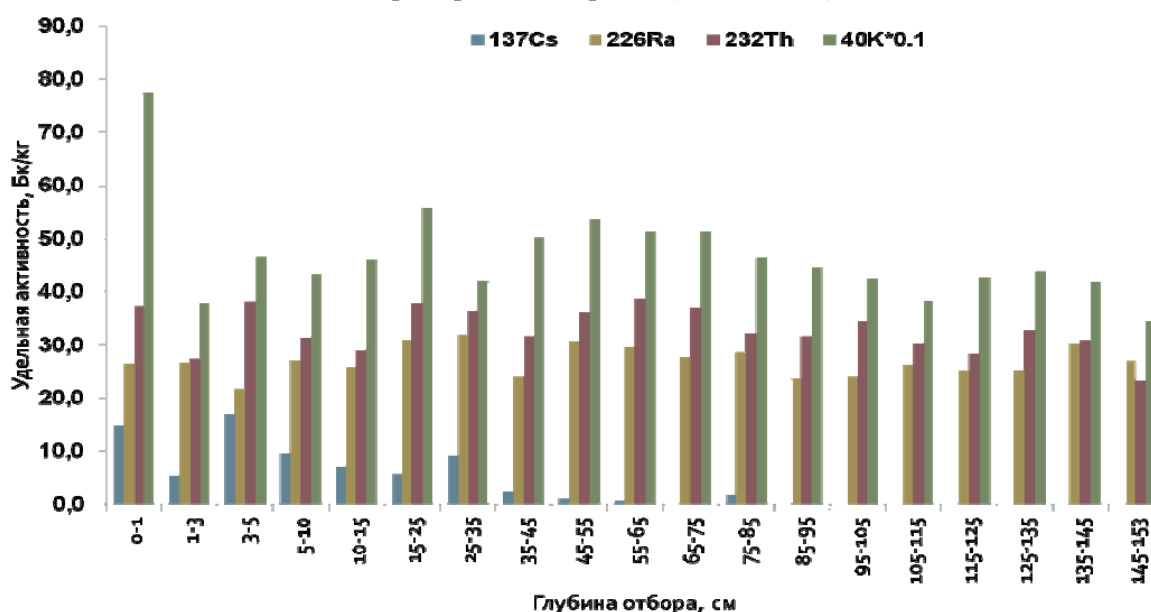


Рисунок 6. Распределение радионуклидов в почвенном профиле чернозема обыкновенного.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. ТМ в почвах БС ЮФУ представлены преимущественно валовыми формами, Это свидетельствует о закреплении основной массы поступающих ТМ компонентами почв и отсутствии их миграции по почвенному профилю. По величине суммарного показателя загрязнения Z_c территорию БС ЮФУ относится к допустимой категории загрязнения.

2. Естественные радионуклиды в черноземе обыкновенном БС ЮФУ распределены равномерно, без значительных вариаций удельной активности по профилю. Для искусственного радионуклида ^{137}Cs характерно снижение удельной активности с глубиной.

3. Удельная активность радионуклидов в почвах БС ЮФУ соответствует средним значениям и характерны для Ростовской области и г. Ростова-на-Дону.

4. Поверхностное распределение естественных радионуклидов и искусственного ^{137}Cs в почвах территории исследования имеет неравномерный характер, что связано, в первую очередь, с особенностями рельефа БС. Преимущественное накопление радионуклидов и ТМ происходит в отрицательных элементах рельефа, особенно энергично в пойме реки Темерник – аккумулятивном типе геохимического ландшафта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Барахов А.В., Гордиенко С.Г., Гончарова Л.Ю., Бураева Е.А., Нефедов В.С., Дергачева Е.В. Распределение радионуклидов в почвах Ботанического сада Южного федерального университета. // В сб. материалов международной научной конференции «Экология и биология почв», Ростов-на-Дону, 2014 г., С. 20–22
2. Неганова К.С., Бураева Е.А., Давыденко А.М., Нефедов В.С., Дергачева Е.В., Стасов В.В., Аветисян С.Р., Гончарова Л.Ю., Вардуни Т.В., Данилова А.А. Особенности распределения радионуклидов в аллювиальных почвах Северного Кавказа // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12. – С. 131–135.

Работа рекомендована к.с.-х.н., доцентом Л.Ю. Гончаровой.

УДК 631.41

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СОРБЦИЮ МЕДИ ЧЕРНОЗЕМОМ ОБЫКНОВЕННЫМ

Т.В. Бауэр, С.С. Манджиева

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

В лабораторных условиях было изучено влияние сопутствующих анионов Cl^- , SO_4^{2-} , CH_3COO^- и NO_3^- и степени дисперсности на процессы поглощения меди черноземом обыкновенным. В зависимости от сопутствующего аниона изотермы адсорбции имели разную форму и описывались уравнениями Генри, Фрейндлиха и Ленгмюра. Показано, что величина предельной адсорбции Cu^{2+} черноземом обыкновенным существенно зависела от степени дисперсности и уменьшалась в ряду: ил > физическая глина > почва в целом.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из самых распространенных поллютантов в мире являются тяжелые металлы (ТМ). Среди них медь заслуживает особого внимания. Она относится к веществам 2-го класса опасности и обладает токсичными, канцерогенными и мутагенными свойствами. Поступая в окружающую среду из техногенных источников, она активно воздействует на все компоненты среды. Наибольшую нагрузку при этом испытывают почвы [3]. Это связано со способностью почв прочно связывать медь в малоподвижные соединения и, таким способом, выполнять роль природного буфера и детоксиканта. Поглощательная способность почв по отношению к меди зависит от физических и химических свойств самих почв, а также от формы поступления металла в почву.

Целью настоящей работы являлось изучение влияния сопутствующих анионов и степени дисперсности на сорбцию меди черноземом обыкновенным.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для проведения исследований отбирался верхний 0–20 см слой почвы целинного участка, представленный черноземом обыкновенным тяжелосуглинистым на лессовидных суглинках. Исследуемая почва характеризуется следующими физическими и химическими свойствами: $\text{C}_{\text{орг}}$ – 2.3 %, pH – 7.2; ЕКО – 37.1 ммоль(+)/100 г почвы; обменные катионы (ммоль(+)/100 г почвы): Ca^{2+} – 31.0, Mg^{2+} – 4.5, Na^+ – 0.1, $\text{K}_{\text{обм}}$ – 228 мг/1 кг почвы; CaCO_3 – 0.1 %; $\text{P}_2\text{O}_{5\text{подв}}$ – 16 мг/1 кг почвы; физическая глина – 48 %, ил – 29 %. Гранулометрический состав почв определяли пипет-методом по Качинскому [4].

При изучении влияния химического состава вносимых солей меди на ее поглощение черноземом обыкновенным использовали растворы нитратов, ацетатов, хлоридов и сульф-

Исследования выполнены при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, проект № 5.885.2014/К, РФФИ № 14-05-00586 А, Грант Президента РФ № МК-6448.2014.4.

© Т.В. Бауэр, С.С. Манджиева, 2017

фатов металла. Навески почвы, пропущенной через сито с диаметром ячеек 1 мм, в естественной ионной форме заливали растворами соответствующих солей Cu^{2+} в соотношении почва: раствор равном 1:10. Концентрации исходных растворов Cu^{2+} изменялись в пределах от 0.05 мМ/л до 1.0 мМ/л. Диапазон концентраций Cu^{2+} в изучаемой системе охватывает реально существующие уровни загрязнения почв исследуемым металлом.

Суспензии взбалтывали в течение часа и оставляли на сутки в состоянии покоя, после чего фильтровали. Содержание металлов в фильтрах определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии (ААС). Количество поглощенных катионов Cu^{2+} рассчитывали по разности между концентрациями металла в исходном и равновесном растворе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изотермы адсорбции меди из растворов нитратов, хлоридов и сульфатов металла имеют форму близкую к линейной и, следовательно, удовлетворительно описывались уравнением Генри или Фрейндлиха (рис. 1):

$$C_{ad} = K_G \cdot C_p, \quad (1)$$

$$C_{ad} = K_F \cdot C_p^n, \quad (2)$$

где C_{ad} – концентрация адсорбированных катионов, мМ/кг почвы; C_p – концентрация меди в равновесном растворе, мМ·л⁻¹; K_G и K_F – константы Генри и Фрейндлиха соответственно, кг/л.

Изотерма адсорбции меди черноземом обыкновенным из ацетатных растворов описывается уравнением Ленгмюра:

$$C_{ad} = C_{\infty} K_L C_p / (1 + K_L C_p), \quad (3)$$

где C_{ad} – количество поглощенных катионов, C_{∞} – величина максимальной адсорбции ТМ, мМ·кг⁻¹ почвы; K_L – константа Ленгмюра, л·мМ⁻¹.

Значения параметров уравнений (1)–(3), рассчитанные из экспериментальных изотерм представлены в табл. 1.

Качество аппроксимации изотерм адсорбции Cu^{2+} черноземом обыкновенным из растворов ацетатов, хлоридов и сульфатов металла уравнением (1) достаточно хорошее. Если не учитывать последнюю точку на изотерме адсорбции Cu^{2+} из растворов нитратов ($x = 0.31$, $y = 9.69$), то образовавшаяся зависимость с высокой достоверностью описывается как уравнением Фрейндлиха, так и Ленгмюра.

Форма изотерм определяется характером взаимодействия адсорбат–адсорбент, а также катиона Cu^{2+} с компонентами равновесного раствора. В частности было установлено, что уравнение Фрейндлиха лучше описывало адсорбцию на слабо окристаллизованных или аморфных адсорбентах с практически непрерывным распределением различных по адсорбционной активности поверхностных участков [1, 2].

Таблица 1. Значения констант адсорбции меди из растворов различных солей.

Соединение	Авторы уравнений изотерм	Значения констант, л/кг	Значения других постоянных	R	R ²
$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	Ленгмюр	125.6 ± 32.8	$^{**}C_{\infty} = 12.69 \pm 1.39$	0.99	0.97
$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	Фрейндлих*	603.3 ± 212.7	$n = 0.92 \pm 0.07$	0.99	0.99
$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$	Генри*	911.4 ± 31.1	–	0.99	0.99
$\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$	Генри	1880.5 ± 76.2	–	0.99	0.98
CuCl_2	Генри	1442.8 ± 113.5	–	0.99	0.97
CuSO_4	Генри	165.3 ± 12.9	–	0.96	0.92
CuSO_4	Фрейндлих	966.0 ± 307.0	$n = 1.55 \pm 0.10$	1.00	0.99

Примечания: *) данные рассчитаны по неполной изотерме из растворов азотнокислой соли (без последней точки); **) ммоль/кг.

Следует отметить, что уравнения адсорбции (1)–(3) взаимосвязаны. При $n = 1$ уравнение Фрейндлиха переходит в уравнение Генри. То же самое происходит с уравнением Ленгмюра при $C_p \rightarrow 0$. Согласно величинам K_L прочность связи адсорбированных катионов меди из растворов различных солей убывала в ряду: $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 > \text{CuCl}_2 > \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \gg \gg \text{CuSO}_4$, то есть обратно пропорционально углу наклона соответствующих изотерм относительно оси абсцисс. Этот ряд совпадает с рядом по влиянию анионов на поглощение меди и цинка, представленном в работе [5]. Иными словами, наиболее прочно катионы меди адсорбировались, когда анион был ацетатом, а наименее прочно – когда анион был сульфатом.

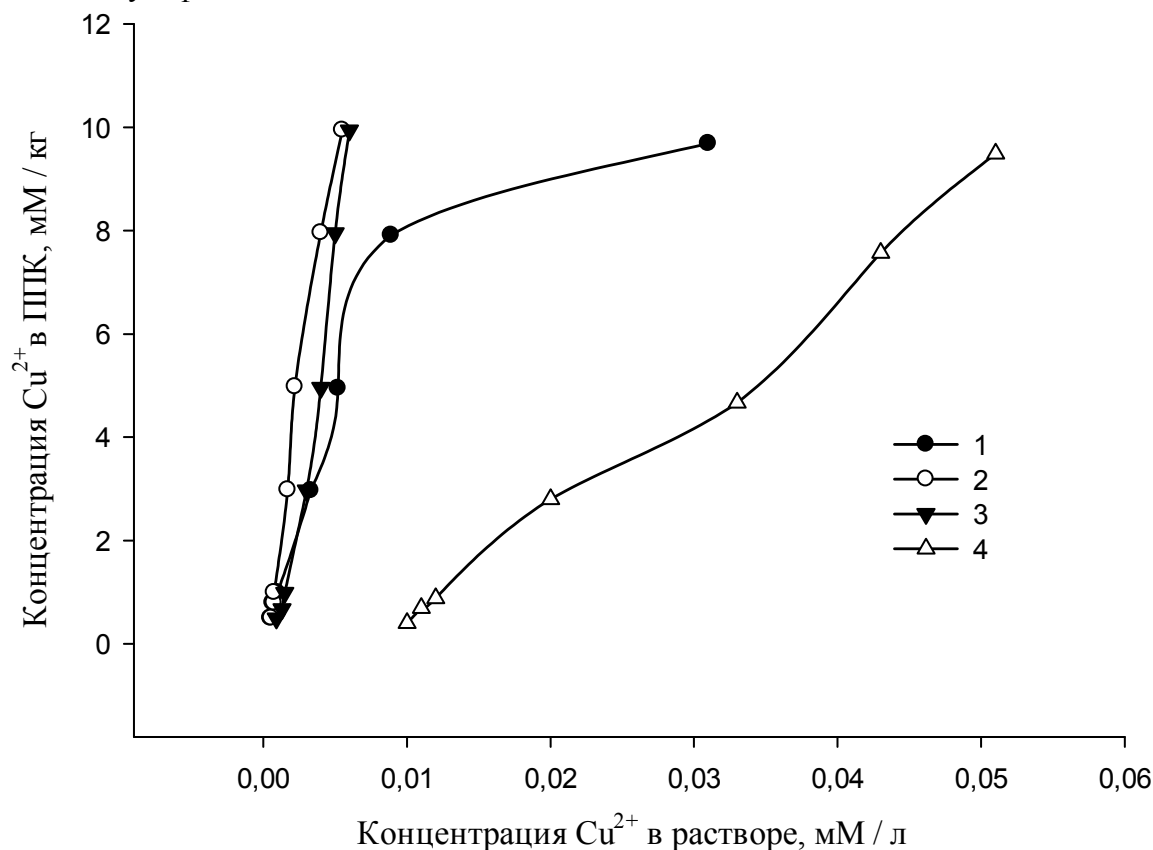


Рисунок 1. Изотермы адсорбции Cu^{2+} черноземом обыкновенным при внесении ее в форме нитратов (1), ацетатов (2), хлоридов (3) и сульфатов (4).

Для изучения влияния степени дисперсности на поглощение Cu^{2+} почвой из чернозема обыкновенного были выделены фракции ила и физической глины. В связи с тем, что физическая глина, в состав которой входят фракции ила и мелкой пыли, является основным носителем адсорбционных свойств почвы, зная ее количественный и качественный состав, можно прогнозировать дальнейшее поведение ТМ. Поэтому прямое изучение закономерностей адсорбции ТМ отдельными гранулометрическими фракциями почв представляет значительный интерес.

Адсорбция Cu^{2+} данными фракциями чернозема обыкновенного имеет ограниченный характер и подчиняется уравнению (3) (рис. 2). Параметры адсорбции Cu^{2+} черноземом обыкновенным тяжелосуглинистым и его гранулометрическими фракциями, рассчитанные по уравнению (3), представлены в табл. 2.

Поглощение Cu^{2+} увеличивалась по мере уменьшения размера частиц. Величины k и $C_{\text{макс.}}$, характеризующие поглощение металла черноземом обыкновенным и его гранулометрическими фракциями, образовывали ряд: ил > физическая глина > почва в целом (табл. 2). Наибольшие значения максимальной величины адсорбции ($C_{\text{макс.}}$) и константы прочности (k) были характерны для адсорбции Cu^{2+} илистой фракцией.

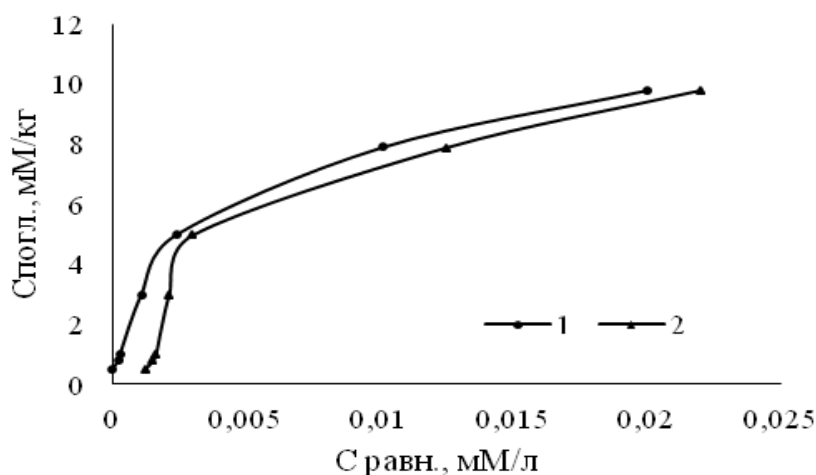


Рисунок 2. Изотермы адсорбции Cu^{2+} фракциями ила (1) и физической глины (2) чернозема обыкновенного.

Таблица 2. Параметры адсорбции Cu^{2+} черноземом южным тяжелосуглинистым и его гранулометрическими фракциями.

Объект	$C_{\text{макс.}}, \text{мМ} \cdot \text{кг}^{-1}$	$K_L, \text{л} \cdot \text{мМ}^{-1}$	R^2
Фракция ила	28.45 ± 0.46	80.20 ± 20.29	0.99
Фракция физической глины	22.15 ± 1.22	58.20 ± 14.54	0.92
Почва в целом	17.58 ± 3.03	38.80 ± 12.33	0.95

ВЫВОДЫ

Анионы Cl^- , SO_4^{2-} , CH_3COO^- и NO_3^- оказывали значительное влияние на поглощение меди черноземом обыкновенным. Практически во всех случаях изотермы описывались с высокой достоверностью уравнением Генри или Фрейндлиха. Лишь в случае адсорбции Cu^{2+} из раствора азотнокислой меди полная изотерма описывалась уравнением Ленгмюра. По энергии взаимодействия с частицами ППК, характеризуемой величиной K_L влияние сопутствующих анионов уменьшалась в ряду: $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 > \text{CuCl}_2 > \text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \gg \text{CuSO}_4$. Таким образом, наиболее прочно ионы меди адсорбировались из ацетатного раствора, наименее прочно – из сульфатного.

Поглотительная способность чернозема обыкновенного по отношению к катионам меди зависила от степени дисперсности и увеличивалась по мере уменьшения размера частиц, образуя ряд: ил > физическая глина > почва в целом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Путилина В.С., Галицкая И.В., Юганова Т.И. Адсорбция тяжелых металлов почвами и горными породами. Характеристики сорбента, условия, параметры и механизмы адсорбции. Серия экол. Вып. 90. Новосибирск: ГПНТБ СО РАН. 2009. 155 с.
2. Пинский Д.Л., Минкина Т.М., Манджиева С.С., Федоров Ю.А., Бауэр Т.В., Невидомская Д.Г. Особенности поглощения $\text{Cu}(\text{II})$, $\text{Pb}(\text{II})$ и $\text{Zn}(\text{II})$ черноземом обыкновенным из растворов нитратов, хлоридов, ацетатов и сульфатов // Почвоведение. 2014. № 1. С. 22–29.
3. Панин М.С., Сиромля Т.И. Адсорбция меди почвами Семипалатинского Прииртышья // Почвоведение. 2005. № 4. С. 416–426.
4. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. АН СССР, 1958. 193 с.
5. Bingham F.T., Page A.L., Sims J.R. Retention of Cu and Zn by montmorillonite // Soil Science Society of America Proceedings. 1964. V. 28, No. 3. P. 351–354.

Работа рекомендована д.б.н., проф. Т.М. Минкиной.

ОЦЕНКА СОСТАВА СОЕДИНЕНИЙ Zn В ЧЕРНОЗЕМАХ РОСТОВСКОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТОДОВ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО И ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ЭКСТРАГИРОВАНИЯ

Т.В. Бауэр, Д.Г. Невидомская, Т.М. Минкина

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

В модельном эксперименте методами параллельных экстракций и последовательного фракционирования определена подвижность Zn в черноземе обыкновенном и его связь с почвенными компонентами. Установлено, что в незагрязненной почве основная доля металла находится в прочно связанном состоянии. Закреплению Zn в черноземе способствует присутствие глинистых минералов. При загрязнении почвы подвижность металла возрастает. Выявлено, что Zn накапливается преимущественно во фракции, связанной с оксидами и гидроксидами Fe-Mn.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в биосферу поступает большое количество тяжелых металлов (ТМ) техногенного происхождения. Последствия загрязнения ТМ сказываются на всех ее компонентах и, прежде всего, на почве. Техногенное загрязнение почв ТМ сопровождается поступлением в них различных соединений, которые неизбежно подвергаются химическим изменениям [5]. Их трансформация в почвах заключается в растворении в почвенной влаге и взаимодействии с почвенными компонентами [10]. Многообразие механизмов такого взаимодействия проявляется и в разнообразии форм существования ТМ в почве. Изучение форм соединений ТМ в загрязненных почвах является важной научной и практической задачей, поскольку ее решение позволяет оценивать и прогнозировать состояние почвенного покрова в целом [2]. В свою очередь, оценка и прогноз экологического состояния почв сводятся к получению информации о том, в состав каких почвенных соединений вошли поглощенные почвой соединения. Наиболее распространенными методами изучения форм соединений ТМ в почвах является методы последовательного экстрагирования, имеющие полувековую историю использования. Однако все они достаточно условны и не позволяют получить истинного представления о распределении металлов в почвах по формам соединений. При работе с такой сложной полидисперсной гетерогенной системой, как почва, это практически недостижимо из-за проблем внутренней пространственной неоднородности почвенных образцов. Со временем используемые методы практически не изменились, несмотря на неполную селективность используемых экстрагентов и неточное название выделяемых фракций [3]. Определение форм ТМ в почвах должно эволюционировать к прямым методам, обеспечивающим элементную избирательность и чувствительность к локальной структуре большого спектра элементов, низкие пределы обнаружения, высокое пространственное разрешение и простую пробоподготовку с сохранением матрицы образца.

Целью данной работы является изучение состава техногенных соединений Zn в черноземе обыкновенном Ростовской области на основе использования разных методов фракционирования.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для проведения исследований отбирался верхний гумусовый горизонт почвы целинного участка, представленный черноземом обыкновенным тяжелосуглинистым на лессовидных суглинках (Ростовская обл.). Исследуемая почва характеризовалась следующими физическими и химическими свойствами: количество гумуса составляло 3,4 %; величина pH – 7,3; значения ЕКО – 37,1 смоль (+)/кг; содержание обменных Ca^{2+} –

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда в рамках научного проекта № 16-14-10217.

© Т.В. Бауэр, Д.Г. Невидомская, Т.М. Минкина, 2017

31.0 смоль(+)/кг, Mg^{2+} – 4.5 смоль(+)/кг и K^+ – 22.8 мг/100 г, подвижных форм P_2O_5 – 1.6 мг/100 г, $CaCO_3$ – 0.1 %; фракций физической глины – 53.1 % и ила – 32.4 %.

Физико-химический анализ состава исследуемой почвы проводили общепринятыми агрохимическими методами [1]: определение величины водородного показателя (pH_{H_2O}) водной суспензии почвы при соотношении почва: вода = 1:2.5 – потенциметрически, содержание гумуса – методом Тюрина в модификации Симакова, емкость катионного обмена (ЕКО) – методом Бобко-Аскинази, подвижные формы фосфора и калия – методом Мачигина [1]. Обменные катионы определяли методом Шаймухаметова [8], содержание карбонатов – ацидометрически [7], гранулометрический состав почвы – методом Качинского [4], количество общего Zn в почвенных пробах – методом рентгенофлуоресцентного анализа на приборе Спектроскан «МАКС-GV», а содержание Zn в вытяжках – методом атомно-абсорбционной спектроскопии (ААС). Все анализы были выполнены в трехкратной аналитической повторности, их результаты статистически обработаны.

Для изучения изменения состава соединений Zn в техногенно загрязненных почвах был поставлен модельный эксперимент. Исходную почву массой 1 кг, пропущенную через сито с диаметром ячеек 1 мм, перемешивали с 300 мг сухой соли ацетата цинка, после чего ее вносили в сосуды. Загрязненные образцы почвы выдерживали в течение 1 года при влажности, соответствующей наименьшей полевой влагоемкости. Повторность опыта была трехкратная.

Подвижные формы Zn определялись в трех параллельных вытяжках, экстрагирующее действие которых последовательно усиливалась: 1 н. раствор ацетатно-аммонийного буфера (ААБ) с $pH \sim 4.8$, извлекающий обменные формы катионов металлов; 1 % раствор ЭДТА в ААБ с $pH \sim 4.8$, извлекающий обменные и комплексные формы и 1 н. раствор HCl , извлекающий кислоторастворимые формы. По разнице между содержанием металла в вытяжке смешанного реагента и ААБ определялось количество комплексных соединений. Количество специфически сорбированных соединений находили по разнице между содержанием элемента в вытяжке HCl и ААБ. Сумма обменных, комплексных и специфически сорбированных соединений образовывали группу непрочно связанных (НС) соединений металла, характеризующую подвижность последнего в почве.

Для выявления роли почвенных компонентов в связывании металла было проведено сравнение двух схем последовательного химического фракционирования, существенно различающихся составом экстрагирующих растворов и их воздействием на почву [5]: схемы Тессьера [11] и схемы МакЛарена-Кроуфорда [9].

Метод Тессьера обеспечивал выделение пяти фракций соединений ТМ: обменной (1 М раствор $MgCl_2$), связанной с карбонатами (1 М раствор CH_3COONa), связанной с (гидр)оксидами Fe и Mn (0.04 М раствор $NH_2OH \cdot HCl$ в 25 % растворе CH_3COOH), связанной с органическим веществом (0.02 М раствор HNO_3 + 30 % раствор H_2O_2 , pH 2, затем 3.2 М раствор CH_3COONH_4 в 20 % HNO_3) и остаточной фракции ($HF + HClO_4$, затем концентрированной HNO_3).

Метод МакЛарена-Кроуфорда способствовал выделению аналогичных фракций соединений ТМ, но в другой последовательности: обменной (0.05 М раствор $CaCl_2$), специфически сорбированной (2.5 % раствор CH_3COOH), связанной с органическим веществом (1 М раствор $K_4P_2O_7$, pH 11), связанной с (гидр)оксидами Fe и Mn (0.14 М раствор $H_2C_2O_4$ + 0.2 М $(NH_4)_2C_2O_4$ (реактив Тамма) при ультрафиолетовом облучении) и остаточной фракции ($HClO_4 + HNO_3$).

Метод МакЛарена традиционно считается наиболее селективным, так как для выделения фракций ТМ, связанных с органическим веществом и (гидр)оксидами Fe и Mn, применяются более слабые экстрагенты, чем в схеме Тессьера. В методе Тессьера используются более сильные экстрагирующие растворы, которые действуют на почвенные соединения ТМ более агрессивно, но менее селективно, то есть могут извлекать металлы одновременно и из других фракций. Однако процедура химического фракционирования по методу Тессьера широко используется в России и Европе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Общее содержание Zn в исследуемой незагрязненной почве составляло 85 мг/кг, что характеризовало фоновый уровень содержания данного элемента в черноземе обыкновенном. Установлена следующая закономерность в распределении Zn по формам соединений, мг/кг: специфически сорбированные (10.9 ± 1.2) > комплексные (1.4 ± 0.1) > обменные (0.3 ± 0.01). Содержание наиболее подвижных обменных форм Zn было очень низким – всего 0.3 мг/кг. Растения с таким содержанием этого элемента в почве могут испытывать его дефицит, что может повлиять на их рост и развитие. Низкая подвижность Zn в черноземе обыкновенном объясняется присутствием высокодисперсных мицеллярных форм карбонатов в виде «карбонатной плесени» [6].

В незагрязненном черноземе Zn достаточно прочно закреплен – только 15 % этого металла находится в потенциально подвижном состоянии (табл.). Непрочно связанные соединения в основном представлены специфически сорбированными формами – 87 %.

Таблица. Состав непрочно связанных соединений Zn в черноземе обыкновенном.

Доза внесения металла, мг/кг	ОС, мг/кг	НС, мг/кг	НС, % от ОС	обменные/комплексные/специфически сорбированные, % от НС
Без внесения	85	13	15	2/1/87
300	368	233	63	15/22/63

Примечания: ОС – общее содержание; НС – непрочно связанные соединения.

При искусственном загрязнении почвы ацетатом Zn в дозе 300 мг/кг его общее содержание в почве увеличилось в 4.3 раза (табл. 1). Распределение Zn в группе НС соединений металла не меняется и аналогично незагрязненной почве, мг/кг: специфически сорбированные (146.5 ± 15.2) > комплексные (51.8 ± 4.7) > обменные (34.5 ± 3.9). При этом возросло абсолютное содержание трех форм подвижных соединений металла: обменных соединений в 115 раз, комплексных – в 37 и специфически сорбированных – в 13 раз.

Загрязнение почвы сопровождается заметным увеличением содержания непрочно связанных соединений Zn (63 % от общего содержания), которые так же, как и в незагрязненной почве, в основном были представлены специфически сорбированными формами, однако в меньшем количестве (63 % от группы НС) по сравнению с исходной почвой (табл. 1). Происходит заметное увеличение доли обменных форм металла.

Методами последовательной химической экстракции (схемы Тессьера и МакЛарена-Кроуфорда) выявлено, что главной особенностью фракционного состава соединений Zn в черноземе, вне зависимости от использованного метода, являлось значительное преобладание остаточной фракции над всеми остальными при одновременно низком содержании первых двух – наименее прочно связанных с почвой (рис.). Однако наблюдались различия в использовании двух методов при определении фракции Zn, связанной с органическим веществом – содержание металла в данной фракции в 2.2 раза выше при применении метода Тессьера. Это, вероятно, обусловлено применением в данном методе перекиси водорода в кислой среде при нагревании для полного разрушения органического вещества. В таких агрессивных условиях возможно также частичное разрушение глинистых минералов и несиликатных соединений железа, что могло и повлиять на полученный результат.

При загрязнении почвы ацетатом Zn в дозе 300 мг/кг наблюдалось снижение доли наиболее прочно закрепленной остаточной фракции в 1.2 раза и, как показывают результаты параллельных экстракций, возрастание почти в 4 раза обменной фракции по результатам использования обоих методов. Вместе с тем, в методе МакЛарена сохранялось преобладание фракции металла в кристаллических решетках глинистых минералов и его доля была несколько выше, чем при извлечении методом Тессьера. В последнем случае в связи с использованием более агрессивных экстрагентов, происходило дополнительно извлечение металла из предыдущих фракций.

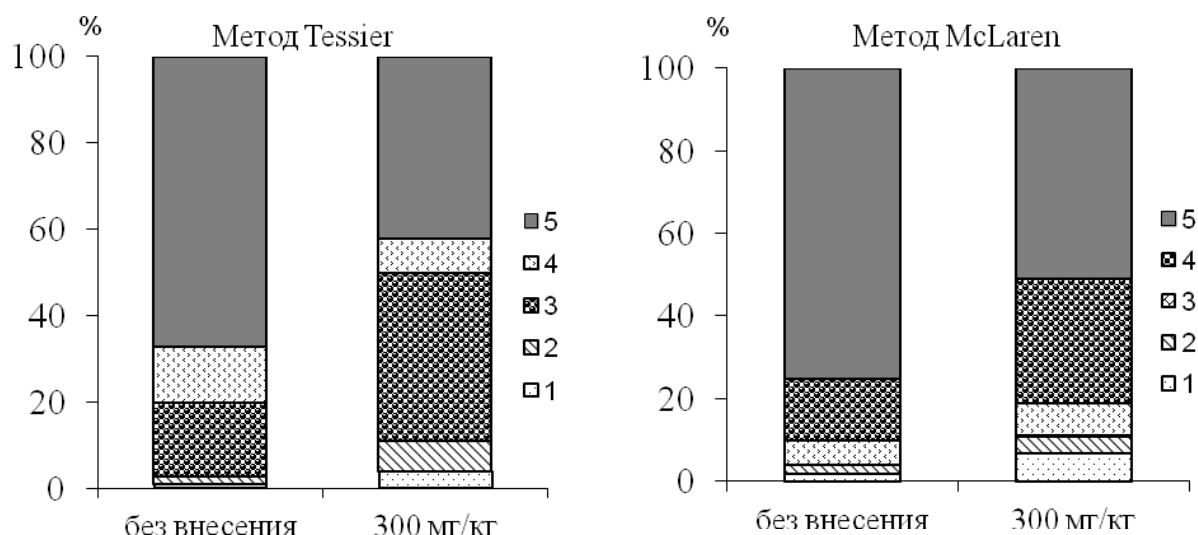


Рисунок. Распределение Zn по фракциям в незагрязненном и загрязненном черноземе обыкновенном, % от общего содержания.

Фракции: 1 – обменная, 2 – связанная с карбонатами, 3 – связанная с (гидр)оксидами Fe и Mn, 4 – связанная с органическим веществом, 5 – остаточная.

Относительное содержание Zn в обменной фракции при экстракции методом Мак-Ларена было почти в 2 раза выше, чем при использовании метода Тессьера. Следует отметить, что 1 М раствор хлорида магния – термически устойчивая соль, мешающая проведению атомно-адсорбционного определения ТМ [5]. Количество Zn во фракции, связанной с оксидами и гидроксидами Fe-Mn, независимо от используемого метода фракционирования, являлось самым большим после остаточной фракции (рис. 1). Относительное содержание исследуемого металла в данной фракции составляло 31–39 %. Это было связано с тем, что Zn имеет достаточно большое сродство к реакционным центрам минеральных почвенных компонентов [2, 5, 10].

В целом, фракционный состав соединений Zn в почве различался в зависимости от используемого метода последовательного химического фракционирования, при этом общие закономерности распределения металла слабо зависели от применяемого метода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, совмещение методов параллельных экстракций и последовательного фракционирования позволили не только установить взаимодействие металла с почвенными компонентами, но и определить подвижность его соединений. Выявлена низкая подвижность Zn в незагрязненном черноземе обыкновенном, которая заключалась в незначительном содержании его в составе непрочно связанных соединений. Наибольшее содержание металла аккумулировалось в компонентах глинистых минералов. При загрязнении почвы возрастала подвижность Zn. Происходило его накопление преимущественно в тех компонентах почвы, к которым металл имел большее сродство. Существенную роль в закреплении Zn играли оксиды и гидроксиды Fe-Mn.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Агрохимические методы* исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
2. Бауэр Т.В., Минкина Т.М., Манджиева С.С. и др. Фоновое содержание и состав соединений цинка, меди и свинца в черноземе обыкновенном естественных ландшафтов Ростовской области // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2015. № 4(20). С. 186–199.
3. Водяницкий Ю.Н. Сродство тяжелых металлов и металлоидов к фазам-носителям в почвах // Агрохимия. 2008. № 9. С. 87–94.

4. *Качинский Н.А.* Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1958, 193 с.
5. *Ладонин Д.В., Карпунин М.М.* Фракционный состав соединений никеля, меди, цинка и свинца в почвах загрязненных оксидами и растворимыми солями металлов // Почвоведение. 2011. № 8. С. 953–965.
6. *Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г.* Состав соединений тяжелых металлов в почвах. Ростов н/Д.: Эверест, 2009. 208 с.
7. *Практикум по агрономической химии* / Под ред. А.В. Петербургского. М.: Изд-во Сельскохозяйств. лит-ры, 1963. 592 с.
8. *Шаймухаметов М.Ш.* К методике определения поглощенных Са и Mg в черноземных почвах // Почвоведение. 1993. № 12. С. 105–111.
9. *McLaren R.G., Crawford D.W.* Studies on soil copper. I. The fractionation of copper in soils // J. Soil Sci. 1973. V. 24. Is. 2. P. 172–181.
10. *Minkina T.M., Bauer T.V., Batukaev A.A. et al.* Transformation of technogenic Cu and Zn compounds in chernozem // Environmental Engineering and Management Journal. 2015. V. 14. No. 2. P. 481–486.
11. *Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M.* Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Trace Metals // Analytical chemistry. 1979. V. 51. № 7. P. 844–850.

Работа рекомендована д.б.н., профессором Т.М. Минкиной.

УДК 631.474

ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЧУЙСКОЙ КОТЛОВИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

А.Н. Безбородова

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск

В статье освещен опыт применения ГИС-технологий (программного обеспечения и космических снимков) для решения задач почвенного картографирования. Районом исследования является Чуйская межгорная степная котловина Юго-Восточной провинции Горного Алтая, характеризующаяся расположением в криоаридных условиях высокогорья. Дана характеристика почвенного покрова и специфики местного почвообразования. Раскрыты принципы использования основных дешифровочных признаков и космических снимков. Обосновано использование примененного программного обеспечения.

ВВЕДЕНИЕ

Информация о почве – достаточно сложная система, включающая широкий набор количественных и качественных характеристик. Полноценная ее систематизация, эффективное и оперативное использование для последующего решения различных задач возможны при организации упорядоченных информационных потоков в едином научно-информационном пространстве. Наличие множества данных, сложность восприятия, комплексность анализа и трудоемкость моделирования обусловили привлечение современных информационных технологий.

Геоинформационные системы (ГИС) обеспечивают возможность проводить детальное описание строения поверхности исследуемой территории, особенностей почвенного покрова, создать условия для объективного отображения пространственной вариации эрозионных, геохимических и почвообразовательных процессов, поскольку все они имеют ярко выраженное пространственное распределение. Существенную роль при почвенном картографировании имеет предварительная компьютерная обработка космических снимков, преобразование изображений (контрастирование, выбор полученных вариантов

цветового синтеза, сегментация изображения и т.д.), а также методы неконтролируемой классификации (кластеризация). Космический снимок – это двухмерное изображение, полученное в результате дистанционной регистрации техническими средствами собственного или отраженного излучения. Оно предназначено для обнаружения, качественного и количественного изучения объектов, явлений и процессов путем дешифрирования, измерения и картографирования (Чандра, Гош, 2008).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом нашего исследования является почвенно-растительный покров Чуйской котловины.

Районом исследований является высокогорная Чуйская котловина, представляющая собой в геологическом отношении межгорную котловину в пределах юго-восточной части Горного Алтая. Она располагается на абсолютных высотах 1750–1900 м, имея форму овала; ее протяженность с запада на восток составляет около 70 км, с севера на юг – около 40 км. Чуйская котловина со всех сторон ограничена горными хребтами: Курайским (до 3412 м) на севере, Северо-Чуйским хребтом (до 4170 м) на западе, плато Сайлюгем на юге и хребтом Чихачева (до 3505 м) на востоке.

Для создания цифровых моделей почвенных карт ключевых участков были использованы спектрзональные космические снимки Landsat 7 2006 года, с 30-метровым разрешением в системе координат WGS-84. Снимки, выполненные в разные сезоны года, обнаруживают различие цветовых диапазонов спектрзональных каналов. Использовались цветные синтезированные изображения с чередованием 5, 4, 3 каналов. Обработка космических снимков была проведена в программной среде Erdas Imagine 8.7. Преобразованные космические снимки из формата *.img были импортированы в формат *.geotiff, для последующей работы в программном продукте MapInfo Professional, который позволяет конвертировать полученные данные в общедоступные для современных геоинформационных систем форматы. Информативность космических снимков, использованных в качестве растровых изображений, позволила создать почвенные карты ключевых участков в масштабе 1:100 000.

В основу создания тематических почвенных карт был положен метод визуального дешифрирования. Вопросы дешифрирования почвенного покрова достаточно подробно освещены в работах многих исследователей (Толчельников, 1966; Рубцов, 1998; Лабуткина, 2004; Трифонова и др., 2005). Согласно теории логического познания П.Я. Райзера (1964), дешифрирование – это процесс опознавания, обнаружения и интерпретации исследуемых объектов, изображенных (прямых) и не изображенных (косвенных) на космическом снимке, установление их количественных и качественных характеристик (свойств) и выявление существующих между ними связей во времени и пространстве.

Формирование почвенного покрова контролируется морфометрическими характеристиками рельефа, который, в свою очередь, является одним из элементов ландшафта (Овечкин, Савин, 1990). Обладая значительной обзорностью, материалы космической съемки позволяют изучать и картографировать закономерные сопряжения почв в пространстве, определять ведущие компоненты ландшафта в формировании изображения и установлении границ почвенных контуров по снимкам. Для дешифрирования космических снимков в процессе картографирования почвенного покрова используются дешифровочные признаки (тон, цвет, размер и форма контуров, рисунок изображения поверхности, а при многозональных снимках – спектральный образ объекта), но всегда необходимо учитывать, что почва, как целостный природный объект, не всегда находит отображение на снимках. В случае распахки, отсутствия посевов и высокой степени разреженности растительного покрова, на снимках видна его поверхность и проявляются отдельные его свойства (гумусированность, влажность, карбонатность, засоленность, гранулометрический состав верхнего слоя и др.). Индикационная роль каждого дешифровочного признака и его взаимосвязь с остальными элементами ландшафта во многом зависят от гео-

графической обстановки. Для решения поставленных задач был выбран ключевой участок, обладающий наибольшей репрезентативностью. Для него была создана цифровая модель почвенной карты посредством ГИС-технологий (Зяtkова, 2002; Дитц, Смоленцев, 2002).

Цифровая модель почвенной карты включает два векторных слоя:

1) полигональный (Area), включающий в себя контуры почв, каждый из которых содержит следующую атрибутивную информацию: название почвы, положение ее в рельефе, высоту над уровнем моря, растительный покров, площадь контура;

2) точечный (Point), содержащий информацию о почвенных разрезах (опорные разрезы, заложенные во время полевых работ и данные литературных источников).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Дешифрирование каштановых почв. Дешифрирование космических снимков Чуйской котловины с почвенным покровом каштановых и светло-каштановых почв определяется естественной растительностью, степенью проективного покрытия, содержанием карбонатов и солей на поверхности, а также разной степенью щебнистости. Эти свойства увеличивают отражательную способность, что наглядно отображается в виде увеличения яркости цвета контура и увеличении контрастности текстуры изображения. Растительный покров каштановых почв представлен злаково-полынными группировками с проективным покрытием 50–60 %. В зоне опустыненных степей светло-каштановые почвы имеют широкое распространение, занимая как склоны, так и шлейфы склонов южной и северной экспозиций. Они формируются под полынно-типчаковой растительностью с проективным покрытием 15–20 %. В связи с сильной щебнистостью и слабым проективным покрытием эти почвы отображаются на снимках в виде контрастной мелкопятнистой текстуры изображения.

Дешифрирование лугово-каштановых почв. Лугово-каштановые почвы распространены на слабоволнистых дренированных равнинах. Растительный покров лугово-каштановых почв представлен разнотравно-злаковой растительностью с проективным покрытием – 70–80 %. На космических снимках характеризуемые участки изображаются неоднородно окрашенными контурами с шероховатым и перистым рисунком и линейно вытянутыми элементами микрорельефа.

Дешифрирование луговых почв. На исследуемом ключевом участке значительная доля в составе почвенного покрова приходится на гидроморфные почвы. Гидроморфное почвообразование преобладает на отрицательных элементах мезорельефа и на слабо дренированных водораздельных пространствах под влиянием грунтового или поверхностного увлажнения. Луговые почвы развиваются на неодинаковых формах рельефа и часто на перифериях болотных депрессий, на слабодренированных участках водораздельных притоков. От расположения их в рельефе зависит форма дешифрируемых контуров. В Чуйской котловине луговые почвы по большей части засолены и формируются в комплексах с лугово-болотными и болотными почвами или с солончаками, создавая комплексный контрастный рисунок изображения. Луговые почвы выделяются на космических снимках ярким зеленым цветом со слаборазмытыми пятнистыми включениями более светлого тона, свидетельствующими о присутствии злаковых группировок. Малая доля степных луговых злаков в растительном покрове дает более однородный тон изображения. Изображение на снимке, соответствующее контурам луговых почв, представляет собой слабо-контрастный размытый пятнистый рисунок, обусловленный наличием злаково-луговой растительности. С увеличением высоты и изменением водно-солевого режима происходит изменение почвенно-растительного покрова; выделяются контуры лугово-болотных солончаковых почв в комплексе с солончаками, имеющими полосчатый рисунок изображения, обусловленный элементами рельефа.

Дешифрирование болотных почв. В Чуйской котловине они формируются в пониженных местоположениях, примыкающих к долинам рек и их притоков. Контрастность

изображения проявляется в виде ярко-зеленных и бурых тонов. Болотные почвы были выделены в комплексе с лугово-болотными, солончаками, а также в виде самостоятельных контуров.

Дешифрирование солончаковых комплексов. Особенностью почвенного покрова Чуйской котловины является распространение солончаковых комплексов. Естественная растительность (как дешифровочный признак почвенного покрова засоленных местообитаний) была учтена по различию рисунка и структуре изображения, которые на снимках определяются сменой растительности, изменением физических и химических характеристик почв, условий водного и солевого режимов в зависимости от положения в рельефе. Изменение градиента высот в микрорельефе приводит к перераспределению влаги, изменению видового состава и степени проективного покрытия. Основным дешифровочным признаком при дешифрировании солончаковых комплексов является их приуроченность к скоплениям термокарстовых озер, отображающихся на снимках в виде контрастных темно-синих округлых пятен. Солончаки формируются в комплексе с луговыми солончаковыми почвами. Изображение их на снимке характеризуется белесо-полосной и контрастно-пятнистой текстурой – чередованием зеленых пятен луговых солончаковатых почв на сине-сером фоне солончаков луговых, растительность которых представлена солеросами.

Дешифрирование аллювиальных почв. Аллювиальные почвы имеют ограниченное распространение и формируются в поймах рек. Участки с контурами этих почв обычно отличаются волнистым рельефом. Здесь встречается большое количество стариц. Кроме того, на таких участках распространены прирусловые валы, останцы коренных берегов и террас, а также другие положительные мезоформы рельефа. Растительный покров представлен осоковыми и пырейными группировками с проективным покрытием 80–100 %. Более повышенные участки заняты разнотравно-луговыми группировками с проективным покрытием 60–80 %. На снимках контуры аллювиальных почв прирусловых участков, за счет большого разнообразия форм рельефа, изображаются характерным пестрым рисунком с петлеобразными переплетающимися формами, отражающими русловую деятельность рек. На космических снимках аллювиальные почвы, за счет неоднородного растительного покрова, изображаются контрастными пятнами разных оттенков зеленого цвета.

Дешифрирование слаборазвитых почв каменистых склонов. Эти почвы приурочены к выходам плотных коренных пород (песчаников, гранитоидов, кварцитов). Они встречаются на нижних участках склонов северной и южной экспозиции, часто распространяются фрагментарно, перемежаясь с обнажениями пород. На космических снимках участки со слаборазвитыми почвами каменистых склонов изображаются полосчато-шероховатым рисунком. Выпас скота, нарушающий дернину и уплотняющий почву, способствует усилению процессов засоления и подтягиванию солей к поверхности почвы. Пастбищная нагрузка приводит к упрощению и обеднению видового состава растительных сообществ. На получаемых изображениях эти участки отмечены осветлением тона по сравнению с участками с ненарушенной поверхностью.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, Чуйская котловина характеризуется суровым, ультраконтинентальным климатом (годовое количество осадков 90–110 мм, среднегодовая температура до –8.5°C); такое скудное увлажнение определяет широкое распространение опустыненных степей, под которыми, главным образом, формируются каштановые и светло-каштановые почвы.

Каштановые маломощные щебнистые и светло-каштановые пустынно-степные маломощные щебнистые почвы представляют основной фон почвенного покрова котловины и занимают большую часть выположенных участков, площади их в пределах ключевого участка составляют 18.88 и 24.47 тыс. га соответственно. Каштановые маломощные щебнистые орошаемые почвы занимают орошаемые территории на шлейфах склонов южной экспозиции; их площадь на ключевом участке равна 4.22 тыс. га. Каштановые почвы ши-

роко распространены на данном ландшафте. Они имеют схожее морфологическое строение с темно-каштановыми почвами, отличаясь от них меньшим содержанием гумуса.

Светло-каштановые почвы – наиболее ксероморфный подтип из почв каштанового ряда. Условия недостаточного увлажнения, отражаемые ксерофильностью и малой биологической продуктивностью растительного покрова, придают светло-каштановым почвам существенные отличия от каштановых и темно-каштановых почв. Эти отличия состоят, прежде всего, в меньшем содержании гумуса, менее дифференцированном профиле и менее контрастной выраженности горизонта аккумуляции карбонатов.

Лугово-каштановые маломощные почвы формируются в полугидроморфных условиях с поемным режимом; их площадь составляет 9.39 тыс. га. Луговые солончаковатые почвы в комплексе с солончаками, площадью 5.95 тыс. га, располагаются на первой надпойменной террасе р. Чуи. Немаловажным фактором формирования этих почв является многолетняя мерзлота, с которой связаны многочисленные блюдцеобразные западины термокарстовых озер с типичными для них выцветами хлоридных и сульфатных солей на поверхности. Для луговых почв характерно временное обильное увлажнение всего профиля, сменяемое периодами значительного иссушения верхних горизонтов. Луговые солончаковатые почвы являются преобладающими в типе луговых почв и имеют выпотной тип водного режима. Контурные солончаковатых луговых почв редко бывают однородными; обычно они являются комплексными, включающими большие или меньшие участки солончаков.

Болотные торфянисто-глеевые солончаковатые почвы формируются на низком гипсометрическом уровне; их площадь составляет 9.00 тыс. га. Эти почвы являются устойчиво переувлажненными (с очень короткими периодами неглубокого подсыхания) и отличаются поверхностным оторфовыванием, сильным и неглубоким от поверхности оглеением.

Аллювиальные лугово-болотные почвы локализуются по долинам притоков р. Чуи; их площадь равна 4.91 тыс. га. Аллювиальные луговые солончаковатые почвы, расположенные непосредственно в долине реки Чуи, занимают площадь 5.40 тыс. га; аллювиальные примитивные сильнощелочистые почвы сформированы временными водотоками, впадающими в р. Чуя. Среди аллювиальных почв они занимают наиболее высокие гипсометрические отметки, не имея признаков ни заболоченности, ни засоления. Их площадь составляет 6.38 тыс. га.

Горно-степные каштановидные почвы, находящиеся в верхних частях склонов южной экспозиции, имеют незначительную площадь (1.42 тыс. га). Слаборазвитые почвы каменистых склонов северной и южной экспозиций ключевого участка занимают 6.80 тыс. га. Вследствие очень суровых климатических условий примитивные почвы скальных отложений не имеют сплошного растительного покрова и представляют собой преимущественно минеральные образования.

Использование для дешифрирования тех или иных признаков в каждом конкретном случае устанавливается на основе географического изучения территории, определения закономерных взаимосвязей компонентов ландшафта и приуроченности одних объектов к другим.

Применение ГИС-технологий с привлечением космических снимков позволяет поднять решение задач почвенной картографии на современный уровень.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Дешифрирование космической информации* для целей картографического обеспечения охраны окружающей среды. Практическое руководство. – М.: ГУГК, 1982. – 124 с.
2. *Дитц Л.Ю., Смоленцев Б.А.* Геоинформационные системы в почвенной картографии. – Новосибирск: Наука. Сиб отд-ние, 2002. – 78 с.
3. *Зятькова Л.К.* Дистанционные исследования природных ресурсов и основы природопользования. – Новосибирск: Изд-во СГГА, 2002. – 355 с.

4. *Лабутина И.А.* Дешифрирование аэрокосмических снимков. – М.: Аспект Пресс, 2004. – 184 с.
5. *Овечкин С.В., Савин И.Ю.* Дешифрирование по космическим снимкам эколого-почвенных особенностей лесостепной зоны Среднерусской возвышенности // *Аэрокосмические методы в почвоведении и их использование в сельском хозяйстве.* – М.: Наука, 1990. – С. 103–109.
6. *Райзер П.Я.* Опыт приложения теории познания и логики к дешифрированию аэро-снимков // *Комплексное дешифрирование аэроснимков.* – М.; Л.: Наука, 1964. – С. 176–186.
7. *Рубцов Б.Г.* Геоинформационная система MapInfo. – М.: САПР и графика, 1998. – 60 с.
8. *Толчельников Ю.С.* Дешифрирование по аэроснимкам почв Северного Казахстана. – М.; Л.: Наука, 1966. – 182 с.
9. *Трифонов Т.А., Мищенко Н.В., Краснощеков А.Н.* Геоинформационные системы и дистанционное зондирование в экологических исследованиях. – М.: Академический Проект, 2005. – 325 с.
10. *Чандра А.М., Гош С.К.* Дистанционное зондирование и географические информационные системы. – М.: Техносфера, 2008. – 312 с.

УДК 632.934

ВЛИЯНИЕ ШАГА СМЕШЕНИЯ НА МИГРАЦИЮ ПЕСТИЦИДОВ В ПОЧВЕ

А.А. Белик^{1,2}

¹Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова,

²ФГБНУ Всероссийский институт фитопатологии, Москва

Для оценки риска загрязнения окружающей среды пестицидами актуально использовать математические модели, позволяющие учитывать большое разнообразие природных факторов. Миграция веществ в почве происходит в основном за счет конвекции с потоком воды, и усложняется за счет специфических почвенных явлений, таких как дисперсия, Коэффициент, учитывающий диффузность фронта движущегося раствора в почвенных порах различного диаметра и формы, получил название «шаг смешения». Варьированием данного параметра в математических моделях возможно имитировать наличие преимущественных потоков в почве.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время активное развитие сельского хозяйства требует использования средств защиты растений. Однако необдуманное применение пестицидов, опасных как для человека, так и для окружающей среды, может привести к неблагоприятным последствиям. В процессе разработки и регистрации пестицидов обязательна их экологическая оценка, которая базируется на двух ключевых понятиях: оценке опасности и оценке риска. Оценка риска позволяет определить вероятность наступления неблагоприятного события в конкретных условиях и в дальнейшем подобрать некое управленческое решение проблемы. Главным инструментом оценки риска являются математические модели, позволяющие учитывать многообразие ситуаций, что недостижимо в условиях эксперимента. Но для работы физически обоснованных моделей необходимо иметь начальные условия, граничные условия и экспериментальное обеспечение (физические и химические свойства почв, пестицидов и т.д.). Поскольку экологическая оценка пестицидов включает в себя обязательное исследование их подвижности в почве, то полученные в лабораторных исследованиях параметры миграции пестицидов далее используются в математических моделях для прогноза концентрации токсикантов в окружающей среде.

Известно, что миграция в почве веществ происходит за счет конвекции с потоком воды и в значительно меньшей степени диффузии. Сложность строения порового пространства, неоднородность скоростей потока в порах различного диаметра и формы обуславливает диффузность фронта движущегося раствора. Коэффициент, учитывающий данное явление, получил название «шаг смещения». Данный параметр возрастает с увеличением неоднородности почвенных частиц, извилистости почвенных пор и варьирует в значительных пределах (Шеин, 2005). И именно этот параметр в качестве входного используется в математических моделях для расчета миграции пестицидов.

Существующие на данный момент математические физически обоснованные модели транспорта пестицидов в почве могут быть разделены на две основные категории: хроматографические потоковые модели (ХП) и модели, учитывающие наличие в почве преимущественных потоков (ПП) (Шеин и др., 2009). Поскольку модель PEARL, относящаяся к группе хроматографических потоковых моделей, плохо описывает явление миграции в трещиноватых почвах, то варьированием шага смещения возможно имитировать наличие преимущественных потоков. Это важно, т.к. за счет именно этого механизма загрязнители в сравнительно короткое время оказываются в грунтовых водах (Сметник А.А. и др., 2005).

Все выше сказанное определило цель работы, которая заключалась в исследовании гидрохимических параметров миграции пестицидов в колонках с почвенными монолитами для получения экспериментального обеспечения модели миграции пестицидов PEARL.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для проведения эксперимента были использованы монолиты высотой 10 см и диаметром 4.5 см и монолиты высотой 30 см и диаметром 10 см двух почв: дерново-подзолистой, имеющей среднесуглинистый гранулометрический состав и более легкой аллювиальной серогумусовой почвы. Кроме различий в гранулометрическом составе, аллювиальные почвы более богаты органическим веществом по сравнению с дерново-подзолистыми (табл. 1).

Таблица 1. Экспериментальное обеспечение почвенного блока модели PEARL.

Свойство	Дерново-подзолистая почва		Аллювиальная серогумусовая	
	РУ	ЕЛ	А	АС
Глубина /мощность, см	0–36/36	36–42/6	9–24/15	>24
Содержание общего углерода, %	1.10	0.20	2.09	1.22
рН	6.52	6.29	7.63	7.93
Плотность почвы, г/см ³	1.2	1.35	1.17	1.32
Плотность тв. фазы, г/см ³	2.60	2.78	2.59	2.58
Порозность	0.55	0.53	0.55	0.49
Гранулометрический состав	тяжелый суг.	средний суг.	легкий суг.	супесь
Параметры аппроксимации ОГХ уравнением ванн Генухтена				
θ_s	0.44	0.38	0.48	0.50
θ_r	<0.001	<0.001	0.170	0.181
α	0.020	0.005	0.014	0.017
n	1.2	1.4	2.2	2.4

Примечание: θ_r и θ_s – минимальная и максимальная влажности, в пределах которых расположена ОГХ; α , n – безразмерные параметры аппроксимации ОГХ, отражающие особенности её формы.

Почвы в колонках предварительно капиллярно насыщали на песчаной подложке, затем влажность была доведена до полной влагоемкости, проведен фильтрационный эксперимент (в качестве метки-иона был использован хлор) и построены «выходные кривые». Для больших монолитов проводилась одновременная фильтрация хлора и среднеподвижного (Методы оценки экологической опасности пестицидов при их регистрации, 2010) пестицида флуртамона, $K_{oc}=329 \text{ см}^3/\text{г}$ (данные PPDB).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Для выявления параметров, которые оказывают наибольшее влияние на прогноз содержания пестицида в стоке, в модели PEARL был выполнен анализ на чувствительность к входным параметрам (рис. 1).

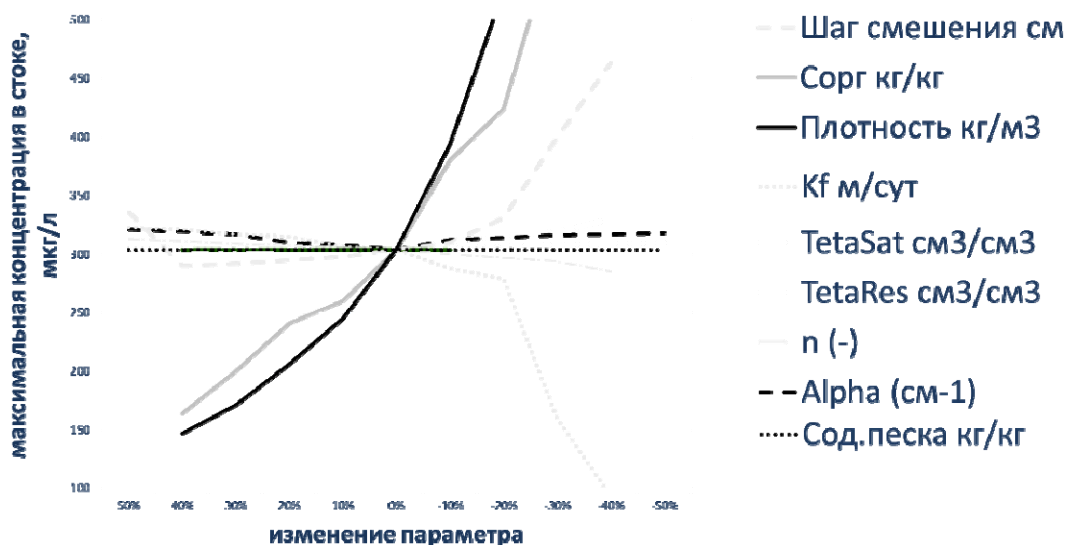


Рисунок 1. Чувствительность модели Pearl к изменению параметров (в качестве переменной состояния – максимальная концентрация пестицида в стоке с нижней границы профиля).

Последовательно изменяя каждый параметр, а именно физические свойства почв, параметры аппроксимации ОГХ, шаг смешения, в пределах его максимального и минимального значения, была получена скорость изменения прогнозируемой концентрации пестицида в стоке при изменении значения каждого параметра. Оказалось, что на прогноз влияют 4 основных параметра: плотность, содержание органического вещества, коэффициент фильтрации почв и шаг смешения. Таким образом, при прогнозе движения токсикантов в почве необходимо точно знать значение шага смешения, значение по «умолчанию» может дать существенную ошибку конечного прогноза.

Для определения шага смешения в почве в лабораторных условиях был проведен фильтрационный эксперимент с получением выходных кривых нейтрального несорбируемого иона и пестицидов. Характер фильтрации в колонках с малыми монолитами, высотой 10 см для двух почв был различным. Хотя значение порозности для двух почв оказалось одинаковым, 55 %, скорость фильтрации раствора значительно отличалась. Так в дерново-подзолистой почве скорость потока в порах составила 23.2 см/сут, а для более легкой, аллювиальной 341.8 см/сут и 120 см/сут в зависимости от горизонта. Однако, выходные кривые в координатах (с/с₀; такт) для верхних горизонтов двух почв получились практически идентичными (рис. 2, А).

В эксперименте с большими почвенными монолитами скорость фильтрации составила порядка 500–700 см/сут. Выходные кривые позволяют предположить различные механизмы движения хлора в почве. Для дерново-подзолистых почв наблюдается более быстрый выход иона хлора, тогда как для аллювиальных почв концентрация хлора в стоке увеличивается постепенно (рис. 2, Б).

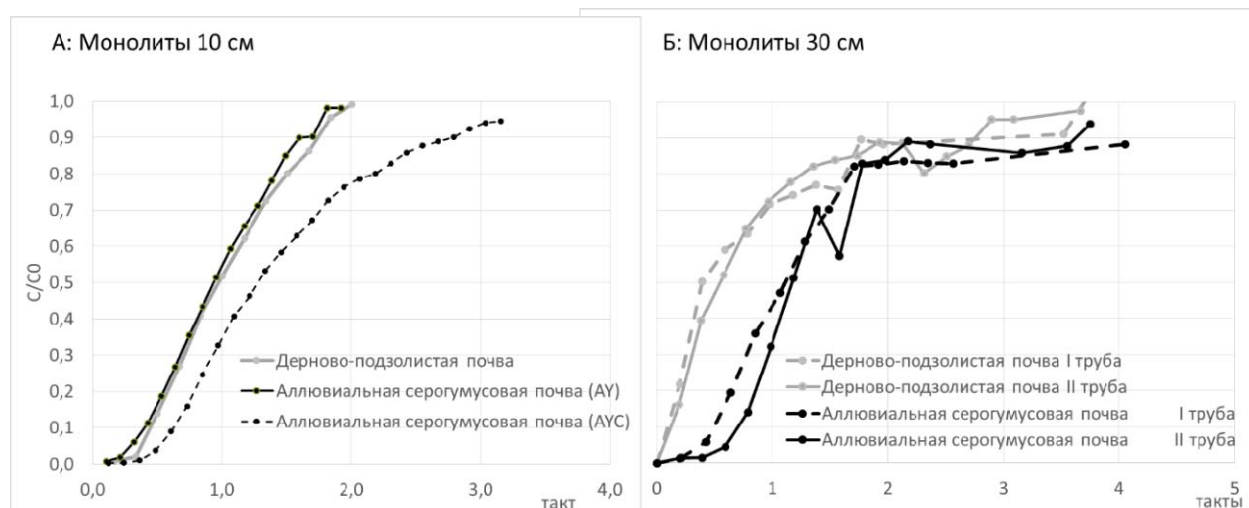


Рисунок 2. Выходные кривые хлорид-иона: А – малые монолиты, 10 см, Б – большие монолиты, 30 см.

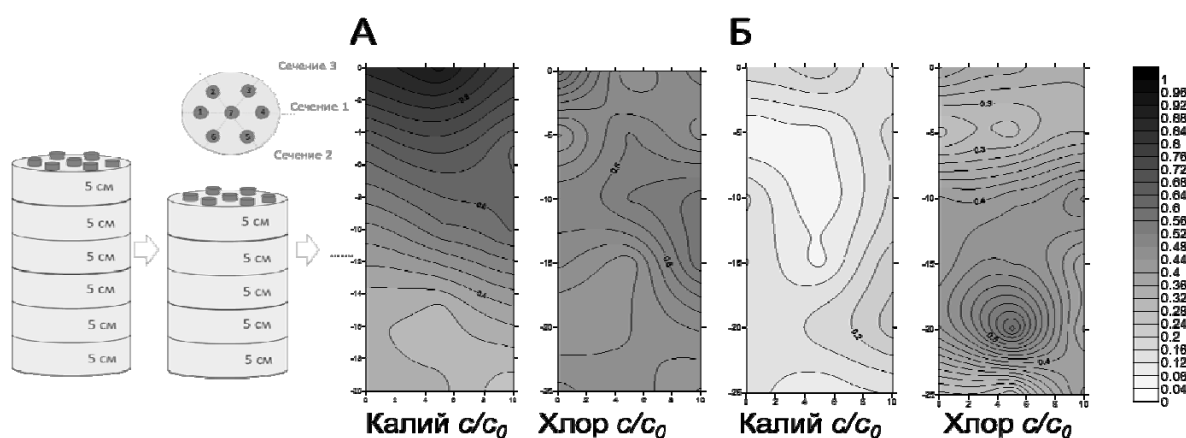


Рисунок 3. Профильное распределение калия и хлора в почвенных монолитах: А – аллювиальная серогумусовая почва, Б – дерново-подзолистая почва.

Уже на данном этапе можно сделать вывод, что значение шага смешения для дерново-подзолистых почв будет выше, чем для аллювиальных почв. А в дерново-подзолистой почве будет наблюдаться быстрое движение вещества по крупным порам. Этот же вывод можно сделать и по характеру профильного распределения плотности, влажности, хлора и калия в колонках (рис.3), для чего после окончания опыта и стекания гравитационной влаги из колонок монолиты были препарированы с шагом 5 см в горизонтальном и вертикальном направлениях. Для дерново-подзолистой почвы характерно равномерное распределение плотности, в то время как плотность в аллювиальной почве с глубиной увеличивается. Относительная объемная влажность в колонках заметно отличается. Колонки с аллювиальной почвой заметно более влажные, и, соответственно, содержание хлора в них заметно выше.

Определение численных значений параметра «шаг смешения» выполнено графическим методом (Глобус и др. 1998) и методом решения обратных задач с помощью адаптированной программы CFITIM (van Genuchten, 1981) (табл. 2).

Различий в значениях шага смешения для больших почвенных монолитов, рассчитанных с помощью графического метода, не наблюдается. Все значения близки к 66–70 см. Для маленьких колонок шаг смешения в дерново-подзолистых почвах около 2 см, а в аллювиальных почвах порядка 7–12 см. Более точным способом для расчета шага смешения является модель CFITIM, которая аппроксимирует данные выходной кривой и строит модель фильтрации. В эксперименте с большими монолитами для дерново-подзолистых почв шаг смешения намного больше, чем для аллювиальных почв. Что же касается опыта с маленькими колонками, то здесь различия между почвами не наблюдаются.

Таблица 2. Значения гидрохимических параметров почв.

Тип почвы	Графический способ		Метод обратной задачи	
	D см ² /сут	шаг, см	D см ² /сут	шаг, см
большие монолиты, h=30 см				
дерново-подзолистая, 1	34280	70.7	19539	40.3
дерново-подзолистая, 2	37439	66.8	36086	64.4
аллювиальная серогумусовая, 1	40146	66.0	2684	4.4
аллювиальная серогумусовая, 2	51684	70.3	5663	9.3
малые монолиты, h=10 см				
дерново-подзолистая (PY)	38	1.7	24	1.0
аллювиальная серогумусовая (AY)	4197	12.3	678	2.0
аллювиальная серогумусовая (AYC)	946	7.9	323	2.7

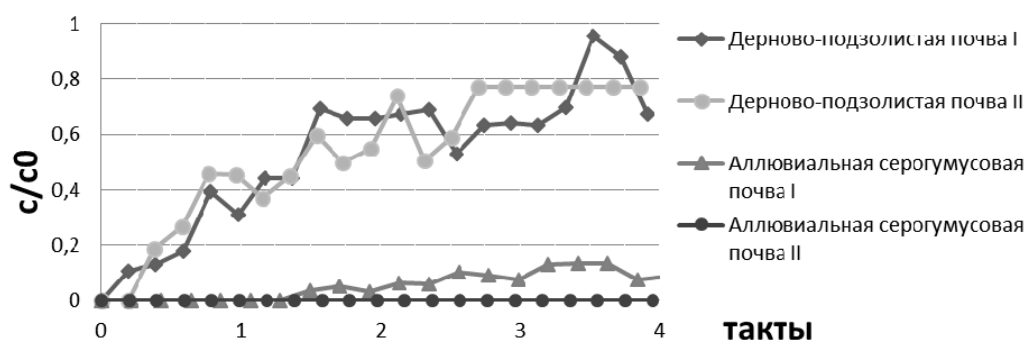


Рисунок 4. Выходные кривые флуртамона в элюате из монолитов (30 см) дерново-подзолистой почвы и серогумусовой аллювиальной (I, II – повторности для каждой почвы).

Кроме того, параллельно был проведен фильтрационный эксперимент с переносом подвижного пестицида флуртамона. Содержание пестицидов в фильтрате из колонки с дерново-подзолистой почвой заметно возрастает со временем, тогда как фильтрат из аллювиальной почвы содержит незначительные количества пестицида, несмотря на достаточно высокую подвижность пестицида (рис. 4). Отличие выходных кривых пестицида по сравнению с ионом хлора связано, конечно, с сорбцией пестицида органическим веществом почвы. Чем выше содержание гумуса в почве, тем медленнее пестицид будет продвигаться вниз по профилю. Этим же объясняется и отличие миграции флуртамона в двух почвах (в аллювиальной почве в два раза больше содержание органического вещества, чем в дерново-подзолистой почве).

Однако, только большей сорбции флуртамона аллювиальной почвой недостаточно для таких резких отличий в миграции. И величина шага смещения количественно показывает (табл.2), что в дерново-подзолистой почве наблюдается перенос хлора по крупным порам (механизм преимущественной миграции). Следовательно, ожидается, что и пестицид будет переноситься с преимущественными потоками. При этом, пестицид не будет сорбироваться почвой в той же мере, как если бы он переносился только с конвективным потоком (Сметник и др., 2005). Действительно, вынос флуртамона уже в первом такте составил до 40–50 % в дерново-подзолистой почве, в то время как в аллювиальной общий вынос за 4 такта не достиг и 20 %.

ВЫВОДЫ

Оценить экологический риск загрязнения окружающей среды пестицидами можно с помощью математических моделей. Однако для работы моделей требуется серьезное экспериментальное обеспечение. Оценка чувствительности модели PEARL к входным параметрам показала, что шаг смещения – один из параметров, от которых существенно зависит прогноз миграции пестицидов в почвах, а значит и дальнейшая оценка риска, и процедура управления им.

В хроматографических потоковых моделях, таких как PEARL, возможен учет явления быстрой миграции вещества по макропорам за счет увеличения вводимого шага смешения.

Различные методы расчета шага смешения – графический метод и метод обратной задачи – дают существенное различие в значениях шага смешения. Графический метод завышает значения по сравнению с методом обратной задачи в 3–12 раз.

Экспериментальные значения шага смешения возрастают с увеличением масштаба исследования. Это связано прежде всего с тем, что при укрупнении масштаба увеличивается неоднородность сложения почвы, больше возможность наличия трещин, крупных пор, ходов почвенной мезофауны и других факторов, приводящих к дифференциации почвенного пространства.

Сравнение шага смешения для тяжелосуглинистой дерново-подзолистой почвы и легкосуглинистой аллювиальной серогумусовой почвы показало, что данный параметр зависит от гранулометрического состава почвы и ее сложения. Высокие значения характерны для почв с более неоднородным поровым пространством и/или наличием крупных пор.

Характер фильтрации пестицида заметно отличается от несорбирующегося иона хлора, концентрация пестицида в элюате увеличивается со временем постепенно. За 4 такта в дерново-подзолистой почве выход вещества составил 78–98 %, в аллювиальной не более 15 %. Это объясняется прежде всего его сорбцией органическим веществом почв, которого в аллювиальной почве в 2 раза больше, чем в дерново-подзолистой.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шеин Е.В., Кокорева А.А., Горбатов В.С., Умарова А.Б., Колупаева В.Н.* Оценка чувствительности, настройка и сравнение математических моделей миграции пестицидов в почве по данным лизиметрического эксперимента / Е.В. Шеин, А.А. Кокорева, В.С. Горбатов, А.Б. Умарова, В.Н. Колупаева // Почвоведение, 2009, № 7.
2. *Сметник А.А.* Миграция пестицидов в почвах / А.А. Сметник, Ю.Я. Спиридонов, Е.В. Шеин. – М.: РАСХН-ВНИИФ, 2005. – 327 с.
3. *Шеин Е.В.* Курс физики почв: Учебное пособие / Е.В. Шеин. – М.: Изд-во МГУ, 2005.
4. *Глобус А.М., Кокотов Ю.А., Неусыпкина Т.А.* Методы определения характеристик гидродинамической дисперсии во влагонасыщенных почвах // Агрофизические методы и приборы. Т.1. Физика почвы. СПб.: АФИ. 1998. С. 86–98.
5. *van Genuchten M.Th.* CFITIM Model: Estimates parameters in several equilibrium and non-equilibrium transport models from solute breakthrough curves, USDA Agricultural Research Service, 1981
6. *Методы оценки экологической опасности пестицидов при их регистрации* (руководство). ВНИИФ, 2010.–17 с.
7. *Pesticide Properties DataBase* [Электронный ресурс]. – URL: <http://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/atoz.htm>.

Работа рекомендована к.б.н., н.с. А.А. Кокоровой и к.б.н., ст.н.с. В.Н. Колупаевой.

ГУМУСООБРАЗОВАНИЕ В ПОЧВАХ, ФОРМИРУЮЩИХСЯ НА КАРБОНАТНЫХ ОТВАЛЬНЫХ ПОРОДАХ КАРЬЕРА ПЕЧУРКИ, ЛЕНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ

А.М. Булышева

Санкт-Петербургский государственный университет

В работе рассматриваются особенности процесса гумусообразования в почвах, образованных на рекультивированных территориях карьера по добыче известняка. Обсуждаются параметры группового и фракционного состава гумуса молодых почв, развивающихся в данных условиях.

ВВЕДЕНИЕ

Ленинградская область богата различными полезными ископаемыми, в том числе нерудными, что связано геологическим строением местности. Здесь эксплуатируются несколько карьеров, где ведутся выработки известняковых пород для строительных нужд открытым способом, как наиболее экономически выгодным и простым в исполнении. На территории разработок возникают карьерные выемки и отвалы горных пород, которые лишены растительного и почвенного покрова, нарушается водный режим, нарушается перенос веществ и энергии.

Для восстановления продуктивности нарушенных земель проводилась рекультивация земель путем нанесения на отработанную территорию карьера вскрышных пород, нанесением ранее снятого плодородного слоя почвы, посадкой растений и проведением иных работ.

Рекультивированные отвалы карьеров по добыче известняка характеризуются грунтами с высоким содержанием обломков известняковой породы и характеризуются высокой долей скелетной части, что во многом определяет водно-воздушный и тепловой режим. Такие грунты более сухие, дренированные, лучше прогреваются, что увеличивает интенсивность протекающих процессов энерго- и массообмена.

Основными почвообразовательными процессами – преобразование минеральной части путем химического и биохимического выветривания и физическим дроблением известняковых пород, и органо-аккумулятивные процессы.

Целью данной работы является изучение процессов начального почвообразования на отвалах карьера по добыче известняка в связи с проблемой рекультивации земель.

В задачи исследования входило: изучение морфологической организации молодых слаборазвитых почв; изучение содержания и состава органического вещества молодых слаборазвитых почв; изучение основных химических характеристик молодых слаборазвитых почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являются почвы и грунты карьерно-отвального комплекса «Печурки» (Сланцевский район, Ленинградская область). Для изучения были выбраны территории, на которых проводилась рекультивация 3 года и 30 лет назад.

На участках, где проводилась рекультивация 3 года назад, были изучены литостраты, образованные нанесением супеси и суглинка. Разрез А1-13 был заложен на участке, где был нанесен супесчаный материал. Биологическая рекультивация здесь не проводилась. Второй разрез был заложен также на участке, где проводилась рекультивация 3 года назад. Здесь были использованы суглинистые вскрышные породы, которые перемешаны с обломками известняка различного размера. Согласно классификации и диагностике почв России 2004 года [5] данные грунты относились к литостратам. Разрез А3-13 был заложен

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта мол-а-вед 15-34-20844.

© А.М. Булышева, 2017

на территории, которая была рекультивирована 30 лет назад, были нанесены слои сначала супеси, а затем суглинка; были высажены сосны в ряды. Под посадками сосны за 30 лет образовалась серогумусовая почва.

В отобранных образцах были определены следующие показатели: содержания углерода органических соединений методом И.В. Тюрина, pH водной суспензии почвы, определение гигроскопической влажности, содержание карбонатов ацидиметрическим методом, групповой и фракционный состав гумуса.

Групповой и фракционный анализ гумуса был проведен методом Тюрина в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой. Для карбонатных почв методика анализа имеет некоторые особенности. При декальцировании почвы использовался 0.1 н. раствор соляной кислоты, а Ia фракция фульвокислот определялась из отдельной навески, которую заливали 0.1 н. серной кислотой [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В исследуемых литостратах и серогумусовой почве величина pH водной суспензии варьировала в диапазоне от 7.7 до 8.4, что характеризует щелочную реакцию. Высокая величина pH объясняется наличием карбоната кальция в мелкоземе почвы. Содержание карбонатов кальция в литостратах варьировало от 12.2 до 17.9 % от массы почвы. В литостратах значение pH с глубиной несколько падало, что связано с уменьшением количества карбоната кальция с глубиной. В серогумусовой почве, в целом, также наблюдалось снижение этого показателя с глубиной. В горизонте АУ1 величина pH меньше, чем в горизонте АУ2, что вероятно связано с процессами выщелачивания, идущими за счет накопления гумусовых кислот и за счет разложения кислого хвойного опада. Горизонт D характеризовался содержанием карбоната кальция в размере 1.2 % от массы почвы, что значительно ниже, чем в вышележащих горизонтах, что говорит о том, что минералогический состав горизонта D отличается от минералогического состава горизонтов АУ1, АУ2 и АС. Значения pH водной суспензии и содержание карбонатов кальция в изученных почвах представлено в табл. 1.

Таблица 1. Значения pH водной суспензии и содержание карбонатов кальция в почвах карьера Печурки.

№ разреза	Горизонт/ глубина, см	pH водной суспензии	CaCO ₃ , %
Литострат			
A1-13	0–13	8.36	12.86
	13–59	8.28	12.32
Литострат			
A2-13	0–14	8.38	18.08
	14–20	8.27	17.08
Серогумусовая легкосуглинистая почва, подстилаемая супесью			
A3-13	АУ1 (0–11)	8.08	12.98
	АУ2 (11–26(30))	8.12	18.66
	АС (26(30)–46)	8.04	17.38
	D (46–59)	7.68	1.18

В молодых слаборазвитых почв гумусообразование и гумусонакопление обеспечивало инициацию процессов почвообразования и дальнейшего развития почв. При регенерации нарушенных земель при добыче полезных ископаемых путем рекультивации земель параметры гумусового состояния почв и грунтов можно рассматривать как показатели эффективности мероприятий по восстановлению экосистем. В исследуемых литостратах, которые были образованы нанесением вскрышных пород на днище карьера 3 года назад, гумусовый горизонт не сформировался. Диагностировалось слабое накопление органического вещества в верхних слоях почвы, по сравнению с его содержанием на большей глубине.

Значительное накопление гумуса было отмечено в серогумусовой почве, под 30-летними посадками сосны, количество углерода органических соединений в которой составляло 1.64 и 0.84 % в горизонтах АУ1 и АУ2, соответственно. В горизонте D количество углерода органических соединений резко снижалось.

В пробах горизонтов АУ1 и АУ2, которые наиболее обогащены гумусом, был проведен групповой и фракционный анализ гумуса. Органическое вещество серогумусовой почвы характеризовалась следующими особенностями (табл. 2): среди гуминовых кислот преобладали связанные с кальцием, наименьшая доля гуминовых кислот приходилась на свободные кислоты и связанные с несиликатными полуторными оксидами. В составе фульвокислот в горизонте АУ1 преобладала I фракция, что, по видимому, способствовало снижению значения рН в этом горизонте, подкислению субстрата, что в итоге привело к декарбонатизации субстрата. Ниже, в горизонте АУ2, I, II и III фракции составляли относительно равные доли, при этом доля фракции агрессивных фульвокислот была наиболее низкой. Преобладание ФК I в верхнем горизонте может быть объяснено разложением подстилки, состоящей преимущественно из хвойного опада. Общее содержание фракций гуминовых кислот выше в верхнем горизонте, и снижалось к горизонту АУ2, что связано с их меньшей подвижностью, в отличие от фульвокислот, содержание которых в нижележащем горизонте АУ2 было выше в полтора раза, чем в горизонте АУ1, вследствие их возможной миграции по профилю.

Содержание фракций гумусовых кислот, связанных с кальцием (ГК II и ФК II) было выше в горизонте АУ2, что связано с более высоким содержанием карбонатов кальция в этом горизонте по сравнению с горизонтом АУ1, а, следовательно, большим содержанием Ca^{2+} в почвенно-поглощающем комплексе. Более высокое содержание фракции ГК III отмечалось в горизонте АУ1, что может быть связано с их минимальной способностью растворяться в воде [2]. Соотношение $\text{C}_{\text{ГК}}/\text{C}_{\text{ФК}}$ было шире в горизонте АУ1 (0.95) и сужалось в горизонте АУ2 до значения 0.85. Такие отношения гуминовых кислот к фульвокислотам соответствуют гуматно-фульватному типу гумуса, что вполне характерно для молодых почв на почвах богатых карбонатами [3, 4]. Преобладание фульвокислот над гуминовыми кислотами объясняется тем, что фульвокислоты являются естественным продуктом преобразования кислого хвойного опада.

Таблица 2. Групповой и фракционный состав серогумусовой почвы.

Гор.	Углерод ГК фракций				Углерод ФК фракций					Углерод Н.О.	C _{ГК} /C _{ФК}
	I	II	III	Σ	Ia	I	II	III	Σ		
Содержание, % от массы почвы											0.95
AY1	0.07	0.24	0.15	0.45	0.04	0.28	0.03	0.15	0.47	0.25	
Содержание, % от С общ.											
AY1	3.99	14.42	9.20	27.61	2.45	17.18	1.84	9.44	29.08	15.40	
Содержание, % от массы почвы											0.80
AY2	0.04	0.15	0.12	0.30	0.08	0.10	0.11	0.10	0.38	0.05	
Содержание, % от С общ.											
AY2	4.71	17.37	13.53	35.61	9.41	11.18	12.63	11.18	44.39	5.79	

С глубиной общее содержание углерода органических соединений падало, а доля суммы всех фракций гуминовых и фульвокислот возрастала, а содержание негидролизуемого остатка в верхнем горизонте было на 10 % выше, чем в нижележащем, что, по видимому, связано с накоплением неспецифических органических веществ, которые высвобождаются при разложении подстилки. Содержание негидролизуемого остатка было невелико, что говорит об интенсивности процессов гумификации, связанной со специфическими условиями в таких карбонатных субстратах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на нанесенных вскрышных породах процессы почвообразования находятся на начальной стадии и выражены в первую очередь в накоплении гумуса. В литостратах за 3 года не выявлено существенного накопления гумуса. Молодые посадки сосны обыкновенной не оказали влияния на накопление гумуса на ранних стадиях почвообразования. Состав гумуса и распределение фракций гуминовых и фульвокислот изученной серогумусовой почвы во многом определялся содержанием и распределением доступного кальция в ее профиле.

Процессы декарбонатизации в литостратах и серогумусовой почве осуществлялись медленно, и практически не проявились, лишь в серогумусовой почве наблюдалось небольшое уменьшение содержания карбоната кальция в верхнем горизонте, что, вероятно, было связано с разложением кислого хвойного опада.

ЛИТЕРАТУРА

1. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса: Учеб. пособие. М: Изд-во Моск. ун-та, 1981. 272 с.
2. Плотникова Т.А., Орлова Н.Е. Способность гуминовых кислот Нечерноземной зоны пептизироваться в воде // Гумус и почвообразование в Нечерноземной зоне. Л., 1985. С. 3–12.
3. Пономарева В.В., Мясникова А.М. К характеристике процесса гумусообразования в дерново-карбонатных почвах // Почвоведение. 1951. № 12. С. 721–735.
4. Рейнтам Л.Ю. Гумусное состояние первичных почв под лесом на карьерных отвалах сланцевой промышленности // Почвоведение. 2001. № 10. С. 1207–216.
5. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России / Изд-е 2-е, испр. и доп. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

Работа рекомендована к.б.н., доц. О.В. Романовым.

УДК 631.48:631.437.8:551.89

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МАГНИТНОГО СИГНАЛА В ПОЧВАХ, СФОРМИРОВАННЫХ НА РАЗНЫХ ЭЛЕМЕНТАХ РЕЛЬЕФА

И.М. Вагапов, А.О. Алексеев

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино,
vagapovim@mail.ru

Исследовались закономерности распределения магнитного сигнала в пределах катены, заложенной на склоне южной экспозиции. Показано, что в верхних горизонтах фоновой почвы на водоразделе и в средней части склона присутствуют ферримангетики, которые отсутствуют в нижней части склона. Илистая фракция обладает восприимчивостью в 2–5 раз большей, чем валовые образцы, из которых она выделена. В материнских породах и переходных к ним горизонтах это соотношение составляет 1.5. Охарактеризована субмикроморфология магнитной фазы, выделенной из почвенных образцов.

ВВЕДЕНИЕ

Показатель магнитной восприимчивости (МВ) очень активно используется при изучении палеоэкологических процессов почвообразования [2, 4, 7], специфическое свойство которого – новообразование аутигенных кристаллов магнетита [1, 3]. Однако не во всех случаях периодам потепления климата отвечают высокие значения МВ, что связано с интегральностью данного показателя. В связи с этим, целью настоящей работы было вы-

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 14-04-31725 мол_а).

© И.М. Вагапов, А.О. Алексеев, 2017

явить закономерности распределения магнитного сигнала в связи с материнскими породами, рельефом и уровнем атмосферного увлажнения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Район исследования находится в пределах Ергенинской возвышенности и характеризуется резко континентальным климатом. Среднегодовое количество атмосферных осадков составляет около 350 мм. Растительный покров представлен полынно-злаковой растительностью (*Artemisia lercheana*, *Festuca valesiaca*, *Poa bulbosa*, *Koeleria cristata*, *Carex stenophylla*, *Calamagrostis pseudophragmites*, *Elytrigia stipifolia*). Объектами исследования послужили светло-каштановые почвы в пределах склона южной экспозиции с крутизной около 2° и протяженностью 680 м.

Удельная магнитная восприимчивость измерялась с помощью измерителя Каррабридж KLY-2 (с калибровкой по соли Мора), объемная магнитная восприимчивость измерялась портативным каппаметром КТ-5. Концентрации макро- и микроэлементов измерялись на рентгеновском аппарате «СПЕКТРОСКАН МАКС-GV» по методике измерения массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах методом рентгенофлуоресцентного анализа. Илистая фракция была выделена методом отмучивания. Субмикроморфология магнитной фазы исследовалась с помощью сканирующего электронного микроскопа Tescan VEGA 3.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Как в современной светло-каштановой солонцеватой почве, так и в подкурганной палеопочве наибольшими значениями МВ обладают горизонты В1. Прирост магнитной восприимчивости относительно породы показал четкую приуроченность этого показателя к элементам склона (рис. 1а). Сравнительный анализ показателя МВ с распределением валового железа указывает на присутствие в верхних горизонтах фоновой почвы на водоразделе и в средней части склона ферримagnetитов и их отсутствие в нижней части склона. Несмотря на высокое содержание в нижней части склона валового железа (рис. 1в), фракции физической глины (рис. 1г), а также элементов, которые входят в глинистые минералы и с которыми традиционно коррелирует показатель МВ, его ощутимого прироста в результате почвообразования не наблюдается. Таким образом, увеличение доли ферримagnetитных минералов на водоразделе связано с интенсивным оксидогенезом, тогда как их отсутствие в пойменном ландшафте – с аккумуляциями гипса и карбонатов, что подтверждается увеличением здесь натрия, кальция, магния и серы и, по-видимому, объясняется несоответствием физико-химических параметров карбонатной буферной системы условиям формирования ферримagnetитов.

Для выяснения источников магнитного сигнала из образцов почв, сформированных на разных элементах склона южной экспозиции, методом отмучивания была выделена илистая фракция. На рис. 1б показано соотношение МВ валовых образцов и илистых фракций для гумусово-аккумулятивных горизонтов. Результаты показывают, что илистая фракция обладает восприимчивостью в 2–5 раз большей, чем валовые образцы, из которых она выделена. В материнских породах и переходных к ним горизонтах это соотношение составляет 1.5. Таким образом, основным источником магнитного сигнала является илистая фракция.

Чтобы получить представления о природе магнитного сигнала была выделена магнитная фаза и исследована ее субмикроморфология. На рис. 2а–2в показаны частицы, обнаруженные в горизонте А1 светло-каштановой солонцеватой почвы на водоразделе. В образцах часто встречаются сферические магнитные частицы размерами 3–8 мкм с гладкой и шероховатой поверхностями, последние, по-видимому, покрыты глинистыми чехлами. Подобные частицы для техногенно-загрязненных почв были детально охарактеризованы в работах А.М. Загурского, А.В. Иванова, С.А. Шобы, Н.В. Можаровой, В.В. Прониной [5, 6]. На единичных анизометрических частицах встречаются образования,

напоминающие бактериоморфные колонии, с размерами отдельностей менее 1 мкм. Магнитная фракция, выделенная из почвообразующей породы (рис. 2г–2е), характеризуется однообразием выделенных форм и состоит из анизометрических частиц размерами 5–50 мкм. Встречаются октаэдрические частицы магнетита с четко выраженными гладкими гранями (рис. 2г). Высокая положительная корреляция между МВ и фракциями средней и мелкой пыли ($r=0.60–0.83$) свидетельствует о прочной ассоциации магнитных частиц с глинистыми минералами и кварцем, что подтверждают результаты электронно-микроскопического исследования магнитной фазы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, основным носителем магнитного сигнала является илистая фракция. Несмотря на тесную корреляцию показателя МВ с содержанием валового железа и физической глины, решающее влияние на увеличение магнитного сигнала будет оказывать качественный состав илистой фракции. Отрицательная корреляция показателя МВ с содержанием натрия, кальция, магния и серы указывает на несоответствие условий накопления гипса и карбонатов условиям синтеза ферримagnetитов. Различия между почвами разных элементов склона определяются интенсивностью и направленностью процессов выщелачивания, карбонатизации, соле- и гумусонакопления, изменяющих магнетизм соединений железа. Сравнительный анализ магнитных профилей с величинами прироста МВ относительно породы показывает, что в пределах изучаемой катены наблюдаются выходы легких по гранулометрическому составу пород. Низкий прирост МВ в пойменном ландшафте указывает на продолжительный застой влаги, падение окислительно-восстановительного потенциала и, как следствие, несоответствие физико-химических параметров карбонатной буферной системы условиям формирования магнитных железистых минералов.

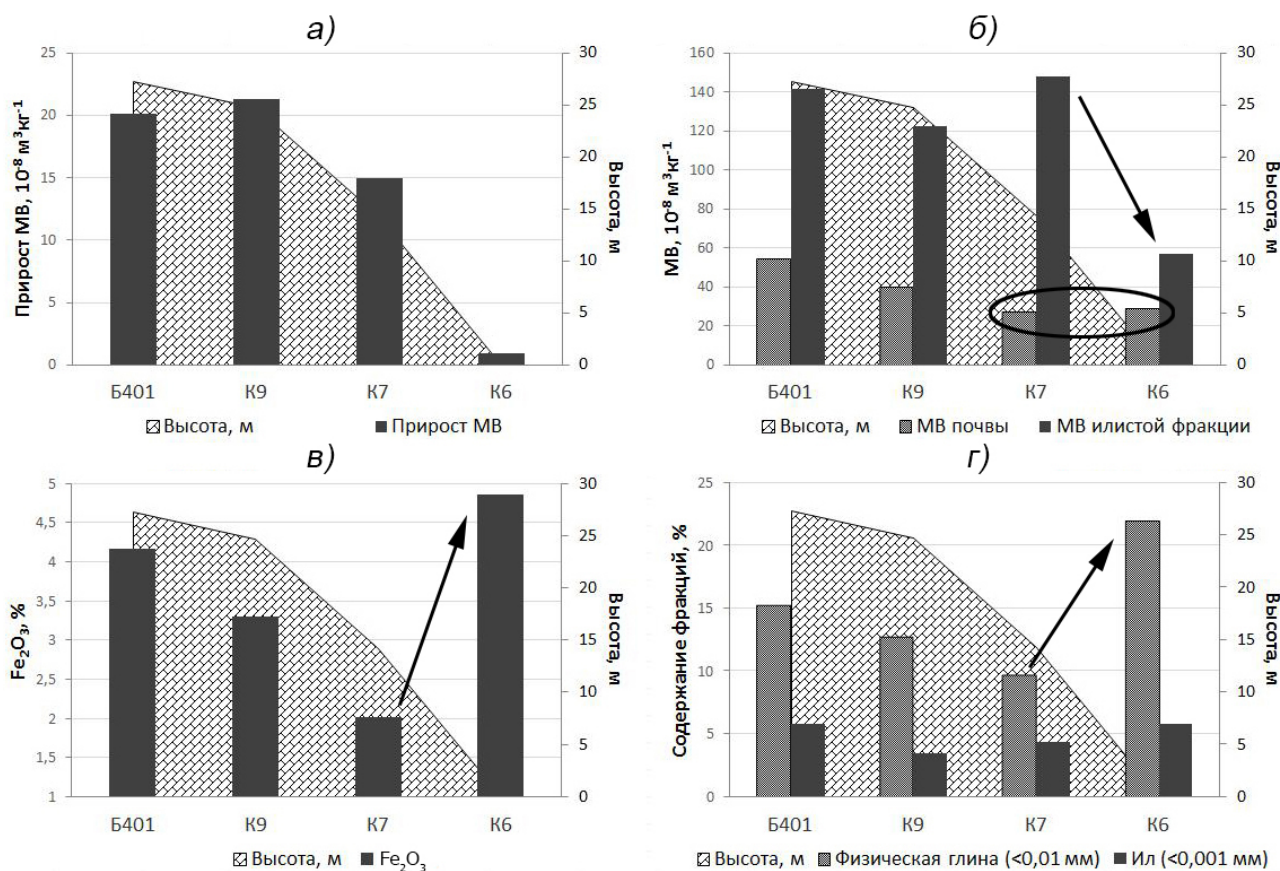


Рисунок 1. Прирост МВ относительно породы, рассчитанный для разных элементов ландшафта (а); удельная МВ почвы и илистой фракции для гор. А1 (б); количество Fe_2O_3 (в), физической глины и илистой фракции (г)

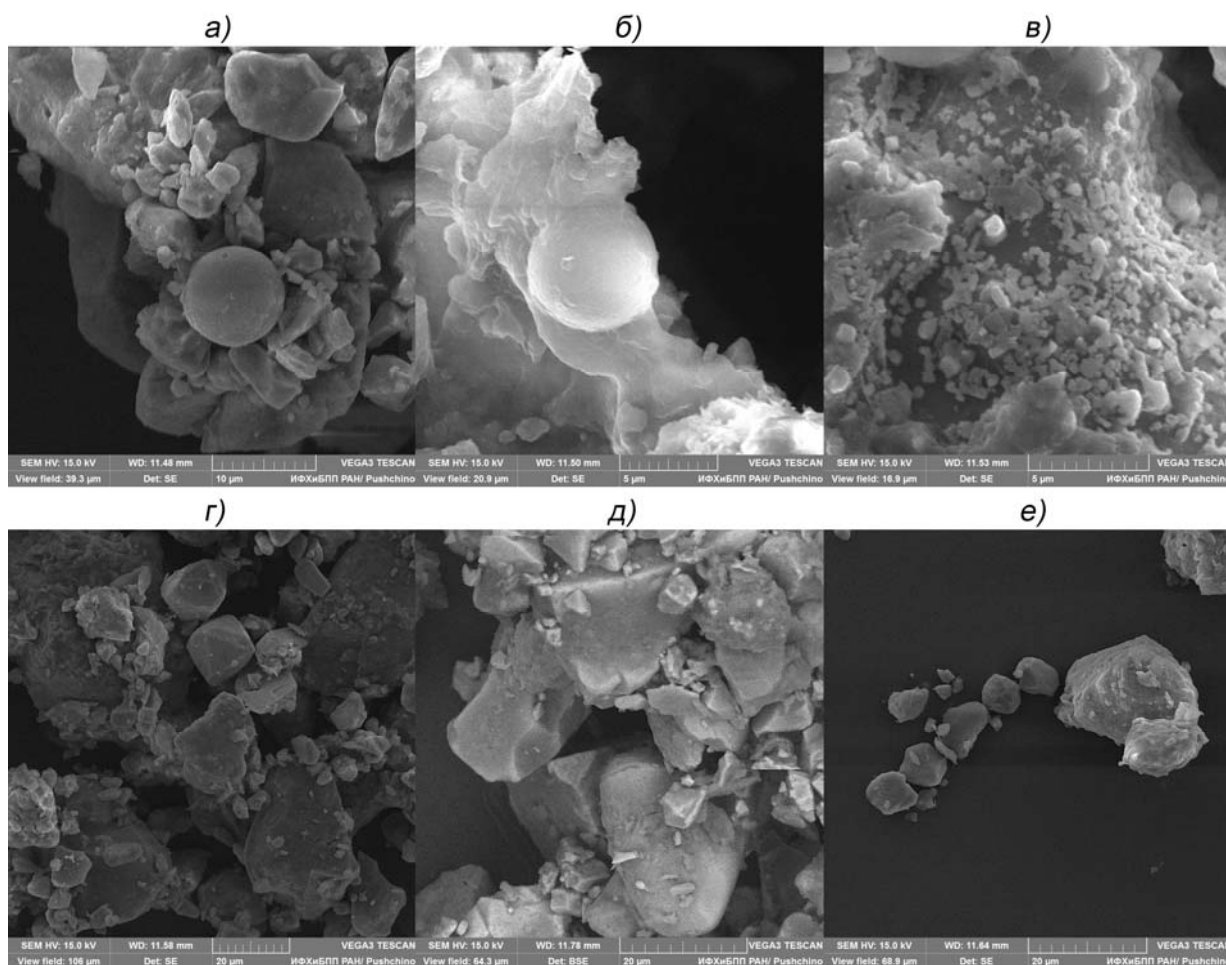


Рисунок 2. Электронно-микроскопические изображения магнитных частиц, выделенных из гумусово-аккумулятивного горизонта (а, б, в) и материнской породы (г, д, е)

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.О. Алексеева Т.В. Оксидогенез железа в почвах степной зоны. М.: ГЕОС, 2012. 204 с.
2. Большаков В.А. Данные магнитных исследований пород лессовой формации, их интерпретация и прикладное использование // Физика Земли. 2001. № 8. С. 86–96.
3. Вадюнина А.Ф., Бабанин В.Ф., Ковтун В.Я. Магнитная восприимчивость фракций механических элементов некоторых почв // Почвоведение. 1974. № 1. С. 116–122.
4. Вирина Е.И., Фаустов С.С., Хеллер Ф. Магнитная «климатическая» запись в лессово-почвенной формации Русской равнины // Проблемы палеогеографии и стратиграфии плейстоцена. М.: Изд-во МГУ, 2000. С. 259–279.
5. Загурский А.М., Иванов А.В., Шоба С.А. Субмикроморфология магнитных фракций // Почвоведение. – 2009. – № 9. – С. 1124–1132.
6. Можарова Н.В., Пронина В.В., Иванов А.В., Шоба С.А., Загурский А.М. Формирование магнитных оксидов железа в почвах над подземными хранилищами газа // Почвоведение. – 2007. – № 6. – С. 707–720.
7. Maher B.A. Environmental magnetism and climate change // Contemporary Physics. 2007. V. 48. P. 247–274.

ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ КАРБОНАТОВ В ПОЧВАХ КРИОАРИДНЫХ ЛАНДШАФТОВ КОТЛОВИНЫ ОЗЕРА АК-ХОЛЬ, ЮГО-ВОСТОК ГОРНОГО АЛТАЯ

Дж.Ю. Васильчук

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

В статье рассматривается латеральная и радиальная дифференциация карбонатов в почвах криоаридных ландшафтов в межгорной котловине озера Ак-Холь. Выявлены два типа источников карбонатов в почвах на бескарбонатных почвообразующих породах: современный и палеогидроморфизм. Современные карбонаты представлены в почвах солями натрия и магния, их происхождение связано с влиянием жестких подземных вод; палеогидрогенные карбонаты, обнаруженные на террасах озера представлены карбонатами кальция и магния.

ВВЕДЕНИЕ

Криоаридные ландшафты широко распространены в горных районах на территории Якутии, Забайкалья, Тувы, Горного Алтая, Центрального Тянь-Шаня и Монголии. Впервые их самобытность обозначил В.И. Волковинцер в 60–70 годы XX века, выделяя отдельный тип почвообразования холодных экстраконтинентальных аридных территорий [1]. В дальнейшем тип криоаридных почв изучался на примере почв Чуйской котловины [4]. Как отдельный тип в России эти почвы выделяются с 2004 г., в классификации почв России они представлены единственным подтипом криоаридных типичных почв [3]. Характерной особенностью криоаридного почвообразования являются карбонатные кутаны – натечные педогенные новообразования, которые образуются на нижних поверхностях каменистых включений [2, 6]. Новообразования залегают слоями, имеющими различный цвет, адгезивные свойства, твердость и, вероятно, разный возраст. Карбонатные кутаны могут использоваться в палеоландшафтных реконструкциях, вследствие хорошей сохранности карбонатного материала [6]. В почвах Юго-Восточного Алтая происхождение карбонатных новообразований нельзя объяснить составом почвообразующих пород, ввиду распространения в основном некарбонатных плотных кристаллических пород. Цель данного исследования – выявить ландшафтно-геохимические закономерности распределения и генезис педогенных карбонатов в почвах котловины озера Ак-Холь.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать латеральную и радиальную дифференциацию карбонатов в почвах криоаридных ландшафтов.
2. Изучить состав и выявить генезис карбонатных новообразований в различных catenaх.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Участок исследования – котловина озера Акхоль (50°16.234 с.ш., 89°35.750' в.д.) расположенная на высоте 2200 м н.у.м. и представляющая собой один из относительно пониженных тектонических блоков в структуре Джулукульской впадины (рис. 1). С запада, севера и востока она окружена блоками с высотами до 2400–2660 м, несущими следы воздействия ледников и последующего озерного периода (озерные террасы можно зафиксировать на склонах котловины до высоты 2400 м, фрагментарно и менее четко – до высоты около 2550–2600 м) [5], на юго-западе она граничит с хребтом Чихачева. Климат исследуемой территории криоаридный ультраконтинентальный, вблизи от объекта исследования нет функционирующих метеостанций, наиболее близкой является станция, расположенная в Кош-Агач в 72.5 км к юго-западу в Чуйской котловине, среднегодовая темпе-

Полевые работы выполнены при поддержке РФФИ (грант № 13-04-01829 А), аналитические работы финансированы Российским научным фондом (грант № 14-27-00083).

© Дж.Ю. Васильчук, 2017

ратура воздуха на исследуемой территории за 2008–2013 гг. составляет -6°C , средняя температура января – -28.4°C , июля – $+15.5^{\circ}\text{C}$ среднегодовое количество осадков 116 мм. Район исследований относится к области сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Исследована основная аллювиальная терраса оз. Ак-Холь и основная поверхность котловины, состоящая из террасированного уступа, склона борта котловины, ложбины на борту котловины. Почвообразующие породы представлены щебнистым супесчано-песчаным пролювием, сложенным преимущественно обломками гранитов и гнейсов, который подстилается гранитами, гнейсами, гранито-гнейсами, кварцитами, хлоритовыми сланцами. Также встречается аллювий песчаный и суглинистый опесчаненный, все почвообразующие породы диагностированы в поле как бескарбонатные. Растительность представлена криоаридной степью с преобладанием злаков и полыни. В мезопонижениях рельефа встречаются бобово-осоковые луга. Стоит отметить, что на склонах котловины ярко выражен экспозиционный эффект, южный склон – сухой, криоаридный, северный – относительно влажный, тундровый. Почвы в основном криоаридные, к озерам приурочены также аллювиальные серогумусовые и гидрометаморфические омергеленные почвы. Карбонатные новообразования представлены тремя разновидностями: новообразования рассеянные в почвенной массе, натеки (кутаны) на нижних поверхностях каменистых включений, корки на поверхности почвы на побережье высокогорных озер.

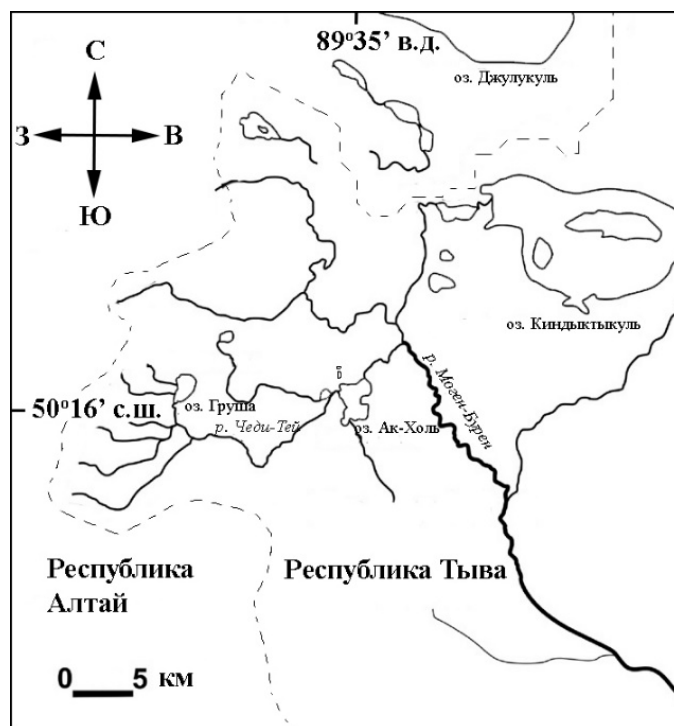


Рисунок 1. Район исследований.

На исследуемой территории было заложено две ландшафтно-геохимических катены. Первая катена располагается непосредственно вдоль южного криоаридного макросклона котловины, подчиненная позиция катены приурочена к побережью оз. Ак-Холь. Подчиненная позиция второй катены приурочена к побережью безымянного высокогорного озера. Автономная позиция у катен общая (рис. 2). Были отобраны образцы мелкозема, карбонатных новообразований и поверхностных вод. Непосредственно в поле определены как рН и минерализация поверхностных вод. Содержание CaCO_3 в мелкоземе определялось газоволуметрическим методом. Измерения изотопного состава кислорода и водорода вод произведены в эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова с помощью масс-спектрометра Finnigan Delta-V со стандартной опцией газ-бенч. Для измерений использовали международный стандарт среднеокеанической воды V-SMOW, международные стандарты GISP и SLAP. Точность

определений $\delta^{18}\text{O}$ составила 0.1‰. Ионный состав воды определялся методом ионной хроматографии также в эколого-геохимическом центре географического факультета. Определено содержание ионов Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ . Элементный состав карбонатных новообразований определялся методом рентгенофлуоресцентного анализа. Состав водной вытяжки почв определялся различными методами. Методом кислотно-основного титрования с 0.01 М H_2SO_4 определялась карбонатная и общая щелочность (CO_3^{2-} , HCO_3^-). Концентрации ионов Cl^- , SO_4^{2-} определялась методом ионной хроматографии. Концентрация Ca^{2+} , Mg^{2+} определялась методом комплексонометрического титрования с 0.05 н. Трилоном-Б. Содержание Na^+ и K^+ определялось методом пламенной атомно-абсорбционной спектрометрии.



Рисунок 2. Ландшафтный профиль южного склона котловины оз. Ак-Холь.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Изучен состав вод озера Ак-Холь и высокогорного безымянного бессточное озера. Озеро Ак-Холь характеризуется ультрапресными водами (0.018 г/л) гидрокарбонатно-кальциевого состава, pH вод составляет 6.9, безымянное озеро – водами с относительно повышенной минерализацией (0.4 г/л) гидрокарбонатно-натриево-магниевого состава, pH составляет 7.6. Озеро Ак-Холь и высокогорное озеро отличаются источниками питания, что подтверждается заметной разницей $\delta^{18}\text{O}$ вод (–15.19 и –6.13‰ соответственно), вероятно безымянное озеро имеет связь с подземными водами. Среди валовых форм в составе карбонатных новообразований в почвах преобладают кремний, кальций, магний, присутствуют также алюминий и железо. В табл. 1 представлены осредненные для каждого горизонта значения pH, TDS, содержания карбонатов, концентраций основных ионов. Радиальное распределение карбонатов криоаридной катене (на рис. 1 она обозначена как Катена I) совпадает с изменением концентрации карбонатных новообразований в профиле, максимум наблюдается в иллювиально-карбонатных горизонтах ВСа_{1с}, максимальные значения достигают 2.18 %. При этом непосредственно на побережье пресного оз. Ак-Холь в почвах карбонатов обнаружено не было. В криоаридно-гидрометаморфической катене (Катена II) максимум карбонатов обнаруживается в средней части профиля и не связан с концентрацией новообразований. В целом, содержание карбонатов в почвах больше, до 8.38 %, что, вероятно связано с влиянием минерализованных вод высокогорного озера. В криоаридной катене происходит накопление карбонатов в трансэлювиаль-

но-аккумулятивных позициях (АК-2, АК-6) и вынос из автономной (АК-0) и трансэлювиальных (АК-4, АК-8) позиций. В криоаридно-гидрометаморфической катене также происходит накопление в транс-элювиально-аккумулятивной позиции (АК-1). В почвах криоаридной катены в составе солей преобладают в основном гидрокарбонаты кальция и магния, TDS не превышает 540 мСм/см.

В почвах криоаридно гидрометаморфической катены более явно проявляются карбонаты магния (доминирующего в водах озера как катион) и появляются карбонаты натрия. Значения TDS достигают 1 мСм/см.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Максимум радиального распределения содержания карбонатов в мелкоземе почв криоаридной катены соответствует максимуму концентрации карбонатных новообразований.

2. Латеральное распределение содержания карбонатов в мелкоземе почв криоаридной катены согласуется с денудационно-аккумулятивными свойствами элементарных ландшафтов, то есть наблюдается накопление карбонатов (возможно остаточное) в трансэлювиально-аккумулятивных позициях и вынос в трансэлювиальных и автономной позициях. В почвах криоаридно-гидрометаморфической катены накопление карбонатов связано с современным гидроморфизмом и, вероятно, определяется влиянием жестких подземных вод, которое зафиксировано в относительно тяжелом изотопном составе питаемого ими озера.

3. В почвах криоаридной катены преобладают гидрокарбонаты кальция и магния, в почвах криоаридно-гидрометаморфической катены встречаются также и карбонаты натрия.

4. Генезис карбонатных корок (кутан) на нижних поверхностях обломочного материала, вероятно, связан с палеогидроморфизмом, на это указывает их местонахождение – древние террасы озера, которое, вероятно, служило источником карбонатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Волковинцер В.И.* Степные криоаридные почвы. – Под ред. Ковалева Р.В. – Изд-во Наука, Сибирское отделение – Новосибирск. – 1978. – 206 с.
2. *Голубцов В.А., Черкашина А.А.* Генезис карбонатных натечков в четвертичных отложениях Южного Прибайкалья // География и природные ресурсы. № 2. – Иркутск. – 2014. – С 62–70.
3. *Классификация и диагностика почв России.* – Смоленск. – 2004. – 341 с.
4. *Смоленцева Е.Н.* Криоаридные почвы Чуйской котловины Горного Алтая и проблемы их использования // Биоразнообразие, проблемы экологии Горного Алтая и сопредельных регионов: настоящее, прошлое и будущее. По материалам международной конференции, 22–26 сентября 2008 года – Горно-Алтайск. – 2008. – С. 275–280.
5. *Bronnikova M.A., Agatova A.R., Cherkinskiy A.E., Shorkunov I.G., Turova I.V.* Calcareous and humus-containing pendants as a proxy of Holocene environmental changes in mountains of the South Siberia // XIII International Symposium and Field Workshop on Paleopedology. 1–6 September, Torun, Poland. Program and Abstracts. – 2014 – P.14–15.
6. *Pustovoytov K., Schmidt K., Taubald H.* Evidence for Holocene environmental changes in the northern Fertile Crescent provided by pedogenic carbonate coatings// Quaternary Research № 67. – 2007. – P. 315–327.

Автор выражает благодарность с.н.с. лаборатории эволюции и географии почв ИГ РАН М.А. Бронниковой за предоставленную возможность участия в полевых исследованиях, н.с. кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ Е.В. Терской, Л.В. Добрыдневой, а также с.н.с. Н.А. Буданцевой и Ю.Н. Чижовой за помощь в проведении аналитических работ.

Работа рекомендована к.б.н., доцентом кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова П.П. Кречетовым.

Таблица 1. Химические и физико-химические характеристики почв котловины оз. Ак-Холь.

Разрез	Гори- зонт	Глубина, см	pHвод.	TDS, мкСм/см	CO ₂ карб., %	Содержание ионов, ммоль/100 г							
						CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
АК-0	Ad	0–1.5	5.76	375.00	0.14	0.00	1.15	0.38	0.51	0.80	0.70	0.41	0.10
	AK	1.5–12(15)	6.28	431.00	0.10	0.00	1.80	0.38	0.46	1.33	0.85	0.47	0.05
	BPL	12(15)–30(45)	6.58	451.33	0.13	0.07	1.97	0.39	0.45	1.41	1.11	0.45	0.03
	BCAic	30(45)–96	8.11	541.20	1.27	0.40	2.60	0.39	0.46	1.66	1.01	0.50	0.08
АК-2	Ad	0–3(4)	6.11	100.30	0.00	0.00	0.55	0.03	0.10	0.53	1.00	0.01	0.07
	AK	3(4)–15(21)	7.19	93.15	0.21	0.00	0.88	0.02	0.25	0.36	1.33	0.11	0.01
	BPL	15(21)–38(40)	8.12	182.30	1.87	0.00	2.55	0.02	0.09	0.99	1.50	0.06	0.03
	BCAic	38(40)–90	8.68	203.42	2.18	0.07	2.84	0.07	0.14	1.08	0.66	0.13	0.10
АК-4	Ad	0–3	6.29	64.10	0.08	0.00	0.98	0.07	0.57	0.30	0.65	0.13	0.02
	AK	3–9(12)	6.80	82.70	0.26	0.00	0.87	0.01	0.06	0.55	1.00	0.29	0.03
	AKB	9(12)–20(21)	8.35	373.00	0.08	43.00	43.00	0.05	0.12	0.43	1.50	1.18	0.10
	BPL	20(21)–53	9.20	173.30	1.40	0.48	2.48	0.02	0.21	0.75	0.88	0.34	0.03
	BCA	53–78	8.68	170.30	1.44	0.30	1.80	0.03	0.18	0.83	1.28	0.13	0.02
	BCA2	78–94	7.72	94.60	0.20	0.00	1.00	0.04	0.08	0.30	0.85	0.04	0.03
	BCA3	94–114	7.53	68.80	0.15	2.45	2.45	0.04	0.21	0.33	0.68	0.11	0.02
	BC4	114–124	8.33	110.10	0.58	0.00	2.20	0.03	0.07	0.25	1.13	0.16	0.02
АК-6	Ad	0–1	6.43	90.70	0.10	0.00	1.00	0.02	0.05	0.38	0.53	0.12	0.02
	AK	1–12(18)	7.23	57.40	0.11	0.00	0.85	0.01	0.19	0.43	0.90	0.08	0.01
	BPL	12(18)–26	7.02	78.20	0.02	0.00	0.50	0.02	0.10	0.38	0.50	0.06	0.01
	BCA	26–37	7.96	104.50	0.56	0.00	1.50	0.02	0.08	0.58	1.45	0.06	0.03
	BCA2	37–69	8.55	149.35	1.35	0.10	1.82	0.03	0.13	0.84	0.48	0.09	0.12
	BC3	69–90	8.72	112.15	1.77	0.03	2.13	0.02	0.06	0.80	0.33	0.08	0.08
	BC4	90–...	8.75	143.30	0.89	0.00	1.70	0.02	0.09	0.75	0.65	0.07	0.08

Таблица 1. Продолжение.

Разрез	Гори- зонт	Глубина, см	pHвод.	TDS, мкСм/см	CO ₂ карб., %	Содержание ионов, ммоль/100 г							
						CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
АК-8	АК	0–12	6.64	35.40	0.11	0.00	0.60	0.03	0.08	0.25	0.55	0.12	0.01
	BPL	12–34(45)	6.63	49.23	0.06	0.00	0.28	0.02	0.03	0.39	0.13	0.09	0.02
	BCAic	34(45)–55(60)	7.65	69.95	0.11	0.15	0.33	0.02	0.03	0.31	0.09	0.07	0.03
	BCAic2	55(60)–115(120)	8.21	95.85	0.31	0.00	0.58	0.02	0.02	0.41	0.36	0.13	0.04
	BCAic3	115(120)–128	8.77	97.20	0.82	0.00	0.60	0.01	0.04	0.38	0.20	0.10	0.06
	BCAic	128–140	8.52	70.90	0.26	0.00	0.25	0.10	0.01	0.43	0.25	0.08	0.05
АК-10	Ad	0–4(5)	5.71	309.00	0.11	0.00	0.50	0.40	0.45	1.13	0.00	0.41	0.23
	AY	4(5)–15(17)	5.36	345.00	0.00	0.00	0.75	0.38	0.57	0.73	0.80	0.12	0.03
	AYC	15(17)–36(40)	5.94	398.50	0.00	0.00	1.55	0.37	0.41	0.94	1.03	0.46	0.06
	C1	36(40)–50(51)	5.71	507.00	0.00	0.10	2.05	0.36	0.40	1.40	1.18	0.50	0.07
	C2	50(51)–82	5.95	206.97	0.00	0.17	0.98	0.14	0.24	0.59	0.95	0.19	0.04
АК-1	Ad	0–2(3)	6.76	288.00	0.11	0.00	1.40	0.11	0.20	0.50	0.75	0.22	0.05
	АК	2(3)–12(15)	7.58	195.10	0.09	0.00	1.30	0.09	0.24	0.63	0.25	0.31	0.16
	AKBf	12(15)–22(25)	8.47	293.00	8.38	0.15	3.45	0.07	0.19	1.13	0.95	0.25	0.15
	BCAicf	22(25)–70(75)	8.72	226.05	7.14	0.18	7.28	0.03	0.07	1.17	1.96	0.29	0.09
	BC	70(75)–135	8.48	181.45	3.11	0.00	3.10	0.10	0.08	0.80	0.61	0.32	0.09
	C	135–150	8.77	315.85	5.85	0.00	1.75	0.03	0.61	1.33	0.78	0.34	0.05
АК-ОЗ	Ad	0–5	8.86	1056.00	0.49	0.40	3.15	1.14	2.39	0.85	1.33	4.29	1.00
	AY	5–20	9.58	1054.00	1.41	0.50	3.30	0.91	2.19	1.13	1.75	3.38	0.66
	Bq	20–24	9.53	1017.00	3.90	0.25	3.00	0.87	2.42	1.49	1.73	3.48	0.75
	Q	42–65	9.00	937.00	1.20	0.50	2.78	0.71	1.34	1.38	1.35	2.31	0.50

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ И ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД
ДОЛИНЫ РЕКИ ЕРИК

А.Г. Гаджикеримова

Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Изучено содержание CaO , P_2O_5 , MgO , Na_2O , Mn , Ba , Sr , Zn , Cu , Pb в почвах и почвообразующих породах опытного участка. Полученные данные сравнивались с кларками почвы и земной коры, ПДК, ОДК и региональной фоновой концентрацией. Установлено, что в сравнении с кларком почв концентрируются Pb , Cu , MgO , рассеиваются – Sr , Mn . В почвообразующих породах не обнаружено компонентов, превышающих кларк литосферы, за исключением CaO в лессовидных суглинках. ПДК и ОДК не превышены, за исключением содержания Sr в одной из скважин. Содержание Sr , Pb и Cu в пахотных горизонтах превышает региональный фон. Загрязнение пахотного слоя изучаемых почв является допустимым.

ВВЕДЕНИЕ

Из всех компонентов ландшафта именно почва обладает максимальной отражательной способностью факторов географической среды, поэтому изучение эколого-геохимических особенностей почв имеет большое научное и прикладное значение: сведения о региональных тенденциях накопления или рассеивания элементов необходимы в качестве отправной точки при изучении процессов миграции [1]. Белгородская область отличается широким распространением склонового рельефа и высокой сельскохозяйственной освоенностью [2]. Несмотря на это, вопрос геохимической специфики почв и ее изменения в ходе активного сельскохозяйственного освоения остается недостаточно изученным. В настоящее время проводятся исследования по изучению закономерностей распределения микроэлементов в почвах Белгородской области [3], однако авторами рассматривается только пахотный слой почв.

Целью наших исследований было изучение геохимических особенностей почв и почвообразующих пород долины реки Ерик и оценка особенностей распределения 10 химических элементов в генетических горизонтах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на территории опытного участка ФГБНУ «Белгородский НИИСХ», который расположен в Белгородском районе на склоне долины реки Ерик крутизной от 1° до 5° . На участке изучается влияние традиционной (зональной) и ландшафтной систем земледелия на состояние почвенного покрова. Рельеф представлен слабовыраженным западинным микрорельефом. На него накладываются антропогенные «микротеррасы», образование которых связано с почвообрабатывающей и уборочной сельскохозяйственной техникой. Они уменьшают скорость поверхностного стока и, следовательно, эрозии и способствуют влагозадержанию [4]. Для изучения эколого-геохимических особенностей почв и почвообразующих пород было пробурено 12 скважин. На рисунке 1 показана схема размещения скважин.

Почвенный покров участка описывался согласно факторно-генетической и субстантивно-генетической классификациям [5, 6]. Результаты определения классификационного положения почв представлены в таблице 1. На исследуемой территории выявлено наличие разных почвообразующих пород: это аллювиальные (скв. 1), лессовидные (скв. 4, 5, 7–12) и покровные суглинки (скв. 2, 3), покровные глины (скв. 6). Таким образом, несмотря на небольшую площадь исследуемой территории, здесь наблюдается неоднородность почвообразующих пород и почвенного покрова.

Определение элементного состава проводили рентгенофлуоресцентным методом на приборе «СПЕКТРОСКАН МАКС – GV». Перечень изученных элементов: оксиды – CaO ,

P₂O₅, MgO, Na₂O и металлы – Mn, Ba, Sr, Zn, Cu, Pb. Определение pH проводили потенциометрическим методом на приборе testo-206. Определение гранулометрического состава почв проводилось в Центре агрохимической службы «Белгородский».

Коэффициенты концентрации (Кк) и рассеяния (Кр) были рассчитаны в сравнении с кларками почвы и земной коры по А.П. Виноградову [7]. Проведено сравнение с ПДК, ОДК и региональной фоновой концентрацией [8, 9, 10]. Суммарный показатель загрязнения почв Z_c рассчитывался согласно Методическим указаниям 2.1.7.730-99 [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Расчеты коэффициентов концентрации (Кк) и рассеяния (Кр) показали, что все изученные элементы можно разделить на 3 группы (табл. 2).

Для установления степени загрязнения почв изучаемыми металлами (Zn, Cu, Pb, Mn, Ba, Sr) проводили сравнение их концентраций с уровнем предельно допустимой и ориентировочно допустимой концентрациями (ПДК и ОДК).

Цинк (Zn) – это важный микроэлемент, который жизненно необходим для растений, активно участвует в биохимических процессах [12]. Он входит в группу особо опасных элементов (1 класс опасности, ОДК 110 мг/кг), образует большое количество соединений, многие из которых весьма токсичны [13].

Медь (Cu) – данный элемент обладает хорошей миграционной способностью, относится к умеренно опасным элементам (2 класс опасности, ОДК 66 мг/кг) [13].

Свинец (Pb) – в почвах сильно инактивируется и теряет токсичность, особого влияния на биоту черноземов не оказывает [12]. Несмотря на это, его относят к особо опасным элементам (1 класс опасности, ПДК 30 мг/кг), он активно рассеивается в окружающей среде в процессе хозяйственной деятельности человека [13].

Марганец (Mn) – геохимические свойства этого элемента называют «парадоксальными», так как процессы концентрации, рассеяния, окисления и восстановления марганца идут вопреки законам термодинамики [14]. Подвижность марганца в почвах зависит от окислительно-восстановительных свойств ландшафта, элемент относится к малоопасным (3 класс опасности, ПДК 1500 мг/кг) [13].

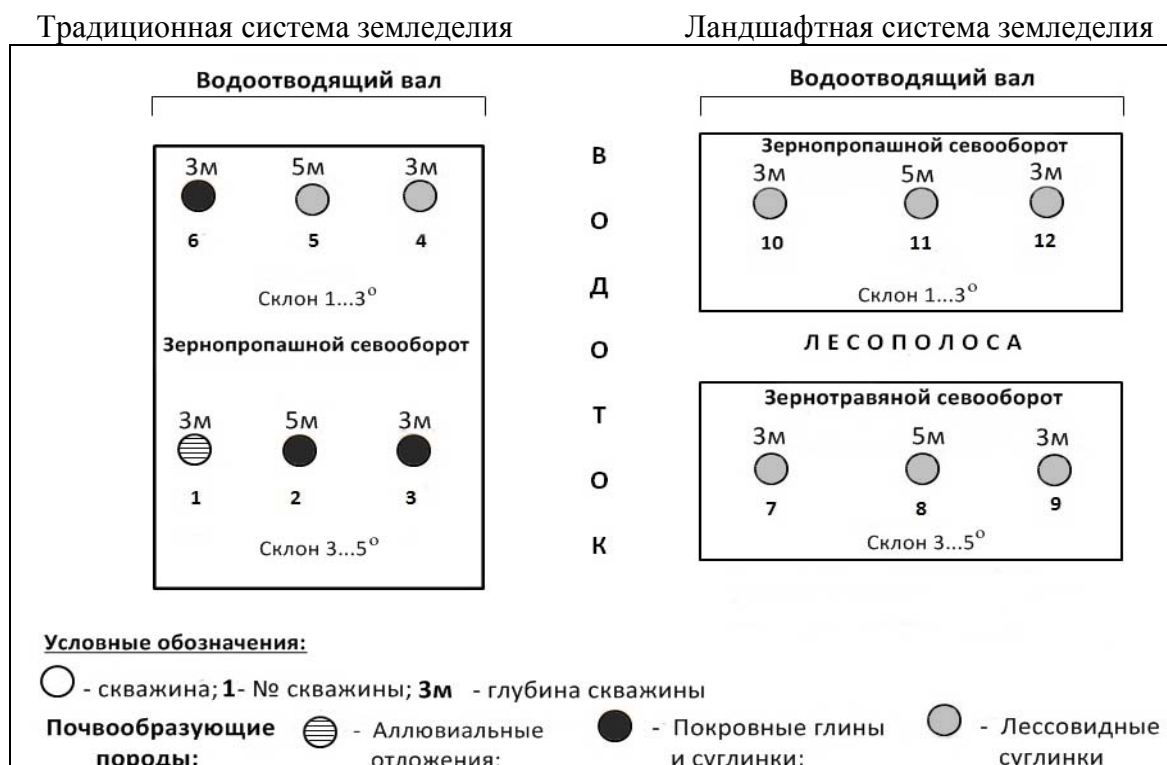


Рисунок 1. Схема размещения скважин на исследуемом участке.

Таблица 1. Классификационное положение исследуемых почв.

№ скв.	Факторно-генетическая классификация (1997 г.)	Субстантивно-генетическая классификация (2004 г.)
1, 8	Лугово-черноземная мало-мощная малогумусная тяжелосуглинистая	Ствол: постлитогенные Отдел: аккумулятивно-гумусовые
		Тип: агрочернозёмы Подтип: гидрометаморфизованные Вид: маломощные средне-гумусированные Разновидность: тяжелосуглинистые
2, 3, 10	Чернозем выщелоченный пахотный среднемощный малогумусный тяжелосуглинистый	Тип: агрочернозёмы глинисто-иллювиальные Подтип: типичные Вид: среднемощные средне-гумусированные Разновидность: тяжелосуглинистые
4, 5, 7, 9, 11, 12	Чернозем типичный пахотный маломощный малогумусный легкоглинистый	Тип: агрочернозёмы Подтип: миграционно-мицелярные Вид: маломощные средне-гумусированные Разновидность: легкоглинистые
6	Темно-серая лесная глееватая пахотная среднемощная среднегумусная легкоглинистая	Ствол: постлитогенные Отдел: текстурно-дифференцированные
		Тип: агротёмно-серые Подтип: глееватые Вид: среднемощные сильно-гумусированные Разновидность: легкоглинистые

Таблица 2. Группы макро- и микроэлементов по их склонности к накоплению или рассеиванию.

Группы	Почвы		Почвообразующие породы:	
	макроэлементы	микроэлементы	макроэлементы	микроэлементы
Группа накопления	MgO	Cu, Zn	не обнаружено	не обнаружено
Группа рассеивания	не обнаружено	Sr, Mn	Na ₂ O, MgO	Mn
Группа с разнонаправленными тенденциями	CaO, P ₂ O ₅ , Na ₂ O	Pb, Ba	Pb, Cu, Zn, Sr, Ba	CaO, P ₂ O ₅

В нашем исследовании присутствуют тяжелые щелочноземельные металлы (Sr и Ba). Характер загрязнения почв этими веществами изучен слабо, что связано с трудностью их диагностики [15]. Барий (Ba) – относится к малоопасным элементам с 3 классом опасности, значения ПДК и ОДК в России не установлены. В связи с отсутствием нормативов ученые рекомендуют использовать ПДК Ba по зарубежным нормам – 625 мг/кг [13]. Некоторые авторы считают, что в нашей стране опасность бария в почвах недооценивают [12].

Стронций (Sr) – относится к малоопасным элементам (3 класс опасности, ПДК 600 мг/кг), обладает хорошей миграционной способностью [13]. Содержание этого элемента в почвах и почвообразующих породах варьируется в широких пределах [16].

Установлено, что содержание большинства металлов в почвах и породах не превышает ПДК и ОДК элементов, за исключением Sr в скважине № 12 на глубине 80–100 см.

Однако, как указывает Ю.Н. Водяницкий [17], российские нормы ПДК не учитывают частичного природного генезиса загрязняющих веществ, в результате чего на территории положительной геохимической аномалии опасность завышается, а на площади отрицательной природной аномалии – занижается, поэтому для выявления степени загрязнения почв необходимо учитывать региональный фон и провинциальные природные условия. На рисунке 2 изображены результаты расчетов превышения фоновой региональной концентрации в пахотном слое почв для изучаемых элементов. Региональные фоновые значения для пахотного слоя почв Белгородской области взяты из источника [10].

Наиболее заметно накопление в пахотном слое почв таких тяжелых металлов, как Sr, Pb, Cu, Zn. В целом ряд накопления элементов в пахотном слое почв имеет вид:
 $Sr > Pb > Cu > Mn > Zn > CaO > P_2O_5 > Ba > Na_2O > MgO$.

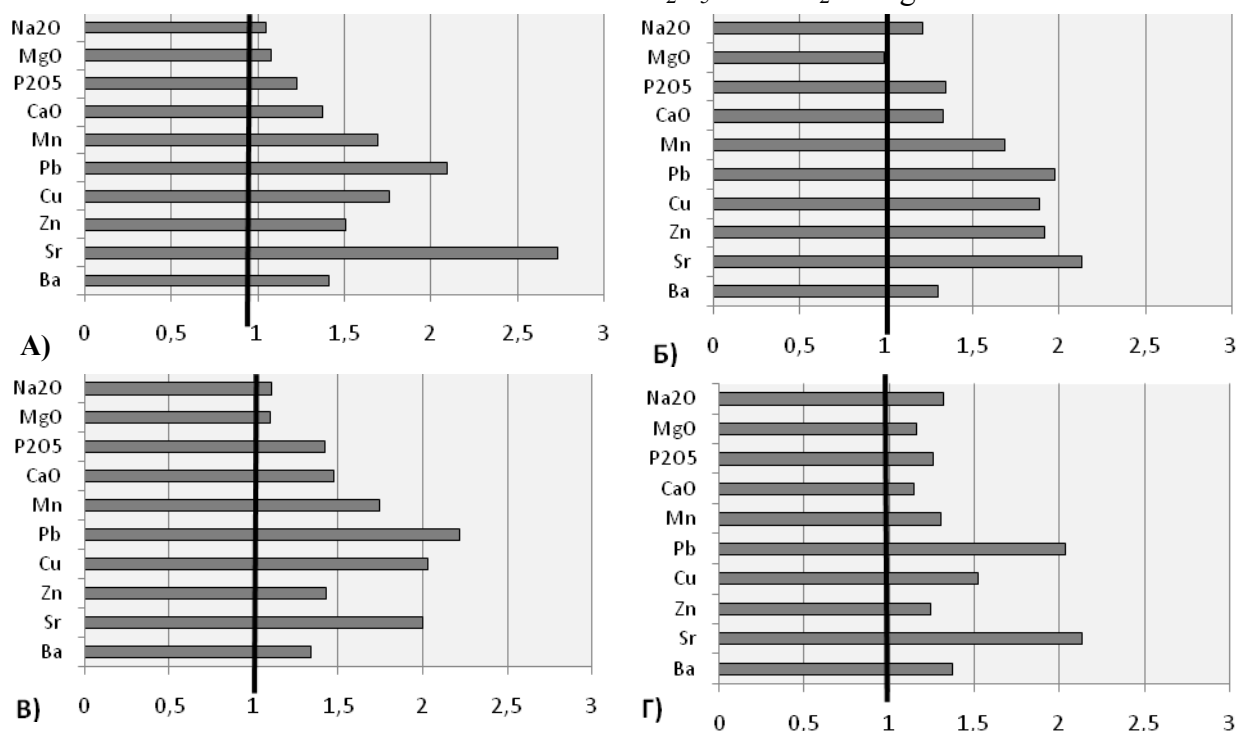


Рисунок 2. Превышение фоновой региональной концентрации в пахотном слое агрочернозема гидрометаморфизированного (А), глинисто-иллювиального (Б), миграционно-мицелярного (В), агротемно-серой глееватой (Г).

Для оценки уровня химического загрязнения почв был проведен расчет комплексного показателя суммарного загрязнения почв (Z_c) и коэффициента концентрации химического вещества (K_c) [11]:

$$K_c = C_i / C_{fi},$$

где C_i – фактическое содержание определяемого вещества в почве, мг/кг; C_{fi} – региональное фоновое содержание вещества в почве, мг/кг;

$$Z_c = \sum (K_{ci} + \dots + K_{cn}) - (n-1),$$

где K_{ci} – коэффициент концентрации i -го компонента загрязнения; n – число определяемых суммируемых веществ; Z_c – комплексный показатель суммарного загрязнения почв.

Значения Z_c изменяются от 4.0 до 10.1, что соответствует допустимой категории загрязнения почв (Z_c меньше 16).

Для выявления влияния гранулометрического состава и кислотно-основных свойств почв на содержание исследуемых элементов, мы провели расчеты коэффициентов корреляции и детерминации. Тесная связь обнаружена между содержанием Mn и Cu, а также содержанием илистых частиц и названных элементов. Также можно предполагать наличие слабой отрицательной связи между значениями pH и содержанием Mn, Cu, Pb и Sr.

ВЫВОДЫ

1. Размещение участка в условиях склонового рельефа приводит к неоднородности почвообразующих пород и почвенного покрова.

2. В органо-минеральных горизонтах по сравнению с кларком почв накапливаются такие элементы как Pb, Cu, MgO, рассеиваются – Sr, Mn, CaO. В минеральных горизонтах аккумулируются Pb, Cu, MgO, рассеиваются – Sr, Mn.

3. В почвообразующих породах в сравнении с кларком литосферы не обнаружено элементов, которые аккумулируются, за исключением CaO в лессовидных суглинках.

4. При сравнении концентраций изучаемых микроэлементов с их ПДК и ОДК превышений не обнаружено, за исключением единичного превышения содержания Sr.

5. В сравнении с региональной фоновой концентрацией в пахотном слое исследуемых почв заметно накопление таких тяжелых металлов, как Sr, Pb и Cu.

6. Загрязнение пахотного слоя изучаемых почв является допустимым: $Zc < 16$.

7. Обнаружена тесная связь между содержанием Mn и Cu, а также между содержанием илистых частиц и названных элементов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свечникова А.А. Закономерности аккумуляции валовых и подвижных форм микроэлементов в почвах Астраханской области // Естественные науки. Проблемы региональной экологии и природопользования. – 2013. – № 1. – С. 23–28.
2. Ахтырцев Б.П., Соловиченко В.Д. Почвенный покров Белгородской области: структура, районирование и рациональное использование. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та, 1984. – 265 с.
3. Лукин С.В., Хижняк Р.М. Географические закономерности распределения микроэлементов в почвах Белгородской области // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – № 5. – С. 55–58.
4. Пояснительная записка к почвенной карте опытного участка № 1 ОПХ «Белгородское» ВИУА (Белгородский район, Белгородская область). – М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, отдел агрохимии почв, 1992. – 42 с.
5. Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977. – 220 с.
6. Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева [и др.]. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
7. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–571.
8. ГН 2.1.7.2041-06. ПДК химических веществ в почве – Взамен ГН 2.1.7.020-94; введ. 1.04.2006. – М.: Изд-во стандартов, 2006. – 14 с.
9. ГН 2.1.7.2511-09. ОДК химических веществ в почве – Введ. 1.07.2009. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. – 10 с.
10. Голусов П.В., Артюхов В.Е., Морабандза К.Б. Эколого-геохимическая характеристика постселитебных геосистем на территории Белгородской области [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования – 2015. – № 2–3. – URL: <http://www.science-education.ru/> (дата обращения: 30.03.2016).
11. Методические указания МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. – М.: Инф.-изд. центр Минздрава России, 1999. – 25 с.
12. Водяницкий Ю.Н. Об опасных тяжелых металлах/металлоидах в почвах // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2011. – Вып.68. – С. 56–82.
13. Копылов И.С. Литогеохимические закономерности пространственного распределения микроэлементов на Западном Урале и Приуралье // Вестник Пермского университета. – 2012. – № 2 (15) – С. 16–34.
14. Юдович Я.Э. Парадоксы геохимии марганца // Вестник. – 2012. – № 5. – С. 19–24.
15. Водяницкий Ю.Н., Савичев А.Т., Васильев А.А. и др. Содержание тяжелых щелочноземельных (Sr, Ba) и редкоземельных (Y, La, Ce) металлов в техногенно-загрязненных почвах // Почвоведение. – 2010. – № 7. – С. 879–890.
16. Strontium [Электронный ресурс] // A contribution to IUGS/IAGC Global Geochemical Baselines. – 2015. – URL: <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/text/Sr.pdf> (дата обращения 26.03.2016).
17. Водяницкий Ю.Н. Концепция гибкого подхода к оценке ориентировочно допустимой концентрации тяжелых металлов и металлоидов в почве // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2011. – Вып.67. – С.49–66.

Работа рекомендована к.б.н., доц. Л.Л. Новых.

МОРФОБИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ПРИ
ЗАГРЯЗНЕНИИ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО БЕНЗ(А)ПИРЕНОМ ПО
РЕЗУЛЬТАТАМ ВЕГЕТАЦИОННОГО ОПЫТА

А.В. Гимп, И.Г. Тюрина, С.Н. Сушкова, Т.М. Минкина

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Изучено влияние различных концентраций бенз(а)пирена на морфобиометрические показатели ярового ячменя при внесении его в чернозем обыкновенный в условиях вегетационного эксперимента. Установлено, что внесение 1 ПДК бенз(а)пирена в почву уже начинает негативно влиять на морфобиометрические показатели ярового ячменя, больше всего токсическое воздействие проявляется при загрязнении в 40 раз превышающих значение ПДК. Загрязнение почв бенз(а)пиреном оказывает отрицательный эффект на рост и развитие растений в зависимости от скорости разложения поллютанта в почве. В течение 3-х лет наблюдался токсический эффект от внесения бенз(а)пирена на растения.

ВВЕДЕНИЕ

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – это крупный класс химических соединений, которые образуются в результате сжигания нефтепродуктов и угля. ПАУ обладают канцерогенной и мутагенной активностью. Ежегодно эти вещества попадают в биосферу.

Одним из основных представителей ПАУ является бенз(а)пирен (БаП) – канцероген 1 класса опасности. Преимущественно БаП накапливается в воздухе, воде и в большом количестве в почве.

Актуальность исследований ПАУ в системе почва–растение обусловлено повышенной опасностью и масштабностью загрязнения окружающей среды этими соединениями. Поведение поллютантов в системе почва–растение складывается из ряда процессов: аккумуляция поверхностным слоем почв, миграция вниз по почвенному профилю, поглощение корнями растений. Изучение влияния поллютантов на растительное сообщество является актуальной задачей, позволяющей определить особенности накопления поллютантов растениями, их трансформацию в ходе биохимических реакций, количество поступающих соединений в вегетативные органы, а также установить закономерности поведения поллютантов в системе почва–растение (Турусов, 1984; Угрехелидзе, 1976).

Цель работы – изучить морфобиометрические показатели ярового ячменя в условиях искусственного загрязнения почв БаП.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в условиях вегетационного опыта, который был заложен в мае 2011 г. Исследуемая почва – чернозем обыкновенный карбонатный среднесуглинистый малогумусный тяжело-суглинистый на лессовидных суглинках, отобранный на целинном участке почвенного природного заповедника «Персиановский», со следующими свойствами (слой 0–20 см): содержание физ. глины – 52 %, ила – 30 %, гумуса – 4.2 %, pH – 7.5, CaCO₃ – 0.4 %, ЕКО – 33 смоль(+)/кг. Образцы воздушно-сухой почвы в количестве 2 кг помещали в специальные тарированные вегетационные сосуды общей емкостью 4 л. Повторность опыта – трехкратная. Внесение БаП в сосуды проводилось по следующей схеме:

Контроль; Ацетонитрил; 1 ПДК; 10 ПДК; 20 ПДК; 40 ПДК.

ПДК БаП в почве составляет 20 нг/г.

Тест-культура – ячмень яровой сорта «Одесский-100». Высев растений производился в 2012, 2013 и в 2014 гг. в первой половине апреля в количестве 30 зерен на сосуд. По-

Работа выполнена при поддержке проектной части госзадания Министерства образования и науки Российской Федерации № 5.885.2014/К, Ведущей научной школы НШ-2449.2014.4., Гранта Президента РФ № 14.У30.15.6827-МК.

© А.В. Гимп, И.Г. Тюрина, С.Н. Сушкова, Т.М. Минкина, 2017

лив осуществлялся дистиллированной водой по рассчитанной норме полива на заданный объем почвы. Для оценки влияния поллютанта на продуктивность ярового ячменя определялись его основные морфобиометрические показатели по методике В.В. Церлинг (1990) в фазу полной спелости: высота растений, длина стебля и колоса.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание БаП в почве течение 3-х летнего периода постепенно снижается от 5 до 45 % (Минкина, Сушкова, 2014).

Одним из критериев оценки уровня загрязнения почв БаП является определение их влияния на рост и развитие растений. Пределы токсичности поллютантов обычно устанавливаются по действию их на растение. Если растение снижает урожайность или высоту от того или иного элемента на 5–10 %, то уровень содержания поллютанта в почве считается токсичным (Павлова, 1979).

Установлено, что морфобиометрические показатели ярового ячменя в контроле и в варианте с внесением ацетонитрила в течение трех лет исследования варьировали незначительно. Внесение БаП в почву в первый год произрастания ячменя ярового оказало угнетающее действие на его рост и развитие.

Высота растения с увеличением дозы внесения поллютанта имела тенденцию к уменьшению. Наблюдалось снижение высоты колоса, высоты стебля на 15–25 % по сравнению с контрольными вариантами. Максимальные величины высоты растений тест-культуры достигались в контрольных вариантах опыта, минимальные – в вариантах опыта с внесением БаП в концентрации 800 нг/г. Выраженный угнетающий эффект можно объяснить проявлением фитотоксических свойств поллютанта (табл. 1).

Таблица 1. Морфобиометрические показатели ярового ячменя за 3-х летний период исследований после внесения БаП в почву.

Описание	Суммарная высота растений, см			Высота колоса с остями, см			Высота колоса без остей, см		
	2012	2013	2014	2012	2013	2014	2012	2013	2014
Контроль	42.7±3.7	43.3±2.5	42.4±3.2	2.1±0.4	2.4±0.3	2.9±0.7	1.4±0.2	1.8±0.2	1.9±0.4
Ацетонитрил	41.6±4.1	43.5±3.4	42.7±6.8	2.9±0.6	2.5±0.4	2.7±0.6	1.6±0.1	1.7±0.1	1.6±0.3
1 ПДК	34.8±2.7	37.4±2.6	44.8±4.8	1.7±0.9	2.4±0.8	2.6±0.2	1.1±0.4	1.6±0.5	1.5±0.2
10 ПДК	32.1±1.9	36.4±4.6	47.1±7.4	1.3±0.6	2.1±0.7	2.5±1.3	0.9±0.2	1.3±0.9	1.6±0.2
20 ПДК	31.3±2.3	36.1±4.7	48.7±5.6	1.2±0.4	2.2±2.1	2.6±1.1	0.8±0.3	1.1±1.1	1.4±0.6
40 ПДК	26.8±1.7	32.2±5.5	46.7±6.6	0.7±0.3	1.6±1.8	2.4±0.9	0.4±0.1	0.8±0.8	1.2±0.4

Во второй год исследований в варианте с дозой 800 нг/г БаП высота растений увеличилась в среднем на 20 %, что отразилось на приросте длины стеблей на 17 % и увеличении длины колоса. Аналогичные тенденции установлены в вариантах, загрязненных бенз(а)пиреном в количестве 400 нг/кг.

К третьему году исследования суммарная высота растений увеличилась на 11 %, по сравнению с контрольным вариантом, за счет прироста соломины. Концентрация БаП в почве за трехлетний период постепенно снижалась, но продолжала негативно воздействовать на тест-культуру. Колос у ярового ячменя мутирован, зерно не вызревает.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Загрязнение почв бенз(а)пиреном оказывает токсический эффект на рост и развитие ячменя ярового. Увеличение содержания БаП в почве приводит к угнетению растения и влияет на такие показатели, как высота растения, колоса и ости. Несмотря на то, что со временем количество БаП в почве имеет тенденцию к снижению, поллютант продолжает отрицательно воздействовать на рост и развитие тест-культуры до тех пор, пока содержание его в почве не достигнет значений ПДК. За весь период исследований токсическое воздействие БаП на растения снизилось в среднем на 45 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлова Н.А., Доница И.Л. Значение растворимости бенз(а)пирена в воде для перехода его из почвы в растения. Растения и химические канцерогены. – Л. Наука, 1979. – С. 99–100.
2. Турусов В.С. Канцерогенное действие химических соединений // Профилактическая токсикология. Сборник учебно-методических материалов. МРПТХВ. – М.: 1984.
3. Угрехелидзе Д.Ш. Метаболизм экзогенных алканов и ароматических молекул в растениях. – Тбилиси: Мецниереба, 1976.
4. Овчинникова А.А. Взаимодействие микроорганизмов-деструкторов в ризосфере и ризоплане растений в присутствии углеводов нефти: Автореф. дисс. канд. биол. наук. – Пушкино, 2010.
5. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: Справочник. – М.: Агропромиздат. – 1990.
6. Девдариани Т.В. Биотрансформация некоторых канцерогенных полициклических ароматических углеводов в растениях: Автореф. дис. док. биол. наук. – Тбилиси, 1992.
7. Sushkova S.N., Vasilyeva G.K., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Tjurina I.G., Kolesnikov S.I., Kizilkaya R., Askin T. New method for benzo[a]pyrene analysis in plant material using subcritical water extraction // Journal of Geochemical Exploration. – 2014.
8. Минкина Т.М., Сушкова С.Н., Гимп А.В., Куксова Е.Г., Манджиева С.С. Особенности поведения бенз(а)пирена в черноземе обыкновенном на примере модельного эксперимента, искусственно загрязненного различными дозами бенз(а)пирена // Материалы XIX Всероссийской Школы «Экология и почвы», Пушкино, Московской области. Том X. С. 15–16, 2014.

Работа рекомендована д.б.н., профессором Т.М. Минкиной.

УДК 631.4

ВЛИЯНИЕ РАСТИТЕЛЬНОГО ОПАДА НА ФОРМИРОВАНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА ПОЧВЕННЫХ ПОДСТИЛОК НА ПРИМЕРЕ ПРЕДГОРНЫХ БОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ СЕВЕРНОГО УРАЛА (ВЕРХОВЬЯ р. ПЕЧОРЫ)

С.М. Горбунова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

В данной работе обсуждаются результаты изучения соотношений стабильных изотопов углерода и азота в хвойном и лиственном опадах и почвенных подстилках для характеристики углеродного и азотного циклов в экосистемах и выявления возможных причин изотопного фракционирования в геохимически сопряженных ландшафтах бореальных лесов на примере Северного Урала.

ВВЕДЕНИЕ

Для изучения процессов, протекающих в биосфере, начиная с середины прошлого века, используют метод стабильных изотопов. Наибольшее внимание уделяется таким биосферным процессам как циклы углерода и азота, поскольку именно эти элементы являются важнейшими биофильными, а так же макробιοгенными. Формирование, саморегулирование и воспроизводство экологических систем тесно связано с экологическими условиями, в которых они развиваются и существуют. Изучение особенностей азотного и углеродного циклов, анализ изотопного состава данных элементов позволяет исследовать механизм процессов почвообразования, оценить роль растительности и микроорганизмов в процессе гумификации, проследить движение изотопов углерода и азота внутри систе-

мы и использовать их в качестве интегральных показателей интенсивности многих экологических процессов [1]. В связи с этим, изучение влияния экологических факторов на почвообразование лесных почв Северного Урала весьма важно и имеет научный интерес. При этом немаловажно охарактеризовать и изучить особенности циклов азота и углерода, трансформацию соединений этих элементов в опаде, подстилке и почве, а также фракционирование изотопов азота и углерода в ненарушенной хозяйственной деятельностью естественной экосистеме, приуроченной к Печоро-Илычского заповеднику.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследовались ландшафтные комплексы, представленные различными типами леса в предгорной части Печоро-Илычского заповедника в бассейне реки Большая Порожня (верховья р. Печоры).

Объектами работ являлась трансекта «Рай» (59.0551°, 62.0532°), где ее точки, расположенные с шагом 100–150 метров и сопряженные по рельефу, соответствовали различным типам леса: 1-я точка – хвойному криволесью на краю каменной осыпи, 2-я точка – пихто-ельнику кустарничково-зеленомошному, 3-я точка – пихто-ельнику крупнопапоротниковому, 4-я точка – пихто-ельнику высокотравному. В ходе изучения слабо дифференцированных лесных почв (преимущественно подзолов и буроземов) особое внимание уделялось органогенному горизонту – подстилке, так как она является связующим компонентом в круговороте веществ между растительностью и почвой. Для анализа отбирались два подстилочных горизонта (1–2 см – верхний слой подстилки (O1O2), и ~3–5 см – нижний слой подстилки (O2O3 или OT), а так же зеленая фитомасса основных видов древесных растений: *Betula pendula* Roth. (Берёза обыкновенная); *Picea abies* (L.) Н. Karst. (Ель обыкновенная); *Pinus sibirica* Du Tour (Сосна сибирская кедровая/Кедр). Повторность была трехкратной.

Материал для изотопного анализа углерода и азота взвешивали (весы Mettler Toledo MX5) с точностью до 1 мкг и заворачивали в оловянные капсулы. Масса навески субстратов растительного происхождения составляла 1500–2500 мкг. Определение изотопного состава проводили на изотопном масс-спектрометре Thermo-Finnigan Delta V Plus в ИПЭЭ им А.Н. Северцова РАН (при любезном содействии А.В. Тиунова). Изотопный состав азота и углерода выражали в тысячных долях отклонения от международного стандарта:

$$\delta(\text{‰}): \delta X_{\text{образец}} = [(R_{\text{образец}} - R_{\text{стандарт}}) / R_{\text{стандарт}}] \cdot 1000,$$

где X – это элемент (азот или углерод), а R – атомное отношение тяжелого и легкого изотопа в анализируемом образце и стандарте. Для азота стандартом служит азот атмосферного воздуха, для углерода – «венский» эквивалент белемнита PeeDee формации (VPDB).

$$\delta(\text{‰})^{13}\text{C} = [((^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{обр.}} - (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{станд.}}) / (^{13}\text{C}/^{12}\text{C})_{\text{станд.}}] \cdot 1000;$$

$$\delta(\text{‰})^{15}\text{N} = [((^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{обр.}} - (^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{возд.}}) / (^{15}\text{N}/^{14}\text{N})_{\text{возд.}}] \cdot 1000.$$

Образцы были проанализированы относительно референтных газов (N₂ и CO₂), откалиброванных относительно стандартных материалов, предоставленных МАГАТЭ (глутаминовая кислота USGS 40, USGS 41 и целлюлоза IAEA-CH₃). В качестве рабочего лабораторного стандарта использовали люцерну (растительность) и хитин (почвы). Стандартное отклонение лабораторного стандарта (n = 6–8) было в пределах ± 0.2 ‰ для δ¹⁵N и < 0.15 ‰ для δ¹³C. Вместе с определением изотопного состава, во всех пробах было определено общее содержание углерода (C, %) и азота (N, %) и атомное отношение C/N.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В ходе проведенных исследований было обнаружено достоверное отличие изотопного состава фитомассы и почвенных подстилок в различных типах леса. Для почвенных подстилок наблюдается закономерное увеличение доли тяжелых изотопов углерода (δ¹³C) и азота (δ¹⁵N) вниз по склону, что логично объясняется нарастанием интенсивности и глубины процессов трансформации опада, а так же общим возрастом почвообразования.

Вниз по трансекте наблюдалась смена типа леса с зеленомошного на пихто-ельник высоко-котравный, и, как следствие, увеличение мощности опада, а так же закономерное увеличение мощности гумусового горизонта бурозёма грубогумосного в нижней части склона (площадка РАЙ 4). Обилие количества питательных элементов и опада увеличивало микробную активность и трансформацию органических веществ, что сопровождалось преимущественной дискриминацией тяжелых изотопов углерода и азота и их остаточной аккумуляцией. Чем больше циклов микробной трансформации претерпевает органическое вещество, тем больше в нем доля тяжелых изотопов. Важную роль в утяжелении изотопного состава играла миграция соединений (обедненных легким изотопом азота) вниз по склону трансекты к площадке РАЙ 4.

Однако в отношении фитомассы деревьев выявились особенности, заключающиеся в аномально «утяжеленном» составе углерода и азота для березы и кедра на первой точке трансекты. По-видимому, в отношении углерода значительную роль играет близость точки к открытому склону и разреженность древесного яруса, т.е. выше доля чистого атмосферного углерода углекислого газа без перефиксации эмиссии из почвы и вовлечения его в процесс фотосинтеза с последующим закономерным утяжелением изотопного состава углерода органического материала растений. В отношении азота, различия могут быть связаны со строением корневых систем, а именно поверхностным залеганием корней ели, за счет которых она поглощает соединения, содержащие преимущественно легкий изотоп азота (^{14}N), и более глубоким проникновением корней березы и кедра в нижележащие горизонты, относительно обогащенные тяжелыми изотопами азота (^{15}N), ввиду наибольшей микробной трансформации органического вещества. Также обращает на себя внимание заметное «утяжеление» углерода в фитомассе на 4 точке. Возможным объяснением могут быть влияние мезорельефа (низ склона, приток влаги и питательных веществ), что приводит к уменьшению циркуляции воздуха и эмиссии углекислоты из богатой почвы (бурозем), богатой легким изотопом углерода, с последующей ассимиляцией почвенного CO_2 деревьями или так называемым «санору» эффектом [2].

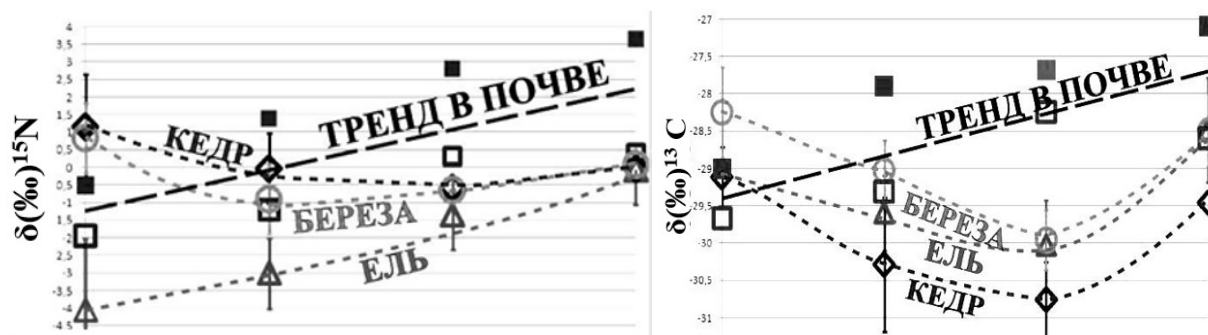


Рисунок 1. Изменения изотопного состава азота и углерода по трансекте «РАЙ».

□ – верхний подстилочный горизонт почвы (O2O3); ■ – нижний подстилочный горизонт почвы (O3T или AO); △ – фитомасса ели; ◇ – фитомасса кедра (сосна сибирская); ○ – фитомасса березы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На формирование изотопного состава углерода и азота оказывают влияние множество факторов. В живых системах общим является увеличение доли ^{13}C и ^{15}N с переходом от одного трофического уровня к другому. Как было нами выявлено на основе изотопного фракционирования, в геохимически сопряженных ландшафтах, в частности при продвижении по склону трансекты «РАЙ» происходило утяжеление изотопного состава азота в органической составляющей растений, что, вероятно, было связано с увеличением мощности гумусового горизонта почв, количества опада и отпада растений, миграции водорастворимых веществ вниз по склону, а также, вследствие возрастания фитонутриентов. Чем больше было питательных веществ и мощность опада, тем больше азота вовлекалось в цикл микробной трансформации, с выделением легкого изотопа азота (^{14}N) и аккумуляцией более тяжелого (^{15}N). Подобные закономерности прослеживались и в случае с изотоп-

ным составом углерода при продвижении по склону от 1-й точки трансекты «РАЙ» к 3-й, при этом на площадке, приуроченной к 4-й точке, было установлено заметное облегчение изотопного состава углерода из-за увеличения влажности, уменьшения циркуляции воздуха и накопления легкого изотопа ^{12}C .

Накопление тяжелого изотопа азота (^{15}N) в почвенных подстилках и опаде большинства деревьев возрастало вниз по склону трансекты, что может быть связано с увеличением обогащенности подстилок азотом и усилением в них процессов микробной трансформации растительного опада. Тогда как на наиболее высокой точке трансекты (редколесье) было получено, что в опаде березы и кедра изотопный состав азота был наиболее легким. Данный факт можно, объяснить более глубоким залеганием корневых систем этих древесных пород по сравнению с елью. Аналогичная закономерность была установлена и для тяжелого изотопа углерода, однако, увеличение доли $\delta^{13}\text{C}$ в фитомассе верхней точки трансекты (редколесье), по всей видимости, могло быть связано с влиянием циркуляции воздуха. Увеличение концентрации легкого изотопа в нижней точке может быть объяснено с эффектом перехвата растениями углекислого газа при его эмиссии из почвы (перефиксация).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Robinson D.* $\delta^{15}\text{N}$ as an integrator of the nitrogen cycle // Trends Ecol. Evol. 2001. V. 16. P. 153–162 по Макарову М.И. Изотопный состав азота в почвах и растениях: использование в экологических исследованиях // Почвоведение. 2009. № 12. С. 1432–1445.
2. *Brooks, J.R., L.B. Flanagan, G.T. Varney and J.R. Ehleringer.* Vertical gradients in photosynthetic gas exchange characteristics and refixation of respired CO_2 within boreal forest canopies // Tree Physiol. 1997. V. 17. P. 1–12.

Работа рекомендована к.б.н. А.А. Семиколенных.

ДИСТАНЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ВЕСЕННЕГО ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЯ ПОЧВ ЧЕРНОЗЁМНОЙ ЗОНЫ

В.В. Грибов, Е.А. Левченко

ФГБНУ Почвенный Институт им. В.В. Докучаева, г. Москва, vas1988@yandex.ru

Опробирована методика дистанционной диагностики продолжительности весеннего переувлажнения Вороно-Цнинского междуречья Приволжской возвышенности Тамбовской области. На основании данных, полученных с помощью спутников Landsat 5, 7 и 8 поколений, рассчитаны спектральные индексы, характеризующие распределение и степень выраженности очагов переувлажнённости изучаемой территории. Создана карта групп почвенных структур, характеризующихся степенью переувлажнения.

ВВЕДЕНИЕ

С середины XX в. совокупность естественных и антропогенных факторов определили прогрессирующее увеличение площади мочарных ландшафтов лесостепной и степной зон России (Зайдельман и др., 2013), Канады (Bedard-Naughn, 2008) и других стран. Деградация переувлажненных почв под воздействием процессов вторичного гидроморфизма (оглеение, осолонцевание, засоление, слитизация) требует проведения дорогостоящих мелиораций, либо приводит к сокращению площади обрабатываемых земель (Деградация богарных и орошаемых черноземов..., 2012). Развитие адаптивных методов оперативного выявления очагов гидроморфизма и картографирования мочарных ландшафтов представляет практический интерес для агроэкологической группировки и мониторинга земель

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-35-00539.

© В.В. Грибов, Е.А. Левченко, 2017

сельскохозяйственного назначения. Актуальность исследования обусловлена потребностью в углублении региональных моделей почвенно-ландшафтных связей гидроморфных и полугидроморфных структур почвенного покрова лесостепной и степной зон (Ахтырцев, 1999; Трубников, 2006; Зайдельман и др., 2003).

Целью работы является проверка возможности дистанционной диагностики длительности весеннего переувлажнения на примере Вороно-Цнинского междуречья Приволжской возвышенности лесостепной зоны. Знание продолжительности периода переувлажнения позволит составить классификацию элементов ландшафта по степени гидроморфизма для решения фундаментальных и прикладных вопросов, связанных с развитием и распространением переувлажнённых элементарных почвенных структур.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Вороно-Цнинское междуречье Приволжской возвышенности Тамбовской области представляет собой пологоволнистые слабо- и среднерасчленённые эрозионно-денудационные равнины. Мезорельеф характеризуется небольшими уклонами, тяжело-суглинистым составом лессовидных суглинков с водоупором на контакте с мореной и озерными глинами раннечетвертичного возраста. Вершинные поверхности (210–214 м) с уклоном до 2° не затронуты эрозионной сетью и обособляются в виде междуречных не дренированных типов местностей. Для них характерна развитая пятнистая сеть неглубоких западин термокарстового и суффозионного происхождения. Застой влаги в таких депрессиях после снеготаяния может сохраняться от нескольких недель до 1.5 месяцев. По мере удаления от водораздела междуречный не дренированный тип местности сменяется плакорным – наклонными равнинами, расчлененными густой сетью ложбин, балок и долин малых рек. Небольшие по площади участки пашни в пределах коротких прибалочных склонов имеют уклон до 5°, где развиваются эрозионные процессы.

Для лесостепной зоны среднемноголетняя норма выпадения осадков является повышенной и составляет 550 мм. В отдельные годы выпадает до 800 мм осадков.

Плотные тяжелосуглинистые и глинистые отложения являются водоупором для выпадающих атмосферных осадков, мешая их инфильтрации и перераспределению по территории, способствуя увеличению увлажненности территории и проявлению признаков гидроморфизма.

Почвенный покров, представлен луговато-, лугово-черноземными и луговыми почвами с выраженными признаками оглеения и оподзоленности.

Продолжительность весеннего переувлажнения, обусловленная топографией поверхности, характером отложений и атмосферным увлажнением, выступает индикатором степени гидроморфизма элементов микрорельефа. В работах Т.А. Романовой предлагается рассматривать водный режим почв как один из факторов почвообразования (Т.А. Романова, 2015). В качестве базового критерия дифференциации и классификации почв предлагается использовать продолжительность периодов переувлажнения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Анализ тематических публикаций показал, что для диагностики содержания влаги в растительности (G.P. Petropoulos et al., 2015; B. Fang, V. Lakshmi, 2013) и в почве (N. Pierdicca et al., 2009; M.R. Saradjian, M. Hosseini, 2011) широко используются космические снимки. В иностранной литературе диагностика длительности избыточного переувлажнения практически не затрагивается. Обнаружена лишь одна статья, касающаяся изучения болотных почв степных потхоллов Канады в рамках уточнения земельно-ресурсного потенциала (T.S. Gala, A.M. Melesse, 2012). В данной статье рассматривалась возможность изучения динамики распространения переувлажнения при помощи снимков RADARSAT-1, LANDSAT ETM+ и LIDAR. Можно сделать вывод, что за рубежом проблема распространения элементов ландшафта, развивающихся в условиях длительного переувлажнения, не стоит столь остро.

Однако, несмотря на то, что статей, полностью совпадающих с нашей тематикой найти не удалось, в изученных работах почерпнут сам принцип дистанционной диагностики увлажнения с помощью спектральных индексов (табл. 1), селективно выражающих содержание влаги в изучаемом элементе ландшафта. Данные индексы составляют основу дистанционной диагностики длительности переувлажнения территории.

Интерес для данного исследования представляет дистанционная диагностика элементов ландшафта, формирующихся в условиях длительного переувлажнения и характеризующихся застойно-промывным водным режимом. Влажность как свойство почвы, или отдельного её горизонта, в данном исследовании, не рассматривается.

Влага, как открытая, так и содержащаяся в растениях, в дистанционной диагностике регистрируется с помощью определённого диапазона длин волн отражённого поверхностью излучения. Для спутника Landsat этот диапазон соответствует 5 и 7 каналам (красный, ближний инфракрасный, а так же, коротковолновый инфракрасный диапазон). Были рассчитаны спектральные индексы (NDVI, NDMI, NDWI, LMI, mNDWI, WI), характеризующие данную территорию по степени увлажнённости. Поскольку индексы, характеризующие влагу, не дифференцируют влагу в растениях и влагу в почве, индекс NDVI и те, которые характеризуют почвенное увлажнение, использовались совместно.

На основе тематического обзора отечественных и зарубежных публикаций разработана методика дистанционной диагностики продолжительности весеннего переувлажнения почв пашни на основе разновременных снимков Landsat. Методика включает следующие этапы:

- 1) выбор на основе репрезентативных рядов метеонаблюдений пары лет с нормальным и максимальным весенним увлажнением;
- 2) подбор для этих лет безоблачных сцен Landsat 5, 7 и 8 поколений на конец периода снеготаяния (март–апрель), середину (апрель – начало мая) и окончание (конец мая – июнь) сроков весеннего переувлажнения пашни;
- 3) радиометрическая и атмосферная коррекция снимков, расчет спектральных индексов, селективно выражающих степень увлажнения поверхности почвы (LMI, NDWI, mNDMI и др.);
- 4) формирование для каждой сцены обучающей выборки в категориях – вода, «мокрая», «сухая» открытая почва, древесно-кустарниковая растительность;
- 5) построение и верификация статистических моделей, выражающих категории увлажнения через величины спектральных индексов;
- 6) расчет прогнозных карт в четырех категориях для каждого снимка;
- 7) визуальное дешифрирование длительности весеннего переувлажнения с градациями – без переувлажнения, в отдельные годы до 1 месяца, ежегодно до 1 месяца, ежегодно более 1 месяца, в отдельные годы более 2 месяцев.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Путём анализа данных метеонаблюдений по метеостанции г. Тамбова определены наиболее «влажный» (2002 г.) и наиболее «сухой» (2014 г.) годы, для которых в каталоге USGS имелись безоблачные снимки Landsat 7 ETM+ и Landsat 8, охватывающих периоды от начала весеннего снеготаяния и до окончания вегетационного периода. Для отобранных снимков производилась радиометрическая коррекция, с целью устранить возможные искажения на снимках. Далее, визуально-экспертным методом были определены классы групп почв по степени увлажнения. Наиболее увлажнённые почвы характеризовались наиболее длительным периодом увлажнения, устойчивым во времени. Данная зависимость показана на рис. 1.

На основании данной классификации построена карта территорий, характеризующихся разной продолжительностью периода переувлажнения (рис. 2). Результатом работы стала карта типов местности Вороно-Цнинского Междуречья (см. рис. 3).

В целях верификации приведённых выше карт групп гидроморфных СПП проведена детальная почвенно-топографическая съёмка трех ключевых участков общей площадью 150 га с контрастным весенним увлажнением поверхности пашни.

Таблица 1. Основные спектральные индексы, используемые в дистанционной диагностике увлажнённости почв.

Индекс	Формула	Что индицирует и ссылка на работу
NDVI	$\frac{NIR - R}{NIR + R}$	Плотность и густота растительного покрова. Косвенный и вспомогательный показатель влажности почв (G.P. Petropoulos et al., 2015; B. Fang, V. Lakshmi, 2013).
NDMI	$\frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$	Степень увлажнённости территории, содержание влаги в растительности (J. Brom et al., 2011; M.R. Saradjian, M. Hosseini, 2011).
NDWI	$\frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR}$	Аналогичен NDM – не дифференцирует содержание влаги в почве и растениях (N. Pierdicca et al., 2010; M.R. Saradjian, M. Hosseini, 2011).
LMI	$\frac{SWIR}{R}$	Влажность земельного участка (D. Dirgahayu, P. Sofan, 2007)
mNDWI	$\frac{B - SWIR}{B + SWIR}$	Влажность земельного участка. Отделяет «воду» от «суши». Устанавливает площадь занятых водой территорий (V.K. Gautam et al., 2015; M. Kumer Ghosh, L. Kumar, C. Roy, 2014)
WI	$\frac{SWIR - R}{SWIR + R}$	Содержание влаги в листьях во время засушливого сезона. Содержание влаги в пологе растительности и в ландшафте в целом (не дифференцировано содержание влаги в растениях и на открытой поверхности) (L. Serrano et al., 2012; L. Serrano et al., 2011)

Примечание: В (Blue) – синий спектральный канал (0.450–0.515 мкм); R (Red) – красный спектральный канал (0.630–0.680 мкм); SWIR (Short Wavelength Infrared) – коротковолновый (средний) инфракрасный спектральный канал, у Landsat 8 OLI их два, это 6 и 7 каналы с длинами волн 1.560–1.660 мкм и 2.100–2.300 мкм соответственно, для Landsat 5 и 7 поколений (TM и ETM+) это 5 и 7 каналы; NIR (Near Infrared) – ближний инфракрасный, у Landsat 5 и 7 это 4 канал (760–900 мкм), а для Landsat 8 OLI это 5 канал (845–885 мкм).

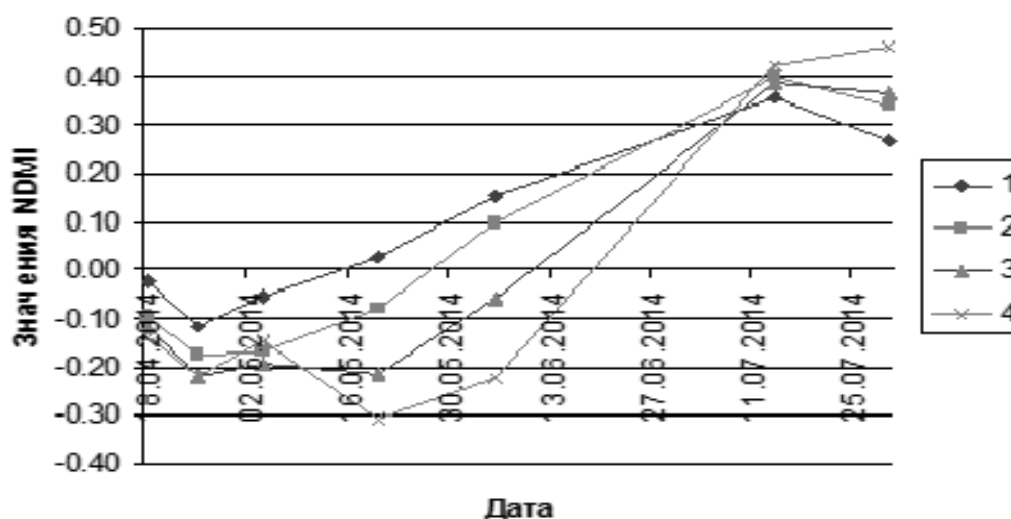


Рисунок 1. Временная динамика показателя NDMI за 2014 г.

Категории влажности почв в зависимости от продолжительности переувлажнения:

- 1 – увлажнение более 2 месяцев; 2 – увлажнение более 1 месяца; 3 – увлажнение до 1 месяца;
4 – условно без переувлажнения, в отдельные периоды до 1 месяца.

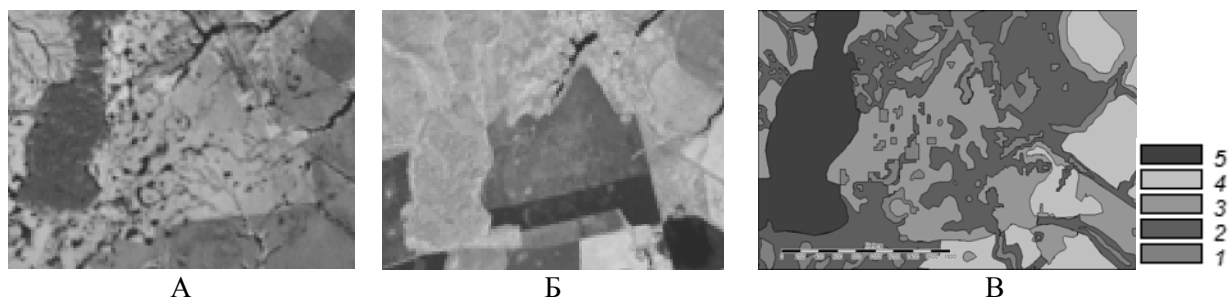


Рисунок 2. Очаги и степень гидроморфизма.

А – снимок Landsat 7 ETM+ 24.03.2002; Б – снимок Landsat 8 14.07.2014; В – Распространение очагов гидроморфизма, характеризующихся длительностью весеннего переувлажнения:

- 1 – увлажнение более 2 месяцев; 2 – увлажнение в пределах 1–2 месяцев;
3 – увлажнение до 1 месяца; 4 – условно «сухие» участки; 5 – лесная растительность.



Рисунок 3. Типы местности

Вороно-Цнинского междуречья:

- 1 – междуречных недренируемых с густой сетью термокарстовых и суффозионных западин; 2 – плакорных слабонаклонных равнин замедленно дренируемых; 3 – плакорных дренируемых слабонаклонных равнин и пологих склонов; 4 – склоновых; 5 – элементы овражно-балочной сети: а – суффозионные и термокарстовые западины, б – эрозионные ложбины. I, II – ключевые участки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дистанционная диагностика очагов гидроморфизма на основании длительности весеннего переувлажнения с момента весеннего снеготаяния возможна. Результаты в виде временного ряда снимков со спутника Landsat показывают, что динамика изменения пространственного распределения почвенного переувлажнения прослеживается чётко. Для разных сцен точность дешифрирования составляет 85–93 %. Наиболее информативными спектральными индексами признаны LMI, mNDWI и альbedo второго среднеинфракрасного диапазона Landsat.

Не удалось выполнить построение и верификацию статистических моделей, выражающих категории увлажнения через величины спектральных индексов и расчёт прогнозных карт в четырех категориях для каждого снимка, но, эти пункты представляют собой желаемые результаты нашей работы, и стремимся к их реализации.

Конечной целью нашего исследования является построение такой модели, которая бы позволяла автоматически выявлять и классифицировать очаги гидроморфизма разной степени для разных территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Романова, Т.А. Водный режим почв Беларуси/ Т.А. Романова. Минск: ИВЦ Минфина. 2015. 144 с.
2. Petropoulos G.P., Ireland G., Barrett B. Surface soil moisture retrievals from remote sensing: Current status, products & future trends. *Physics and Chemistry of the Earth*, 2015. pp 1–21.
3. Bedard-Haughn A. Managing excess water in Canadian prairie soils: A review. *Can. J. Soil. Sci.*, 2008. pp. 157–169.
4. Gala T.S., Melesse A.M. Monitoring prairie wet area with an integrated LANDSAT ETM+, RADARSAT-1 SAR and ancillary data from LIDAR. *Catena* 95, 2012. pp. 12–23.
5. Kumer Ghosh M., Kumar L., Roy C. Monitoring the coastline change of Hatiya Island in Bangladesh using remote sensing techniques, 2014, pp. 137–144.
6. Pierdicca N., Pulvirenti L., Bignami Ch. Soil moisture estimation over vegetated terrains using multitemporal remote sensing data. *Remote Sensing of Environment* 114, 2010. pp. 440–448
7. Brom J. et al. Changes in vegetation cover, moisture properties and surface temperature of a brown coal dump from 1984 to 2009 using satellite data analysis. *Ecological Engineering* 43, 2012. pp. 45–52.
8. Saradjian M.R., Hosseini M. Soil moisture estimation by using multipolarization SAR image. *Advances in Space Research* 48, 2011. pp. 278–286.
9. Gautam V.K., Gaurav P.K., Murugana P., Annadurai M. Assessment of Surface Water Dynamics in Bangalore using WRI, NDWI, MNDWI, Supervised Classification and K-T transformation. *Aquatic Procedia* 4, 2015. pp. 739–746.
10. Serrano L., González-Flor Cr., Gorchs G. Assessment of grape yield and composition using the reflectance based Water Index in Mediterranean rainfed vineyards. *Remote Sensing of Environment* 118, 2012. pp. 249–258.
11. Serrano L., González-Flor Cr., Gorchs G. Assessing vineyard water status using the reflectance based Water Index. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 139, 2010. pp. 490–499.
12. Dirgahayu D., Sofan P. Verification of Land Moisture Estimation Model Based on Modis Reflectances in Agricultural Land. *Remote Sensing and Earth Sciences* 4, 2007. pp. 46–54.

Работа рекомендована к.г.н., доцентом Д.Н. Козловым.

УДК 504.5:631.4:502.55

ФИТОРЕМЕДИАЦИЯ ТЕРРИТОРИЙ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ, В РАЙОНЕ КОСТМУКШСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Е.В. Дубина-Чехович

ФГБНУ «Карельская ГСХОС», Институт леса КарНЦ РАН, d-chehovich@yandex.ru

Избыточное поступление в экосистемы тяжелых металлов в результате антропогенного прессинга, как одних из наиболее опасных химических загрязняющих веществ, часто приводит к необратимым изменениям и нарушениям жизненно важных функций у большинства организмов. Фиторемедиация является высокоэффективной технологией очистки от ряда органических и неорганических поллютантов. Данная технология применяется прямо в районе загрязнения, способствует снижению затрат и уменьшению контакта загрязненного субстрата с живыми организмами и окружающей средой. На сегодняшний день предлагаемые разработки ограничиваются локальными особенностями техногенных территорий и, в каждом частном случае, включают необходимость модификации уже известных методик. Ива, как гипераккумулятор загрязняющих веществ, обладающая достаточной устойчивостью к повышенной концентрации тяжелых металлов в тканях и органах, может по праву являться превосходным природным «инструментом» для изъятия поллютантов из почвы, не требующим особых финансовых затрат и физических усилий. В исследовании проведена оценка содержания и распределения тяжелых металлов в различных органах двух видов ив (*Salix Schwerinii* и *Salix Phylicifolia*), в результате чего были выявлены особенности накопления определенной серии тяжелых металлов в разных морфологических органах ив.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из актуальных проблем современности является оценка уровня загрязнения антропогенных ландшафтов тяжелыми металлами и выбор методов их санации. В последние годы все более широкое признание получает уже давно известный метод фиторемедиации, но в силу не изученности многих технологических аспектов, практического применения он еще не получил (Brooks, 1998; Брюзгина, 2013). Фиторемедиационная технология применяется непосредственно в районе загрязнения (*in situ*), способствует снижению затрат и уменьшению контакта ксенобиотика с живыми организмами и окружающей средой. Под фиторемедиацией почв подразумевают вынос тяжелых металлов посредством их накопления в растительном организме, которые способны очищать почву на глубину роста своих корней. Данный метод может быть использован для очистки се-литебных зон, пахотных почв, а также свалок твердых бытовых отходов (Маджугина и др., 2008). Самое главное, после фиторемедиации почва не теряет своего плодородия. Следовательно, эта технология является экологически безопасной и экономически выгодной. В среднем фиторемедиация обходится в 2–4 раза дешевле, чем удаление и захоронение загрязненного горизонта (Мартьянычев, 2013; Епифанова, Цибульников, 2015). Примером безотходной технологии является сочетание фиторемедиации с выращиванием растений на загрязненных почвах для получения биотоплива. Наиболее перспективными в качестве фиторемедианта являются виды рода *Salix*, которые обладают высоким уровнем генотипического полиморфизма и пластичностью (Валягина-Малютина, 2004; Ефимова, 2012; Неседко, 2012), что определяется филогенетической молодостью рода *Salix* (Кулагин, 1998). Известно, что ивы устойчивы к промышленным загрязнителям (Смирнов, 1980; Минченко, 1989; Сергейчик, 1994; Кулагин, 1998; Johannesson et al., 2002; Захарова, 2005; Vandecasteele et al., 2005), способны накапливать тяжёлые металлы в тканях и органах в высоких концентрациях и обеспечивать фиторемедиацию загрязнённых территорий. Целью наших исследований являлось сравнение фиторемедиационных возможностей плантаций двух видов ив (*Salix Schwerinii* и *Salix Phylicifolia*) для очистки почв техногенной территории, загрязненной тяжелыми металлами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследование было проведено на территории Костомукшского горно-обогатительного комбината (г. Костомукша, Карелия, Россия, 64°34'15"N, 30°34'36"E). Пробная площадь величиной 4 га расположена на расстоянии 200 м от комбината. Основными компонентами выбросов этого горнодобывающего и перерабатывающего предприятия является диоксид серы (среднегодовая концентрация 0.03 мг/м³). В выбросах пыли было обнаружено 18 элементов, среди которых наиболее распространёнными были железо и никель. По их концентрации в пыли, микроэлементы были разделены на две группы: с концентрацией 1–0.1 мг/г (Ni, Fe, Mn, Cr, Pb, Zn, Cu, Sr) и с концентрацией <0.1 мг/г (Zr, As, Br, Mo, Se).

Кроме того, субстрат, который планировалось очищать, содержит большое количество токсикантов. Содержание кадмия (0.59 мг/кг) выше фоновых для Карелии значений. Содержание железа (7818 мг/кг) также значительно выше, чем в среднем по республике. Количество никеля (20.4 мг/кг) превышает фоновые значения на расстоянии до 15 км от комбината. Повышенное накопление кобальта (2.3 мг/кг) и хрома (11.9 мг/кг) отмечается на расстоянии 2 км. Содержание марганца (361.2 мг/кг) в субстрате превышает фон на 45–90 %. Отмечена наиболее высокая степень концентрирования железа. По величине коэффициента концентрирования тяжёлые металлы образуют следующий ряд: Fe > Cr > Co > Ni > Cu > Mn > Pb > Zn (Федорец и др. 1998, 2012).

В мае 2014 года черенками была создана плантация ивы (*Salix Schwerinii* и *Salix Phylicifolia*). В конце вегетационного периода сотрудниками эколого-биологического факультета ПетрГУ был произведен сбор различных частей ивы (листья, стебли, корни, кора, флоэма, древесина). Перед посадкой растений был проведен отбор образцов субстрата

опытного поля из 22 точек для определения агрохимических показателей послойно на глубину 20 см. Отбор образцов проводили трижды в течение вегетации.

Определение кислотно-щелочных свойств проводилось потенциометрическим методом на рН-метре фирмы Hanna (Германия); валовое содержание углерода и азота определялось на CHNS-анализаторе PE-2040 фирмы Perkin Elmer (США) по общепринятым методикам (Аринушкина, 1975); для определения содержания подвижных соединений фосфора и калия использовался метод Труога (Аринушкина, 1975). Определение содержания металлов (Ca, Mg, Na, K, Fe), а также микроэлементов (Cd, Pb, Cu, Co, Ni, Zn, Mn, Cr) проводилось в соответствии с аттестованной методикой РД-52.18.191-89МУ «Методы выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом» на атомно-абсорбционном спектрофотометре АА-6800 фирмы SHIMADZU (Япония). Определение выполнялось в пламени «ацетилен-воздух» с дейтериевой коррекцией фона. Разложение почвенных образцов проводилось в смеси кислот HNO_3 и HCl в соотношении 3:1, при длительном кипячении используя микроволновую систему разложения SW4 производства фирмы Berghof (ФРГ). Оценку качества субстратов по содержанию питательных элементов и металлов, в том числе ТМ, сравнивали со средними региональными фоновыми для Карелии (Федорец и др., 2008). Содержание в растениях металлов определялось методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии после озоления пробы. Сравнение уровня накопления ТМ в растениях проводилось с литературными данными (Пыленок и др. 2010; Кашулина, Салтан, 2008). Коэффициент биологического поглощения (КБП) металла целым растением определяли как отношение содержания металла в растении (сумма содержания металла в корнях, листьях, коре и древесине за вычетом исходного содержания металла в посаженном черешке) к содержанию металла в почве.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Определение агрохимических показателей субстрата на опытном поле без внесения органических и минеральных удобрений и посадок ивы (табл. 1) показало, что реакция среды, оцениваемая по показателям рН водной и солевой вытяжек, близка к нейтральной, содержание органического вещества и азота низкое и недостаточное для успешного произрастания растений ивы. Обеспеченность подвижными соединениями калия очень высокая, что связано с минералогическим составом вскрышных пород Костомукшского месторождения. Для повышения кислотности, содержания органического вещества и элементов минерального питания внесли в почву торф, добытый в районе закладки опытного участка, и суперфосфат. Торф переходного типа, характеризуется слабокислой реакцией и типичным для этого типа торфа содержанием элементов питания.

После внесения торфа, суперфосфата и посадки ивы в июле были отобраны образцы субстрата и определены его агрохимические свойства. Реакция почвенного раствора, а также остальные почвенные показатели практически остались на прежнем уровне, лишь возросло содержание подвижных соединений фосфора. В конце вегетационного периода (сентябрь) изменений агрохимических показателей не выявлено, все они находятся в пределах ошибки опыта, т.к. субстрат на опытном поле характеризуется высокой неоднородностью химического состава.

Общее содержание тяжелых металлов в субстратах опытного поля определялось трехкратно в течение вегетационного периода. Данные по накоплению тяжелых металлов в субстрате представлены в таблице 2. До посадки растений было отмечено высокое содержание марганца и железа. В конце вегетационного периода вновь были отобраны образцы субстрата и проведено определение общего содержания тяжелых металлов. К этому времени ива уже произрастала в течение трех месяцев и накопила значительную вегетативную массу. В результате отмечено следующее: в субстрате незначительно снизилось содержание лития и кобальта, в 2–3 раза – свинца, в 2 раза меди, никеля, цинка, железа и в 3–3.5 раза – хрома и марганца. Содержание кадмия осталось на прежнем уровне.

Таблица 1. Агрохимические показатели субстрата на опытном поле.

Глубина, см	рН		P ₂ O ₅	K ₂ O	N	C	п.п.п., %
	H ₂ O	KCl	мг/100 г		%		
Май							
Агрохимические показатели субстрата							
0–5	7.2±0.8	6.7±0.9	18.3±5.4	199±71	0.543±0.48	8.9±7.1	9.5±4.3
5–10	6.7±1.1	5.9±1.2	19.7±6.6	176±42	0.641±0.59	9.5±9.3	13.5±6.1
10–20	7.1±0.9	6.5±1.1	26.7±16	205.9±77	0.303±0.15	7.7±4.8	13.6±9.4
Июль							
С внесением суперфосфата, торфа и с посадками ивы							
0–5	7.2±0.7	6.6±0.8	35.1±18	257±81	0.341±0.18	5.9±3.5	11.1±5.9
5–10	7.2±0.9	6.4±0.9	28.6±9.5	201±56	0.353±0.32	9.1±9.6	15.5±15.0
10–20	7.6±0.5	6.8±0.6	26.3±11.6	176±61.3	0.326±0.24	6.2±6.1	12.1±11.3
Сентябрь							
С внесением суперфосфата, торфа и с посадками ивы							
0–5	7.1±0.4	6.6±0.5	68±29	369±213	0.314±0.15	7.3±2.5	15.9±6.5
5–10	6.9±0.4	6.3±0.6	89±50	309±195	0.452±0.21	8.9±4.7	22.9±18.0
10–20	6.8±0.3	6.2±0.6	66.7±32	282±169	0.477±0.44	10.5±10.0	20.7±14.0

Оценка содержания тяжелых металлов в органах ивы, растущей на опытном поле, представлена в таблице 3. Данные полученные в результате лабораторных исследований при сравнении с фоновыми характеристиками статистически достоверны.

Рассмотрим распределение металлов в различных органах ивы *Salix Schwerinii*. Наибольшее количество лития и меди накапливается в коре и корнях, кадмия – в коре и флоэме, свинца – в корнях и стеблях, железа, кобальта и никеля – в листьях и корнях, хрома – в корнях, цинк концентрируют корни и флоэма, марганец – листья и кора. В иве вида *Salix Phylicifolia*: литий и медь накапливаются в наибольшей концентрации по сравнению с другими органами растения в корнях и коре, кадмий – в коре и листьях, свинец – в корнях и флоэме, кобальт – в корнях, марганец, никель и хром накапливают корни и листья, цинк – кора и флоэма, железо – корни. Таким образом, эти два вида ивы различаются по особенностям накопления различных тяжелых металлов в различных органах.

Различия выявлены для металлов: кадмий, свинец, цинк, марганец. Остальные из определенных нами металлов (медь, железо, никель, кобальт, хром, литий) накапливаются обоими видами ивы в коре, листьях и корнях.

Для различных металлов выявлены величины наибольшего накопления в различных органах ивы: литий, свинец, кобальт, никель, медь, хром, железо накапливаются в корнях, а кадмий – в коре. Высокие концентрации кобальта и марганца выявлены еще и в листьях, а меди и цинка еще и в коре. Сравнивая концентрации тяжелых металлов в листьях ивы, произрастающих на условно чистых территориях, отмечаем следующее: *Salix Schwerinii* накапливает больше, чем ива на фоновой территории – кадмий и свинец, а *Salix Phylicifolia* – свинец. Статистическая обработка данных с использованием критерия Стьюдента при уровне значимости 95 % показала существенность различий в концентрации свинца в корнях двух видов ивы.

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в субстратах опытного поля, мг/кг.

Глубина, см	Li	Cd	Pb	Cu	Co	Ni	Zn	Cr	Mn	Fe
май (до посадки растений)										
0–5	4.8±0.4	0.08±0.04	7.4±3.4	18.3±5.0	4.0±0.7	27.4±4.7	33.0±7.5	47.0±12.4	374±106	46947±10340
5–10	4.8±0.6	0.05±0.04	6.7±1.6	16.2±3.6	3.4±0.9	23.3±3.5	32.4±9.6	38.8±11.1	382±71	42527±11039
10–20	4.8±0.3	0.15±0.1	8.6±3.8	21.9±8.5	3.8±0.8	23.4±7.1	58.±56.6	32.2±12.7	363±81	46101±8898
июль										
0–5	4.3±0.7	0.08±0.05	5.5±2.1	18.4±7.6	3.5±1.2	22.7±6.1	31.1±8.4	31.9±10.3	315±64	46073±9400
5–10	4.3±1.0	0.09±0.05	5.1±2.3	16.4±4.3	3.3±1.2	20.7±5.5	28.9±7.2	30.9±10.1	326±96	46535±9689
10–20	4.8±0.8	0.11±0.05	5.8±3.1	21.5±7.2	3.9±1.4	24.4±7.1	38±12.6	33.3±11.5	327±63	49511±10332
сентябрь										
0–5	4.1±0.5	0.07±0.04	1.6±0.9	8.1±1.7	2.7±2.2	13.0±6.6	15.8±12	13.4±7.1	90±37	22882±9844
5–10	3.9±0.7	0.07±0.04	1.7±1.1	7.8±1.2	2.0±0.5	11.2±4.3	11.9±3.2	11.5±5.1	81±13	23175±2559
10–20	3.7±0.8	0.07±0.03	4.0±5.7	7.6±1.4	1.8±0.5	11.7±7.2	12.7±5.0	11.5±8.6	93±43	21280±4857
Регион. фон*2008	Нет данных	0.29	15.5	18.5	11.6	27.5	37.2	47.3	282	17505
ПДК	Нет	3	32	100	50	50	300	100	1500	Нет

* – Федорец и др., 2008.

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в растениях ивы *Salix Schwerinii* и *Salix Phylicifolia*, мг/кг.

		Li	Cd	Pb	Co	Ni	Cu	Cr	Zn	Mn	Fe
<i>Salix Schwerinii</i>	Листья	0.35±0.22	0.78±0.48	3.0±1.3	1.7±1.9	2.5±0.45	2.7±0.94	2.2±1.1	81±34	203±131	1198±275
	Стебли	0.18±0.08	0.69±0.23	3.5±0.1	1.07±1.5	1.4±0.34	2.2±0.3	1.6±0.73	67±26	70±45	281±194
	Корни	1.47±1.0	0.37±0.08	5.4±1.6	1.4±1.7	4.7±2.5	6.2±4.0	5.0±2.2	113±102	119±73	2362±1169
	Кора	1.1±0.9	3.7±2.6	3.2±1.3	1.2±1.0	1.9±0.41	6.8±4.0	2.3±1.2	254±86	190±98	428±186
	Флоэма	0.36±0.29	2.2±1.3	3.4±1.1	0.77±0.7	1.3±0.6	2.6±0.9	2.1±1.6	179±91	110±101	119±94
	Древес.	0.20±0.24	0.49±0.30	2.9±1.2	0.57±0.5	0.85±0.3	1.7±0.5	1.43±0.44	39±28	18.7±13.5	28.5±6.5
<i>Salix Phylicifolia</i>	Листья	0.57±0.51	0.24±0.16	3.1±1.3	0.54±0.3	2.2±0.9	2.7±1.8	3.2±1.1	93±37	198±160	1020±320
	Стебли	0.45±0.64	0.3±0.11	3.5±1.1	0.47±0.1	1.4±0.6	1.9±1.0	2.0±1.4	78±43	118±110	210±43
	корни	1.8±2.1	0.2±0.05	4.5±1.3	1.5±1.2	4.5±4.4	7.0±6.7	6.6±6.8	74±43	165±126	5532±7102
	кора	0.61±0.3	0.37±0.19	3.0±1.5	0.19±0.10	1.4±1.6	4.1±1.8	2.6±1.9	143±50	85±83	384±86
	флоэма	0.33±0.10	0.23±0.18	4.3±1.1	0.41±0.12	1.0±0.3	1.2±0.2	2.0±0.4	112±40	45±35	50±16
	древес.	0.27±0.3	0.14±0.05	3.3±0.8	0.40±0.33	1.0±0.6	1.7±0.9	1.45±1.4	58±35	12.2±12	53±33
	*Фон (листья)	нет	0.68	0.21	1.76	8.97	7.7	0.2	125	310	нет

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одним из важных условий успешности работы по восстановлению техногенно-нарушенных ландшафтов является подбор эффективного растительного материала для фиторемедиации в соответствии с климатическими и техногенными условиями загрязненных территорий. Проведенные исследования показали, что наличие тяжёлых металлов в субстрате пульпохранилища оказалось в доступном для поглощения растениями виде. Накопление поллютантов обоими группами растений ивы (*Salix Schwerinii* и *Salix Phylicifolia*) происходило неодинаково. Выявлены особенности накопления определенной серии тяжелых металлов в различных морфологических органах ив. Различия выявлены для таких металлов, как кадмий, свинец, цинк, марганец. Остальные из определенных нами металлов (медь, железо, никель, кобальт, хром, литий) накапливаются обоими видами ивы в коре, листьях и корнях. Исследование показало, что, несмотря на выявленные различия *Salix Schwerinii* и *Salix Phylicifolia* являются качественным и эффективным фиторемедиационным материалом на загрязненных территориях Костомукшского горно-обогатительного комбината.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1975. 491 с.
2. Брюзгина А.Л. Фиторемедиация, как способ очистки почв, загрязненных Cu, Ni, Zn // Научное сообщество студентов XXI столетия. Естественные науки: сб. ст. по мат. XIII междунар. студ. науч.-практ. конф. № 13. URL: <http://sibac.info/archive/nature/Natur07.11.2013.pdf> (дата обращения: 03.10.2016)
3. Валягина-Малютина Е.Т. Ивы европейской части России. Изд-во: М.: Товарищество научных изданий КМК, 2004. 217 с.
4. Ефимова А.П. Спонтанная межвидовая гибридизация как причина внутривидовой изменчивости ив в Якутии // Наука и образование. 2012, № 2. С. 67–72.
5. Епифанова И.А. Оптимизация затрат биологической стадии очистки нефтезагрязненных земель / И.А. Епифанова; науч. рук. М.Р. Цибульниковца // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией, Томск, 6–10 апреля 2015 г.: в 2 т. – Томск: Изд-во ТПУ, 2015. – Т. 2. – [С. 647–648]. URL: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/22972> (дата обращения: 04.10.2016)
6. Захарова Л.А. Устойчивость видов рода *Salix* L. к аэротехногенному загрязнению атмосферы / Л.А. Захарова: дис. канд. биол. наук: Новосибирск, 2005. 176 с.
7. Кашулина Г.М., Салтан Н.В. Химический состав растений в экстремальных условиях локальной зоны комбината «Североникель» Апатиты: КНИЦ РАН, 2008. 235 с.
8. Кулагин А.Ю. Ивы: техногенез и проблемы оптимизации нарушенных ландшафтов. Уфа: Гилем, 1998. 193 стр.
9. Маджугина Ю.Г. Исследование способности вейника наземного аккумулировать тяжёлые металлы с целью разработки технологии фиторемедиации. Москва. – 2008. – 25 с.
10. Мартынянцев А.В. Фитоэкстракция как способ фиторемедиации почв сельскохозяйственного назначения. / Вестник НГИЭИ. – 2013. – № 4. – С. 87–94.
11. Минченко Н.Ф. Декоративные формы некоторых видов рода *Salix* перспективных для использования в зелёном строительстве // Интродукция и акклиматизация деревьев и кустарников, выращивание новых сортов. Киев, 1989. С. 58–67.
12. Недоседко О.И. Жизненные формы деревьев бореальных видов рода *Salix* L. // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского, 2012, № 2 (1), с. 111–118.
13. Нормативные данные по предельно допустимым уровням загрязнения вредными веществами объектов окружающей среды. Справочный материал. С.-Петербург: 1994. С. 111–225.

14. *Сергейчик С.А.* Устойчивость древесных растений в техногенной среде. Минск: Наука и техника, 1994. 279 с.
15. *Серёгин И.В.* Распределение тяжёлых металлов в растениях и их действие на рост: автореферат. – Москва. – 2009.
16. *Федорец Н.Г., Бахмет О.Н., Солодовников А.Н., Морозов А.К.* Почвы Карелии: геохимический атлас. М.: Наука. 2008. 47 с.
17. *Федорец Н.Г., Дьяконов В.В., Литинский П.Ю., Шильцова Г.В.* Загрязнение лесной территории Карелии тяжелыми металлами и серой. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 1998. 47 с.
18. *Федорец Н.Г.* Загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами и серой в районе Костомукшского железо-рудного комплекса // Материалы VI съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева, Всероссийской с международным участием конференции «Почвы России: современное состояние, перспективы изучения и использования». Кн. 3. Петрозаводск: Изд-во КарНЦ РАН, 2012. С. 253–254.
19. *Brooks R.R.* Plants that hyperaccumulate heavy metals. Wallingfors: CAB Intl., 1998. 381 p.
20. *Johannesson M., Anheden M., Arrhenius E., Dahl J., Ericson S.-O., Hinderson A., Nielsen B., Obernberger I., Riddell-Black D.* The Market Implication of Integrated Management for Heavy Metals Flows for Bioenergy use in the European Union, / 2002. – 115 pp.
21. *Vandecasteele B., Meers E., Vervaeke P., De Vos, B., Quataert P., Tack F.M.G.* Growth and trace metal accumulation of two *Salix* clones on sediment-derived soils with increasing contamination levels // *Chemosphere* Vol. 58. 2004. P. 995–1002.

Работа рекомендована д.с.-х.н., профессором Н.Г. Федорец.

УДК 631.4

ХИМИЧЕСКАЯ МЕЛИОРАЦИЯ КАК СПОСОБ УСТОЙЧИВОЙ РЕАБИЛИТАЦИИ КОРКОВЫХ СОЛОНЦОВ БАРАБИНСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Н.В. Елизаров

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Новосибирск

Гидроморфные солонцы Барабинской равнины, образовавшиеся под влиянием пульсации минерализованных грунтовых вод, можно отнести к химически деградированным засоленным почвам, подвергшимся процессам засоления в исторически сложившихся природных условиях. Солонцы обладают плохими физическими и химическими свойствами, однако их потенциальное плодородие достаточно высокое и при внесении гипса эти природно-деградированные почвы приближаются по своей продуктивности к зональным почвам.

ВВЕДЕНИЕ

В Западной Сибири находится почти 20 % всех засоленных почв России (Градобоев Н.Д., 1974) и более 40 % всех солонцовых почв России (Семендяева Н.В., Добротворская Н.И., 2005). Самые крупные массивы солонцов на территории Западной Сибири находятся в Новосибирской, Омской областях и Алтайском крае, причем господствуют гидроморфные почвы содового засоления. Солонцы распространены пятнами от 1–2 до 500 м² в комплексах с зональными почвами. Обладая высокой плотностью сложения в иллювиальном горизонте (1.3–1.5 г/см³) и по всему метровому профилю, низкой порозностью, высокой щелочностью и большим количеством легкорастворимых солей, они снижают плодородие всего массива почв. Без мелиорации такие почвенные комплексы являются низкопродуктивными сенокосами и пастбищами.

С 1984 по 1996 гг. на средства государства была проведена химическая мелиорация солонцов на площади более 3 тыс. га в Новосибирской области, и на 215 тыс. га в Омской (Стройнов В.К., Колебер В.Г., 2009). При этом устойчиво повышалось плодородие солонцов, что обеспечивало высокую и стабильную урожайность сельскохозяйственных культур на длительное время. В Омской области получено 186 тыс. т корм. ед. дополнительного зерна и кормов за годы активного последействия гипса (Окультуривание..., 1985; Березин Л.В., 2005; Семендяева Н.В., 2009). В настоящее время из-за недостатка финансирования работы по химической мелиорации солонцов (в том числе повторной) в Западно-Сибирском регионе прекращены.

Таким образом, на территории Западной Сибири промелиорированы обширные территории солонцовых почв, современное состояние которых неизвестно и представляет интерес с точки зрения фундаментальной науки, а также прикладной – для расширения кормовой базы животноводческих хозяйств.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований являлись солонцы корковые гидроморфные с различным содержанием обменного натрия, которые первоначально были вовлечены в сельскохозяйственное использование, а затем выведены в залежь.

Наши исследования проходили в северной лесостепной подзоне Барабинской низменности на территории Новосибирской области, в Чулымском районе, на полях АО «Кабинетное» с 2010 по 2013 гг. Полевые исследования проводили на двух мелкоделяночных опытах, расположенных в непосредственной близости друг от друга, на солонцовом стационаре Сибирского НИИ земледелия и химизации СО РАСХН.

Опыты на малонатриевых солонцах заложены в 1981 году, а на многонатриевых – в 1986 году на плоских выровненных широких пространствах между колками, с выраженным микрорельефом в виде неглубоких блюдцеобразных понижений.

На малонатриевых солонцах набор доз гипса эмпирический и изменялся от 0 до 50 т/га без учета содержания обменного натрия. На многонатриевых солонцах дозы гипса рассчитаны по среднему образцу с интервалом 0.25 нормы по натрию – от 0 до 1.25 нормы, соответственно: контроль (без гипса), гипс 11 т/га, гипс 23 т/га, гипс 36 т/га, гипс 45 т/га, гипс 56 т/га.

Делянки на опытах были обтянуты полиэтиленовой пленкой на глубину 30–40 см с небольшим поверхностным напуском, чтобы избежать бокового и поверхностного стока. Площадь делянки на малонатриевых солонцах – 1 м², на многонатриевых – 4 м² с расстоянием между делянками 1 м.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Длительное действие однократного внесения гипса изменило профиль мелиорированного солонца. Разрушилась столбчато-ореховатая структура солонцового горизонта, вместо нее сформировался уплотненный горизонт темно-серого цвета с белесоватостью и комковато-зернистой структурой. На варианте без внесения гипса в иллювиальном горизонте отчетливо видна глыбисто-ореховатая структура с глянцем на гранях структурных отдельностей.

При изучении физических свойств солонцов установлено, что на контрольных вариантах плотность слоя 0–20 см достаточно высокая и составила 1.28–1.30 г/см³. При такой плотности большинство сельскохозяйственных растений плохо развиваются, воздухо- и водообмен их низкий. Поэтому на них практически отсутствовала даже естественная растительность. С поверхности сформировалась мощная почвенная корка. С глубиной плотность увеличивалась, достигая максимума в слое 80–100 см (1.40–1.63 г/см³) (табл. 1).

Длительное воздействие на многонатриевые солонцы полной и повышенной доз гипса (45 и 56 т/га) снизило плотность почвы по всему метровому слою. В верхнем 20-сантиметровом слое она находилась в пределах оптимальной для возделывания сельско-

хозяйственных культур (1.01 г/см^3). На данных вариантах отсутствовала почвенная корка, и слой почвы был довольно рыхлым. С глубиной происходило постепенное увеличение плотности, и её максимум приходился на слой 80–100 см.

Таблица 1. Изменение плотности сложения мелиорированных солонцов после длительного действия одноразового внесения гипса ($n = 5$; $p = 0.1$).

Глубина взятия образца, см	Плотность сложения, г/см ³					
	Малонатриевый			Многонатриевый		
	Доза гипса, т/га					
	0	18	35	0	45	56
0–20	1.28±0.11	1.01±0.11	1.00±0.21	1.30±0.12	1.01±0.18	1.01±0.16
20–40	1.31±0.15	1.18±0.13	1.16±0.14	1.36±0.18	1.18±0.15	1.15±0.15
40–60	1.39±0.14	1.22±0.16	1.22±0.16	1.44±0.22	1.20±0.20	1.18±0.18
60–80	1.37±0.20	1.30±0.14	1.30±0.20	1.46±0.21	1.22±0.19	1.20±0.20
80–100	1.40±0.22	1.30±0.16	1.30±0.18	1.63±0.18	1.30±0.17	1.22±0.22

Подобная закономерность изменения плотности сложения сохранилась и в малонатриевых солонцах. На мелиорированных вариантах длительное действие одноразового внесения гипса способствовало значительному снижению плотности сложения по всему метровому профилю. С увеличением дозы гипса уменьшалась и плотность сложения, что особенно проявилось на многонатриевых солонцах. Одноразовое внесение четвертной дозы мелиоранта (11 т/га) практически не повлияло на изменение плотности. Она на данном варианте находилась в интервале $1.28\text{--}1.30 \text{ г/см}^3$.

Таблица 2. Плотность твердой фазы (ρ) и общая порозность солонцов Барабы.

Глубина взятия образца, см	Малонатриевый				Многонатриевый			
	$\rho, \text{г/см}^3$	Общая порозность, %			$\rho, \text{г/см}^3$	Общая порозность, %		
		0	18	35		0	45	56
0–20	2.43	47.3	58.4	58.8	2.45	46.9	58.8	58.8
20–40	2.64	50.4	55.3	56.1	2.67	49.4	56.3	56.9
40–60	2.68	48.1	54.5	54.5	2.68	46.3	55.2	56.0
60–80	2.69	49.1	51.7	51.7	2.7	45.9	54.8	55.6
80–100	2.7	48.2	51.7	51.7	2.7	39.6	51.9	54.8

Плотность твердой фазы длительно мелиорированных мало- и многонатриевых солонцов примерно одинакова. В слое 0–20 см она составила $2.43\text{--}2.45 \text{ г/см}^3$. С глубиной возрастала и в слое 80–100 см в профиле обоих солонцов была равной 2.70 г/см^3 . Данная величина слабо меняется под воздействием различных агротехнических и мелиоративных приемов, в том числе – химической мелиорации, о чем свидетельствуют результаты наших исследований.

В малонатриевых солонцах общая порозность на контроле низкая по всему профилю и находилась в пределах ниже 50 %. Следует отметить, что на контрольном варианте малонатриевых солонцов она несколько выше, чем в многонатриевых, что связано с более тяжелым гранулометрическим составом последних. Особенно низкая порозность установлена в слое 80–100 см многонатриевого солонца, где она составила всего лишь 39.6 %, при этом гранулометрический состав слоя был тяжелоглинистым. На обоих мелиорированных солонцах увеличилась общая порозность, особенно, в слое 0–20 см и составила 58.8 %, что соответствует оптимальным условиям произрастания сельскохозяйственных растений.

В результате исследований выявлено уменьшение запасов солей в профиле мелиорированных как мало-, так и многонатриевых солонцов, по сравнению с контролем.

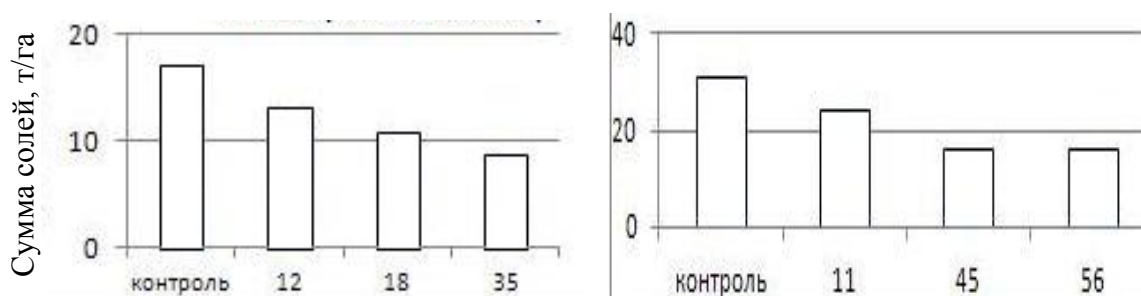


Рисунок 1. Запасы солей в метровой толще солонцов.
А – малонатриевый солонец; Б – многонатриевый солонец.

Чем выше была внесенная доза гипса, тем меньше солей находилось в 100-сантиметровой толще (рис. 1). Максимальное количество солей в профиле малонатриевого солонца обнаружено на контроле. В слое 0–100 см оно составило – 17.06 т/га, а при одноразовом внесении 35 т/га гипса уменьшилось до 8.75 т/га. Минимум солей на всех вариантах опыта приходился на слой 0–20 см (~ 1 т/га). С глубиной их содержание увеличивалось, достигая, как правило, максимума в слое 80–100 см – 4.63 т/га на контроле, а на вариантах гипс 18 и 35 т/га соответственно 2.41 и 2.26 т/га.

На контроле многонатриевого солонца максимум солей приходился на слой 20–40 см – 11.12 т/га. В слое 40–60 см количество солей резко снижалось (до 5.4 т/га), а затем шло их постепенное уменьшение. Примерно такое же распределение солей по профилю характерно для целинных солонцов, в которых, как правило, максимум солей приходится на горизонте В₂ (примерно слой 20–40 см), то есть в залежном состоянии на контрольных вариантах солонцов восстановилась не только столбчатая – ореховая структура, но и солевой профиль.

В слое 0–20 см многонатриевых немелиорированных солонцов количество солей в 2 и более раз превышало запасы солей мелиорированных вариантов на той же глубине (5.54 и 2.93, 2.31 и 1.41 т/га – контроль и доза гипса 11, 45, 56 т/га). На вариантах 45 и 56 т/га в метровой толще количество солей было примерно одинаковым 16.34 и 16.50 т/га, что наглядно показывает о нецелесообразности увеличения дозы гипса выше расчетной по Гедройцу.

Улучшение физических и физико-химических свойств отразилось на урожайности мелиорированных вариантов солонцов по сравнению с контролем (15–34 %). Самая большая урожайность получена на вариантах с внесением гипса в дозах 56 и 45 т/га.

Таблица 3. Урожайность донника (18 лет) на многонатриевом солонце, г/м².

Год	Контроль (без гипса)	Доза гипса, т/га		
		11	45	56
2008 норма	173.3	238.3/+65.0*	445.0/+271.7	650.0/+476.7
2012 засушливый	31.5	44.4/+12.9	107.8/+76.3	268.7/+237.2
2013 увлажненный	198.3	217.9/+19.6	330.5/+155.6	413.1/+214.8

Примечание: * – прибавка урожайности к контролю, г/м². 2008 г. – данные Семендяевой Н.В., (2009).

Прибавка урожайности донника на залежи варьировалась от условий вегетационного периода. При оптимальных температуре и влагообеспеченности в 2008 г. достигнута наибольшая урожайность донника на варианте 56 т/га. На других вариантах она превышала контроль в 1.4 и 2.6 раза. В жарком и засушливом 2012 году урожайность донника снизилась и была в 2.4–5.5 раза меньше, чем в 2008 г. Причем урожайность на мелиорированных солонцах возрастала с увеличением дозы гипса, достигая максимума на варианте 56 т/га. В теплом и влажном 2013 г. самая большая урожайность донника получена на мелиорированных вариантах 45 и 56 т/га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение химической мелиорации является средством коренного улучшения физических и физико-химических свойств и продуктивности засоленных почв Барабинской равнины с длительностью действия более 25–30 лет.

Под влиянием длительного действия одноразового внесения гипса в больших дозах улучшились и на длительное время сохранились в хорошем состоянии физические свойства мелиорированных солонцов, тогда как пониженная доза не оказала ощутимого эффекта.

В многонатриевых солонцах запасы солей в 100 сантиметровой толще контроля (без гипса) превышали запасы малонатриевых практически в два раза – 31.29 и 17.06 т/га соответственно. На вариантах 45 и 56 т/га количество солей было примерно одинаковым 16.34 и 16.50 т/га, что наглядно показывает о нецелесообразности увеличения дозы гипса выше расчетной по Гедройцу.

Действие одноразового внесения гипса увеличило урожайность естественного травостоя и донника в 1.4–3.8 раза в нормальный по тепло- и влагообеспеченности год и в 1.4–8.5 раза – в жаркий и засушливый. В тёплый и избыточно увлажнённый год разница наибольшая урожайность донника получена при внесении гипса в дозах 45 и 56 т/га, которая превысила контроль в 1.8–2.0 раза.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Березин Л.В.* Мелиорация и использование солонцов Сибири / Л.В. Березин. – Омск, 2005. – 206 с.
2. *Градобоев Н.Д.* Интенсификация использования солонцовых земель – важнейший резерв Сибирского земледелия // Земельные ресурсы Сибири. – Новосибирск, 1974. – с. 143–155.
3. *Окультуривание и использование солонцовых и засоленных земель лесостепной зоны: рекомендации* / под ред. Л.В. Березина. – Омск: Ом. КН. Изд-во, 1985. – 85 с.
4. *Семендяева Н.В., Добротворская Н.И.* Теоретические и практические аспекты химической мелиорации солонцов Западной Сибири. – Новосибирск, 2005. – 156 с.
5. *Семендяева Н.В.* Изменение некоторых свойств солонцов Барабинской низменности при 20–25-летнем действии гипса / Почвоведение, 2009, № 8, с. 1–8.
6. *Стройнов В.К., Колебер В.Г.* мелиоративные приемы повышения продуктивности малоплодных солонцовых почв в западной Сибири // Проблемы рационального использования малоплодородных земель. – Омск, 2009. – С. 140–144.

Работа рекомендована д.с.-х.н., профессором Н.В. Семендяевой.

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ ПОТОКОВ CO₂ НА ВЕРХОВОМ БОЛОТЕ ЮЖНОЙ ТАЙГИ

П.Р. Енчилик¹, Д.Г. Иванов²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Географический факультет, Москва

²ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва
polimail@inbox.ru

С июля по октябрь 2015 года проводили наблюдения за почвенными потоками CO₂ на верховом болотном массиве Старосельский мох. Для измерений использовали метод статических камер. В результате проведенных исследований определено, что потоки CO₂ с напочвенного покрова отдельных микроландшафтов в большей степени зависят от: температуры почвы и воздуха, уровня грунтовых вод, надземной биомассы растений. В период наблюдений верховое болото в основном являлось стоком углекислого газа вплоть до октября.

ВВЕДЕНИЕ

Круговорот углерода является одним из важнейших биогеохимических циклов в биосфере. Динамика содержания углекислоты в атмосфере привлекает внимание различных специалистов, потому что одним из главных факторов нарушения теплового баланса в системе Земля – атмосфера является увеличивающаяся концентрация в атмосфере парниковых газов [1].

Суммарная эмиссия диоксида углерода в России составляет 3.12 Гт, что в 4.5 раз больше промышленных выбросов CO₂. Основным источником диоксида углерода в атмосферу на территории России – естественная биота [2]. Болота являются уникальными экологическими системами, которые поглощают CO₂ и изолируют его из круговорота углерода, связывая в торфяной залежи на длительный период [3; 4]. Области активного торфонакопления занимают площадь 9 млн км² (6 % от площади суши). На территории России торфяные заболоченные и болотные земли расположены на 369.1 млн га, что составляет 21.6 % площади страны [5].

Цель исследования состояла в оценке пространственно-временной изменчивости обменных потоков CO₂ с атмосферой на верховом болоте, расположенном на юго-западе Валдайской возвышенности.

Для реализации поставленной цели были решены следующие задачи: (1) определение роли пространственной неоднородности верхового болота в формировании потоков CO₂; (2) оценка роли внешних факторов в формировании временной изменчивости потоков CO₂.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Наблюдения за потоками углекислого газа выполнены в июле, августе и октябре 2015 года на верховом болотном массиве «Старосельский мох». Болотный массив расположен в охранной зоне Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника [6]. Верховое болото «Старосельский мох» расположено в юго-восточной части ЦЛГБЗ. Абсолютные отметки поверхности болота 250–257 м. Площадь болотного массива составляет 6.17 км². Массив имеет неправильную форму, которая определяется формой котловины, занятой болотом. Измерения проводили на северо-западной части болотного массива.

«Старосельский мох» принадлежит к олиготрофному (верховому) экологическому типу болотной растительности. Состав болотных формаций характеризуется большой не-

однородностью. В пределах болота выделяются различные типы болотных микроландшафтов: сосново-кустарничково-сфагновый, сосново-пушицево-сфагновый, пушицево-сфагновый, грядово-мочажинный с олиготрофным типом растительности на грядах и в мочажинах [6]. Средняя мощность торфа в пределах болота составляет 4–5 м. Для северо-западной части болотного массива накопление торфа в пределах глубоких и небольших впадин не может сопровождаться приобретением поверхности этих участков выпуклой формы, и потому для нее более типичны сфагново-пушицевые микроландшафты.

Измерения потоков CO_2 выполнены в 27 точках, расположенных через 15 м вдоль 400 метровой трансекты. Наблюдения проводили один раз в 7–9 дней.

Для измерений использован метод статических камер [7], который заключается в регистрации изменений концентрации газа внутри закрытой полусферической камеры из прозрачного полихлорвинила диаметром 30 см, высотой 15 см, соединенной с инфракрасным газоанализатором Li-840 (Li-Cor Inc., США).

Камера устанавливалась на основание, врезанное в почву на 35 см. На каждой точке проводили измерения чистого экосистемного обмена CO_2 прозрачной камерой и дыхания с помощью камеры, накрытой светонепроницаемым чехлом, время экспозиции составило в среднем 200 с.

Расчет потоков CO_2 производили по определению скорости изменения концентрации диоксида углерода в камере:

$$C_t = C_x + (C_0 - C_x)e^{-a(t-t_0)},$$

где C_t – концентрация CO_2 (мкмоль/моль или ppm) в камере в момент времени t , C_x – концентрация CO_2 в камере в момент окончания измерения, C_0 – начальная концентрация CO_2 в камере, a – константа, t_0 – время начала аппроксимации.

В результате вычисляли следующие составляющие баланса углекислого газа между поверхностью торфа с растительным покровом и атмосферой: NEE – чистый обмен диоксида углерода относительно атмосферы, определяет баланс между поглощением CO_2 растениями при фотосинтезе и выделением CO_2 растениями и почвой в процессе дыхания [8]; Re – общее дыхание, сумма дыхания автотрофов и гетеротрофов; GPP – общая первичная продукция [7].

Кроме того, измеряли температуру почвы (на глубине 10 см) и воздуха термометром Hanna Checktemp 1 (HANNA instruments, USA). На трансекте у каждого основания были установлены трубки (до глубины 120 см) для измерения уровня грунтовых вод [9]. Также на каждой точке измерена общая биомасса и отдельно биомасса сфагноума, кустарников и трав.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В летние месяцы значения эмиссии диоксида углерода в результате общего дыхания с поверхности болота, которое представляет суммарный поток, включающий дыхание фотосинтезирующих растений и результат деятельности микроорганизмов изменялись от 156 до 842 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{ч}$. Общая первичная продукция варьировала от 8 до 1636 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{ч}$. Баланс CO_2 между эмиссией и поглощением принимал значения от –931 до 511 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{ч}$ (знак минус соответствует поглощению CO_2 из атмосферы). Среднее значение эмиссии для всех типов микроландшафтов для летнего периода составило 376, депонирования – 531 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{ч}$.

В октябре значения эмиссии диоксида углерода изменялись от 7 до 108 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{ч}$. Показатели общей первичной продукции варьировали от 24 до 235 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{ч}$. Баланс CO_2 между эмиссией и поглощением принимал значения от –169 до 22 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{ч}$. Среднее значение эмиссии для всех типов микроландшафтов для осеннего периода составило –35, депонирования – 100 $\text{mgCO}_2/\text{m}^2 \cdot \text{ч}$.

На рисунке представлена временная изменчивость потоков диоксида углерода на верховом болоте по типам микроландшафтов в июле, августе и октябре 2015 года.

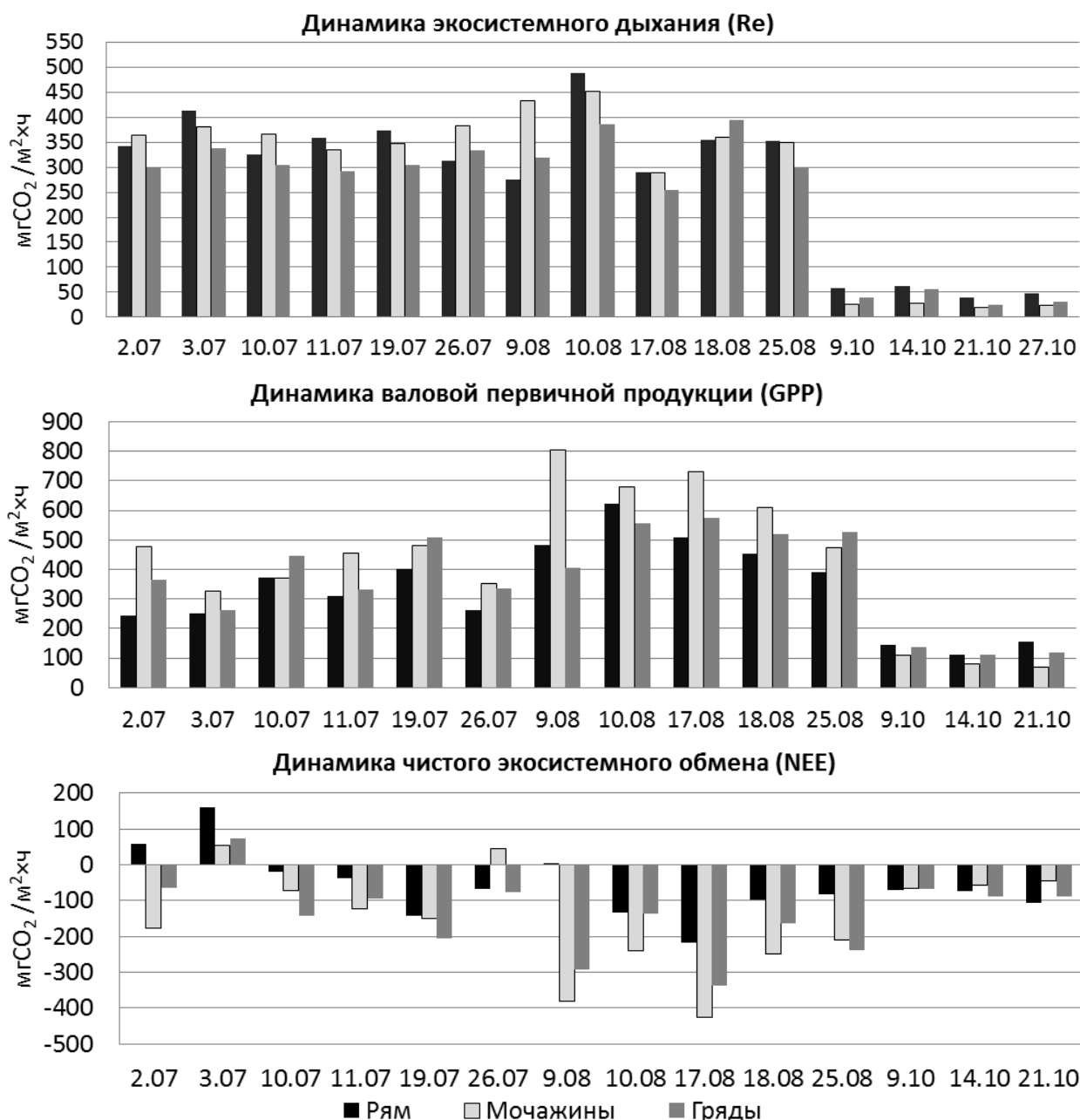


Рисунок. Временная динамика потоков диоксида углерода (мгСО₂/м²·ч) на верховом болоте по типам микроландшафтов с июля по октябрь 2015 года.

На мочажинах, где высокий уровень грунтовых вод препятствует высыханию сфагнома, депонирование углекислого газа происходит более интенсивно. Наибольшая интенсивность выделения и поглощение СО₂ происходит в первой декаде августа;

В июле, в связи с продолжительным сухим периодом, при возрастании средней температуры почвы и воздуха в течение месяца, активность поглощения и выделения СО₂ в среднем возрастает.

Со второй половины августа происходит снижение температуры, и активность потоков СО₂ также уменьшается. В октябре процесс фотосинтеза у трав и кустарничков прекращается, но депонирование СО₂ напочвенным покровом продолжается за счет сфагнома, который поглощает диоксид углерода при температуре воздуха до 3 °С. Полученные результаты доказывают значительное влияние температуры на жизнедеятельность растений и микроорганизмов и их вклад в общий баланс углерода верхового болота.

Для определения факторов, влияющих на эмиссию CO₂, проводили корреляционный анализ между потоками CO₂ на верховом болоте и внешними факторами. В таблице представлены коэффициенты корреляции эмиссии диоксида углерода на трансекте с основными внешними факторами по типам микроландшафтов.

Исследования показали, что одним из основных факторов, определяющих изменчивость потоков CO₂, является температура приземного слоя воздуха и почвы. При увеличении температур возрастает активность экосистемного дыхания, которое определяется жизнедеятельностью микроорганизмов, дыханием корней и физико-химическими процессами в торфяной залежи. Также на дыхание оказывает влияние биомасса сфагнома и трав. Преобладающее влияние трав объясняется активным корневым дыханием. В тоже время корреляция с биомассой сфагнома является отрицательной, поскольку, площадь поверхности, занятой мхом, обратно пропорциональна площади, занятой активно дышащими травами и кустарничками. На протяжении всей трансекты на грядах, где почва прогревается лучше, и грунтовые воды находятся глубоко, эмиссия углекислого газа происходит активно.

Уровень грунтовых вод определяет эмиссию в меньшей степени, в то же время на грядах наблюдается обратная корреляция с УГВ, поскольку высокий уровень воды ингибирует дыхание.

Таблица. Коэффициенты корреляции эмиссии CO₂ с основными внешними факторами.

Микро- ландшафты	Лето				Осень			
	Рямы	Гряды	Моча- жины	Тран- секта	Рямы	Гряды	Моча- жины	Трансекта
Т почвы	0.10	0.20	0.80	0.67	0.71	0.56	0.45	0.59
Т воздуха	0.25	0.12	0.64	0.58	0.64	-0.01	0.11	0.23
УГВ	0.03	-0.51	0.22	0.34	-0.14	0.00	-0.52	-0.45
Сфагнум	-0.43	-0.38	0.41	-0.19	-0.08	0.22	0.26	0.43
Травы	-0.24	0.41	-0.79	-0.04	-0.46	-0.16	-0.29	-0.40
Кустарнички	0.24	0.22	0.03	0.32	0.46	0.29	0.45	0.52
Общ. биомасса	-0.75	-0.81	0.10	-0.02	-0.59	0.07	0.41	0.45

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований определено, что в течение летнего (июль, август) и осеннего (октябрь) периодов верховое болото в основном являлось стоком углекислого газа. Значительной разницы между величинами потоков на различных микроландшафтах выявлено не было.

В целом, для большинства микроландшафтов болота характерна довольно тесная зависимость между эмиссией CO₂ и температурами почвы и воздуха. Выявлены отдельные зависимости дыхания от уровня грунтовых вод для гряд и мочажин в разные периоды. Учитывая высокие отрицательные коэффициенты корреляции дыхания и общей наземной биомассы, можно заключить, что основным источником дыхания в рямах и на грядах являются микроорганизмы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации.* Москва – 2014. Официальное издание Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Росгидромет) под общей редакцией Руководителя Росгидромета А.В. Фролова
2. *Вомперский С.Э.* Роль болот в круговороте углерода. В кн. Биогеоценотические особенности болот и их рациональное использование. – М. Наука, 1994. – С. 5–37.
3. *Вомперский С.Э., Цыганова О.П., Ковалев А.Г.* Заболоченность территории России как фактор связывания атмосферного углерода// Круговорот углерода на территории России. М. 1999. С. 124–145.

4. Глазовская М.А. Принципы классификации природных геосистем по устойчивости к техногенезу и прогнозные ландшафтно-геохимическое районирование. // Устойчивость геосистем. – М.: Наука, 1983.
5. Вомперский С.Э., Цыганова, Сиринов А.А. Оценка площади болотных и заболоченных лесов России // Лесоведение, № 5, 2011. с. 3–5.
6. Официальный сайт ЦЛГПБЗ [Электронный ресурс] – 2005 – Режим доступа: <http://www.clgz.ru>
7. Карелин Д.В., Замолотчиков Д.Г. Углеродный обмен в криогенных экосистемах. М.: Наука. 2008. 344 с.
8. Wofsy S.C., Goulden M.L., Munger J.W., Fan S.-M., Bakwin P.S., Daube B.C., Bassow S.L., Bazzaz F.A. Net exchange of CO₂ in a mid-latitude forest // Science. V. 260. No. 5112. 1993. P. 1314–1317.
9. Наставления гидрометеорологическим станциям и постам // Гидрометеорологические наблюдения на болотах. Вып. 8. Л.: Гидрометеоздат. Вып. 8. 1990. 360 с.

Работа рекомендована к.б.н., в.н.с. Ю.А. Курбатовой, к.г.н. Е.Н. Асеевой.

УДК 631.6

АГРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МЕЛИОРИРОВАННЫХ ПОЧВ О. ВАЛААМ (ЛАДОЖСКОЕ ОЗЕРО)

М.Г. Ерманова

Российский государственный гидрометеорологический университет, Санкт-Петербург

В работе рассмотрены агрохимические характеристики четырех сельскохозяйственных полей о. Валаам.

ВВЕДЕНИЕ

Почвы – один из основных компонентов экосистемы Валаамского архипелага, в полной мере отражающие особенности природных условий, историю и современное состояние. Рельеф острова Валаам относится к денудационно-тектоническому сильно расчлененному типу: скалистые асимметричные гряды – сельги с плоскими вершинами и крутыми склонами разделены системой депрессий, приуроченных к тектоническим разломам. Специфику почвообразования на Валааме определяют состав и свойства почвообразующих пород. Среди почвообразующих пород преобладают элювий и элюво-делювий габбро-диабазов, моренные, озерно-ледниковые и озерные отложения (ленточные глины, суглинки, пески).

Помимо естественных, на Валааме существуют антропогенно-преобразованные почвы. Сельскохозяйственные угодья острова приурочены главным образом к понижениям рельефа. Почвенный покров угодий представлен преимущественно полугидроморфными дерново-глеевыми почвами, подвергшимися осушительной мелиорации.

Целью данной работы было рассмотрение основных агрохимических характеристик мелиорированных земель острова Валаам.

Основными задачами исследования были:

1. рассмотреть проблемы связанные с окультуриванием земель острова Валаам;
2. рассмотреть особенности сельскохозяйственных земель острова Валаам;
3. провести анализ мероприятий по улучшению плодородия сельскохозяйственных почв острова Валаам.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом проведенного исследования являются сельскохозяйственные поля и луга о. Валаам, расположенного в северной части Ладожского озера, в 40 км от города Сортавала. Исследования проводились в летний период 2014–2015 гг. на базе учебно-научной станции РГГМУ «Валаам».

Основной базой сельского хозяйства на Валааме являются территории занятые лугами, расположенные в обширных понижениях водосборной территории малых уникальных озер острова. Во время проведения наших исследований на некоторых лугах проводились мелиоративные работы, включающие в себя прокладку канав и заложение внутрипочвенного дренажа. Дренажные воды непосредственно сбрасываются в озера, что уже приводит к изменению их гидрологических и гидрохимических параметров. Снижение продуктивности полей может привести к необходимости увеличения площадей сельскохозяйственных земель за счет вырубки лесных массивов.

Нами были рассмотрены четыре участка, находящиеся на момент исследования под лугами. К ним относятся Никоновское поле (участок 1), луг у Лещёвого озера (участок 2), Германовское поле (участок 3) и Владимирский луг (участок 4). Для достижения цели работы было заложено 14 почвенных разрезов и отобрано 58 образцов почв. В полевых условиях произведено морфологическое описание профилей изучаемых почв. В лабораторных условиях при определении основных агрохимических показателей использованы стандартные методики, содержание органического углерода определяли по Тюрину, сумму поглощенных оснований определяли по методу Каппена, подвижный фосфор методом Кирсанов.

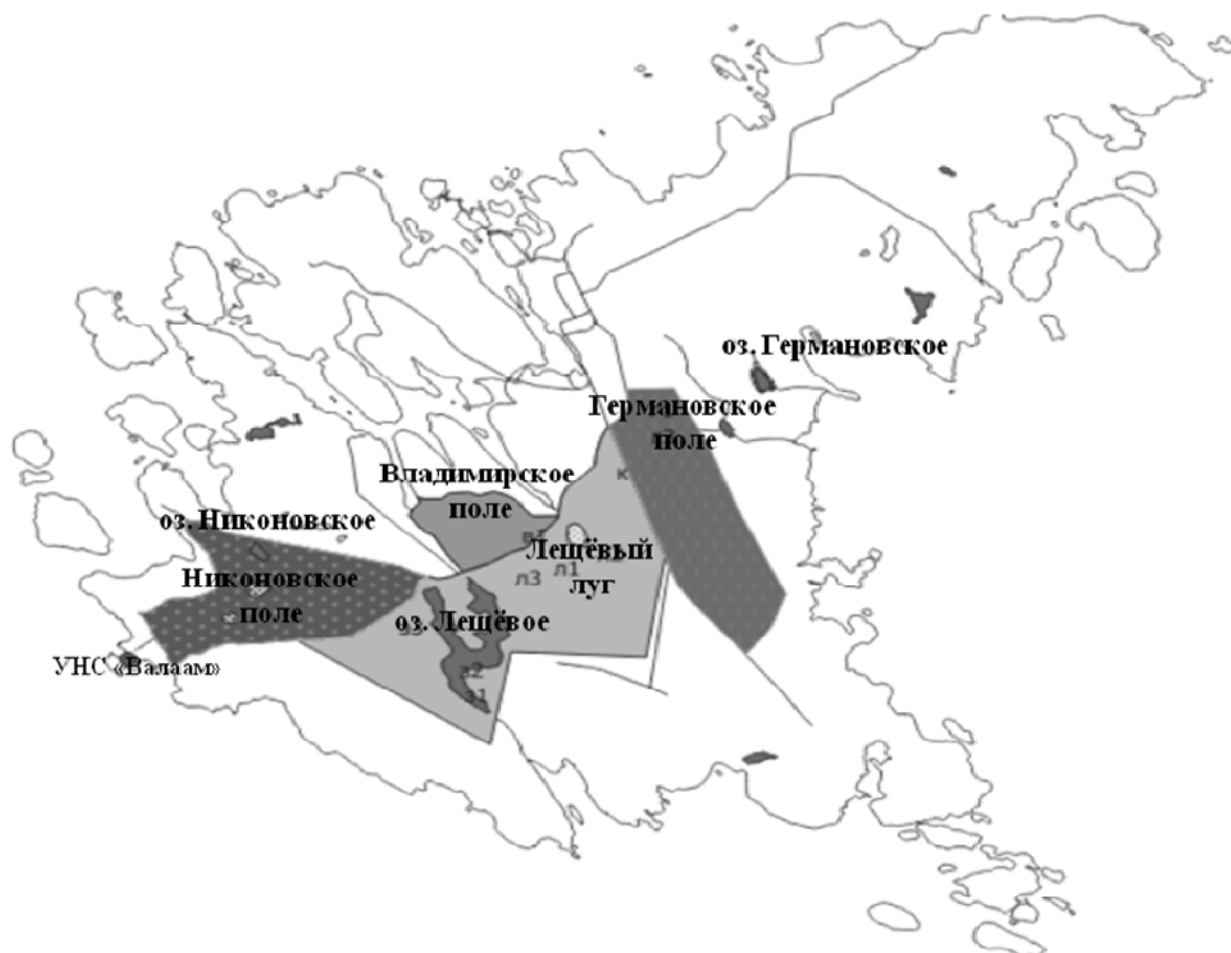


Рисунок 1. Карта-схема Валаамского архипелага, местоположение исследуемых участков.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Никоновское поле (участок 1) расположено вдоль дороги от Воскресенского скита к Германовскому полю. Почвообразующие породы участка представлены озерными и озерно-ледниковыми глинами. На поле сохранились старые мелиоративные каналы.

Разрезы были заложены на участке сенокосного луга, на котором преобладают осоки, злаки, таволга. Было отмечено, что в разных участках поля почвы отличались мощностью и нарушенностью профиля. В некоторых местах встречались почвы с сильнонарушенным профилем, наличием погребенного гумусового горизонта и включением материнской породы в верхнюю часть профиля (разрез 1). Для этого разреза наблюдаются: максимальное содержание органического углерода, $N-NH_4$ и менее кислая реакция среды в средней части профиля в погребенных гумусовых горизонтах. Другие почвы этого участка характеризуются среднекислой реакцией среды, содержанием органического углерода от низкого до очень высокого (0.46–12.18 %), высоким содержанием подвижных форм фосфора, отмечено увеличение содержания фосфора с глубиной, увеличение значения аммонийного азота к середине профиля. Сумма поглощенных оснований увеличивается до середины профиля, затем уменьшается. Максимальное значение наблюдается в горизонте A1 равное 13.75 мг экв/100 г при среднекислой реакции среды (разрез 2).

Таблица 1. Агрохимические свойства почв о. Валаам.

№ разреза	Глубина, см	S, мг экв/100 г	C, %	P ₂ O ₅ , мг/кг	N-NH ₄ , мг/кг	pH
1	Ad 0–10	8.75	2.10	37.50	4.34	4.38
	A1Cg 10–20	11.00	2.57	65.00	6.53	4.71
	A1 20–30	12.25	4.40	50.00	15.07	5.05
	A1* 30–38	11.25	3.04	57.50	10.25	4.74
	C 38–59	13.50	0.54	100.00	2.98	4.80
	Cg 59–62	10.75	0.64	170.00	2.84	4.87
2	Adg 0–20	13.00	10.14	27.50	9.58	5.26
	A1 20–28	13.75	12.18	15.00	25.61	4.72
	C1 28–48	14.50	8.61	27.50	11.84	4.54
	C2 48–53	10.00	0.46	90.00	2.43	5.14
3	Adg 1–4	15.25	3.40	162.60	162.60	5.07
	A1 4–13	13.25	2.59	147.28	147.28	5.32
	AB 13–22	11.13	1.45	193.92	193.92	5.24
	C1 22–25	9.50	0.66	209.81	209.81	5.40
	C2 25–34	16.25	0.37	69.39	69.39	4.92
4	Апах 0–9	16.63	2.25	83.61	83.61	5.95
	A1 9–27	3.88	2.86	55.02	55.02	5.21
	C1 27–48	3.88	0.25	147.12	147.12	4.76
	C2 48–51	14.25	0.41	70.55	70.55	4.90
5	Ad 0–7	15.13	3.18	53.58	112.95	5.69
	A1 7–26	18.50	2.31	53.92	5.22	5.52
	C1g 26–30	9.25	0.54	28.76	2.18	6.27
6	Ad 0–8	18.13	4.06	72.78	5.73	5.43
	ACg 8–30	18.75	3.06	51.30	4.48	5.24
	Cg 30–34	20.00	1.93	43.63	3.21	5.62
7	Ad 0–7	16.88	1.86	154.90	7.41	6.35
	A1 7–20	16.38	2.08	149.94	7.89	5.67
	ACg 20–40	15.25	2.13	165.51	4.50	6.14
	Cg 40–50	18.50	0.39	120.75	3.63	6.23
8	Ad 0–5	12.75	1.47	156.87	5.62	5.86
	A1 5–31	12.63	1.78	144.63	5.62	5.13
	C1 31–34	7.25	0.19	205.82	4.85	5.35
	C2 34–41	21.50	0.26	55.78	5.10	6.33

В 200 м от Никоновского поля в сторону Лещевого озера находится луг (участок 2) с плоским пониженным рельефом, окруженным холмами и грядами. Территория дренирована сетью канав. В почвенном покрове луга преобладают дерново-глеевые суглинистые почвы на озерных глинах. Всего было заложено 7 почвенных разрезов, в таблице представлено 2 из них. Для этой почвы (разрезы 3, 4) характерно низкое содержание органического углерода (3.4 %) и незначительная мощность гумусового горизонта (13 см). Возможно, что такая глубина органогенного горизонта связана с былым окультуриванием этих почв. Для данной почвы отмечена среднекислая реакция среды по всему профилю. Наблюдается максимальное содержание подвижного фосфора в горизонте С1 равное 210 мг/кг.

Германовское поле (участок 3) находится к югу от Центральной усадьбы монастыря. На лугу есть сеть мелиоративных канав, частично старых, частично обновленных.

Доминирующие в почвенном покрове дерново-глеевые почвы формируются на озерных глинах. На данном поле были заложены 3 почвенных разреза, из них в таблице представлены два (разрезы 5, 6). Типичными свойствами этих почв являются: содержание органического углерода ниже среднего, кислая реакция среды, низкое содержание подвижных соединений фосфора, гидролитическая кислотность невелика. Содержание обменных оснований имеет два максимума в середине и в конце почвенного профиля. Характерна высокая степень насыщенности в пределах всего профиля.

Для Владимирского (разрезы 7, 8) луга характерен более неоднородный рельеф, встречаются как обширные понижения, так и невысокие холмы. Луг пересечен сетью дренажных канав. Почвенный покров представлен дерново-глеевыми почвами на озерных глинах. Почвы Владимирского луга характеризуются самым низким содержанием органического углерода (1.86 %, 1.47 %) с поверхности, слабокислой реакцией среды, высоким содержанием фосфора по всему профилю.

ВЫВОДЫ

Для всех рассмотренных почв характерна небольшая мощность, тяжелый гранулометрический состав, неполно развитый профиль. При существующей мелиоративной системе, почвы на наиболее дренируемых участках подвержены процессам оглеения либо в материнской породе, либо по всему профилю. Для борьбы с застоем влаги на глубине необходимо проведение планировочных работ территории.

Сельскохозяйственные ресурсы острова ограничены для того, чтобы поддерживать плодородие на должном уровне и следить за агрохимическими показателями, а также снизить влияние почв на малые озера необходимо проведение регулярного агрохимического мониторинга почв. Для улучшения свойств почв сельскохозяйственных полей рекомендуется создание благоприятных водно-физических свойств почв посредством изменения их гранулометрического состава, внесение органических и минеральных удобрений, борьба с кислотностью посредством известкования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Матинян Н.Н.* Почвы острова Валаам / Н.Н. Матинян, И.С. Урусевская; С.-Петерб. гос. ун-т, С.-Петерб. о-во естествоиспытателей. – СПб: Изд-во СПбГУ, 1999. – 31 с.
2. *Урусевская И.С.* Антропогенно-преобразованные почвы островных средневековых монастырей таежно-лесной зоны России = Anthropogenically transformed soils of insular medieval monasteries in the taiga zone of Russia / И.С. Урусевская, Н.Н. Матинян; Моск. гос. ун-т им. М.В. Ломоносова, С.-Петерб. гос. ун-т. – Москва: ГЕОС, 2014. – 243 с.
3. *Фролова Т.Ю.* Антропогенное преобразование почв и почвенного покрова острова Валаам: Автореф. дис. на соиск. учен. степ. к.б.н.: Спец. 03.00.27 / МГУ им. М.В. Ломоносова. – М, 1996. – 24 с.
4. *Шешукова А.А.* Особенности распределения химических элементов в почвах острова Валаам: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. с.-х. наук: специальность 03.00.27 <Почвоведение> / Шешукова Анастасия Анатольевна; [С.-Петерб. гос. аграр. ун-т]. – Санкт-Петербург; Пушкин, 2006.

5. *Химический анализ почв: Учеб. пособие* / С.-Петербург. гос. ун-т; [Подгот. О.Г. Растворовой и др.]. – СПб: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 1995.
6. *Лебедева Г.Ф.* Пособие по растениеводству для почвоведов. – М: Изд-во МГУ, 1981.
7. *Авдонин Н.С.* Почвы, удобрения и качество растениеводческой продукции: [Науч. тр. ВАСХНИЛ]. – Москва: Колос, 1979. – 302 с.

Работа рекомендована старшим преподавателем Л.Е. Дмитричевой.

УДК 553.611.6 + 631.42

АМИНОКИСЛОТЫ В ИНЕРТНОМ ОРГАНИЧЕСКОМ ВЕЩЕСТВЕ ГЛИНИСТЫХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД ПЛИОЦЕНОВОГО КОМПЛЕКСА

А.С. Ерофеева, Р.В. Окунев, А.А. Шинкарев (мл), Е.С. Руселик, А.А. Шинкарев

Казанский федеральный университет

Казанский национальный технологический университет

Центральный научно-исследовательский институт геологии нерудных полезных
ископаемых, г. Казань

В профильных образцах бентонитоподобных глин акчагыльского яруса верхнего плиоцена исследован аминокислотный состав органического вещества, связанного во фракции с размером частиц < 2.5 мкм в форме устойчивой к обработке H_2O_2 . В гидролизатах инертного органического вещества обнаружены типичные белковые аминокислоты. В основе закономерностей, определяющих особенности аминокислотного состава органического вещества, связанного в устойчивой к окислению форме, лежит селективное связывание нейтральных и гидрофобных аминокислот.

ВВЕДЕНИЕ

Механизмы образования в почвах устойчивого к биологической атаке органического вещества (ОВ), пока недостаточно изучены. К перспективным химическим процедурам для препаративного отделения инертного ОВ от менее устойчивых фракций органических компонентов относят обработку почв окислителями, например, H_2O_2 , $Na_2S_2O_8$ и $NaOCl$ (Eusterhues et al., 2005; Siregar et al., 2005). В ряде работ принималось (Schulten et al., 1996), что такая обработка удаляет органические компоненты с поверхностей глинистых минералов, не затрагивая межслоевого пространства. В последние годы получены экспериментальные свидетельства присутствия устойчивого к окислительной деструкции ОВ в межслоевых промежутках глинистых минералов непосредственно в почвенных условиях (Шинкарев и др., 2009; Skiba et al., 2011). Этот феномен может иметь отношение к характеристике структурных особенностей вторичных бентонитов в Центральной России. Однако научный поиск в этом направлении ни в почвоведении, ни в осадочной геологии практически не проводился.

Главным источником монтмориллонитовых глин – бентонитов являются пласты преобразованного вулканического пепла, но в пределах Центральной России значимых месторождений подобного типа нет. В качестве альтернативных используются вторичные бентониты, отложенные в солоноватоводных или пресноводных бассейнах (Минерагения ..., 2007) за счет продуктов деградации вторичных слюд при активном участии биокосных явлений. Структурные особенности глинистых минералов конкретной залежи могут быть результатом биокосных взаимодействий не только в процессе накопления осадков, но и на стадии выветривания на палеоводосборах (Фролов, 1993), где зонами наиболее интенсивного взаимодействия ОВ с глинистыми минералами являются неконсолидиро-

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ № 14-04-01599-а.

© А.С. Ерофеева, Р.В. Окунев, А.А. Шинкарев (мл), Е.С. Руселик, А.А. Шинкарев, 2017

ванные осадки и почвы. Начиная с девона образование, разрушение, снос и переотложение материала почв или их погребение являются постоянным звеном осадочного процесса, и большая часть твердого речного стока представлена материалом почвенных профилей на той или иной стадии их развития (Nichols, 2009). Почвообразовательный процесс развивался также и на значительных территориях прибрежно-морских равнин. Развитие ландшафтов с активно протекающим почвообразованием с большой долей вероятности предполагается для низинных прибрежных равнин, возникших во время регрессии. При трансгрессиях обогащенный ОВ почвенный материал мог поступать в моря и накапливаться (Гаврилов, 2004). Следовательно, структурные особенности глин конкретной залежи могут иметь почвенную предысторию, а органо-минеральные взаимодействия в почвах – рассматриваться как звено осадочного процесса при формировании месторождений и проявлений вторичных бентонитов в Центральной России.

Цель исследования – анализ аминокислотного состава продуктов кислотного гидролиза устойчивого к окислительной деструкции ОВ илистой фракции глинистых пород плиоценового комплекса с высоким содержанием смектитовой компоненты и наличием сингенетического ОВ.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В экспериментах использованы бентонитоподобные глины акчагыльского яруса верхнего плиоцена (табл. 1). Они приурочены к отложениям опресненной лагунно-морской и пресноводной озерно-болотной фаций в пределах Мелекесской впадины, Казанской седловины и южного купола Татарского свода.

Таблица 1. Содержание органического углерода во фракции < 10 мкм образцов плиоценовых глин, выделенной после удаления карбонатов.

Номер образца	Название и местоположение объекта	C, %
18	Бехтеревское месторождение (Елабужский район РТ)	0.96
19	Муслюмкинское проявление (Чистопольский район РТ)	1.24
21		1.27
22		1.34
23	Березовское месторождение (Нурлатский район РТ)	1.80
24	Тарн-Варское месторождение (Нурлатский район РТ)	1.30
25	Верхне-Нурлатское месторождение (Нурлатский район РТ)	1.16
26		1.24
27		1.07
28	Апастовское месторождение (Апастовский район РТ)	1.55
30	Верхне-Табынское месторождение (Муслюмовский район РТ)	0.49
31		0.61

Обработку H_2O_2 использовали как проверенный временем способ селективного удаления ОВ перед гранулометрическим и минеральным анализом глинистых пород и почв (Pansu, Gautheyrou, 2006). Появление новообразованной фазы оксалата кальция в пробах, содержащих карбонаты и обменный кальций, при обработке H_2O_2 хорошо известно, поэтому окислительной деструкции ОВ в образцах предшествовала обработка 0.1 моль/л раствором CH_3COOH , с последующей отмывкой деионизованной водой. В экспериментах с окислительной деструкцией последовательность операций включала обработку образцов 0.1 моль/л раствором CH_3COOH , отмывку их деионизованной водой, многократную обработку в течение 30–40 дней 30 % H_2O_2 при комнатной температуре, отделение фракции частиц со стоксовым эквивалентным диаметром < 2.5 мкм (после расчетной седиментации в столбе жидкости), ее высушивание и гомогенизацию.

Кислотный гидролиз илистой фракции проводили 6 М. HCl при 110° С в течение 24 ч. Определение аминокислотного состава проводили на ВЭЖХ Flexar (PerkinElmer,

США) с обратно-фазной колонкой BrownleeAnalyticalC18 и УФ-детектором настроенным на длину волны 254 нм. Обработку результатов проводили с помощью программы «Chromera».

Определение углерода органических соединений проводили на CHN анализаторе PE 2400 Series II производства PerkinElmer.

Обработку данных проводили с использованием MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Для исследованных образцов бентонитоподобных плиоценовых глин остаточное содержание органического углерода во фракции < 2.5 мкм после обработки 30 % H_2O_2 составило от 0.18 % до 0.34 %.

В гидролизатах инертного ОВ обнаружены типичные белковые аминокислоты. Группировка аминокислот в кислые, основные и нейтральные показала, что в составе инертного ОВ плиоценовых глин практически отсутствуют кислые аминокислоты. Основная часть аминокислот представлена нейтральными. В составе нейтральных аминокислот преобладали аминокислоты не несущие парциальных зарядов и не сольватирующиеся водой (гидрофобные). В аспекте оценки генетической связи между почвами и глинистыми осадочными породами целесообразно провести сравнительный анализ группового состава аминокислот инертного ОВ в илистой фракции плиоценовых глин и лесостепных почв.

По критерию Шапиро-Уилка для уровня значимости $\alpha = 0.05$ экспериментально измеренные значения содержания групп аминокислот в илистой фракции плиоценовых глин и лесостепных почв характеризовались нормальным распределением, поэтому для оценки различий между ними использовали параметрические показатели. Сравним данные по групповому составу аминокислот в илистой фракции плиоценовых глин и в илистой фракции, выделенной из профильных образцов лесостепных почв без обработки H_2O_2 (рис. 1).

Результаты t-теста оценки различий величин средних двух несвязных и неравных по численности выборок, которые распределены по нормальному закону, показали, что для содержания всех групп аминокислот различия между плиоценовыми глинами и лесостепными почвами оказались значимыми. Для основных аминокислот значение t-критерия Стьюдента составляло 2.71, для кислых – 15.69, для гидрофильных – 4.98, для гидрофобных – 3.72, для нейтральных – 10.55, при критическом значении $t_{st} = 2.07$. По сравнению с илистой фракцией, выделенной из профильных образцов лесостепных почв без обработки H_2O_2 , в групповом составе аминокислот инертного ОВ илистой фракции плиоценовых глин содержится меньше основных (в 1.27 раза), кислых (в 5.17 раза) и гидрофильных аминокислот (в 1.24 раза). В то же время в групповом составе аминокислот инертного ОВ илистой фракции плиоценовых глин больше гидрофобных и нейтральных аминокислот (в 1.10 и 1.22 раз, соответственно).

Сравним далее данные по групповому составу аминокислот инертного ОВ в илистой фракции плиоценовых глин и лесостепных почв (рисунок). Результаты t-теста оценки различий показали, что для содержания кислых и гидрофильных аминокислот различия между плиоценовыми глинами и лесостепными почвами не значимы. Для кислых аминокислот значение t-критерия Стьюдента составляло 1.24, для гидрофильных – 0.90, при критическом значении $t_{st} = 2.07$. В то же время для основных аминокислот значение t-критерия составляло 3.85, для гидрофобных – 2.88, для нейтральных – 3.15, при критическом значении $t_{st} = 2.07$. Следует, конечно, заметить, что различия между содержаниями гидрофобных и нейтральных аминокислот, были хотя и значимы, но малы. В составе инертного ОВ илистой фракции плиоценовых глин содержалось только в 1.08 раза меньше гидрофобных и только в 1.07 раза больше нейтральных аминокислот, чем в составе инертного ОВ илистой фракции лесостепных почв. Однако относительное содержание основных аминокислот в инертном ОВ илистой фракции плиоценовых глин было ниже в 1.50 раза.

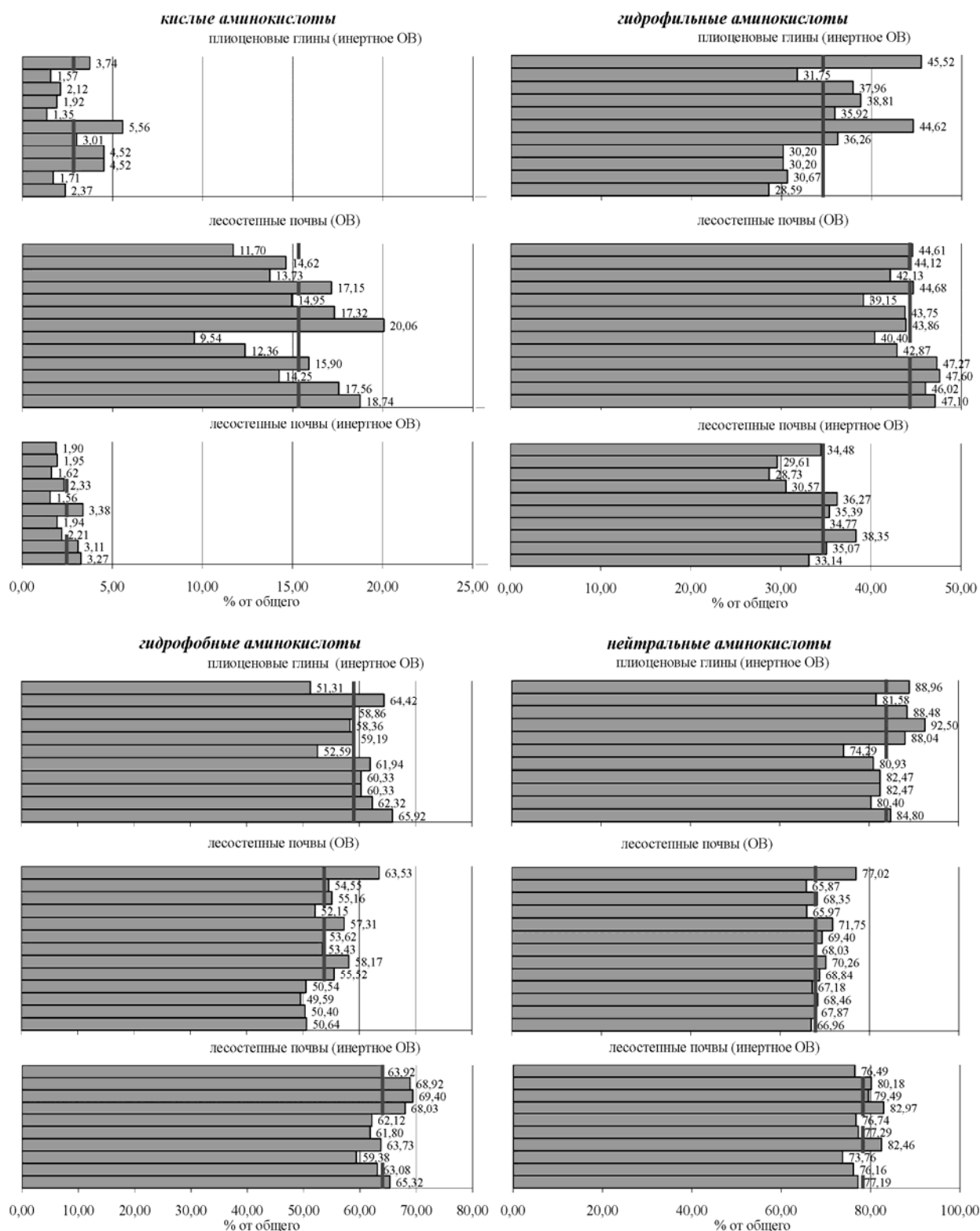


Рисунок 1. Содержание групп аминокислот в кислотных гидролизатах илистой фракции плиоценовых глин и лесостепных почв. Жирные линии – средние значения.
(Данные для лесостепных почв любезно предоставлены Е.В. Тарасовой).

Изменчивость относительного содержания аминокислот (табл. 2) может расцениваться как сильная и очень сильная. Вместе с тем, для групп аминокислот вариабельность существенно уменьшалась и для гидрофобных и нейтральных аминокислот, становясь слабой. Косвенно это может свидетельствовать о том, что на закономерности формирования аминокислотного состава ОБ, устойчивого к окислительной деструкции, влияют не

столько индивидуальные свойства отдельных аминокислот, сколько физико-химические свойства присущие тем или иным группам аминокислот.

Таблица 2. Аминокислотный состав инертного ОВ плиоценовых глин, в мольных %.

Аминокислоты	<i>M</i>	σ	<i>V</i> , %
<i>Lys</i>	4.18	2.68	64.13
<i>His</i>	3.99	1.12	28.20
<i>Arg</i>	4.81	1.64	34.03
Основные:	12.97	4.53	34.93
<i>Asp</i>	1.02	0.84	82.18
<i>Glu</i>	1.93	1.06	55.02
Кислые:	2.95	1.43	48.52
<i>Tre</i>	4.72	1.08	22.89
<i>Ser</i>	14.86	7.76	52.19
Гидрофильные:	35.50	5.85	16.49
<i>Ala+Pro</i>	16.75	3.44	20.51
<i>Leu</i>	10.57	4.96	46.95
<i>Phe</i>	3.10	1.12	36.07
<i>Gly</i>	16.92	3.23	19.07
<i>Ile</i>	4.46	0.82	18.36
<i>Val</i>	7.80	3.37	43.18
Гидрофобные:	59.60	4.44	7.45
<i>Tyr</i>	4.90	2.69	54.81
Нейтральные:	84.09	5.11	6.08

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В гидролизатах инертного ОВ илистой фракции бентонитоподобных глин плиоценового комплекса обнаружены типичные белковые аминокислоты, в составе которых преобладали группы нейтральных и гидрофобных аминокислот. За исключением относительно содержания основных аминокислот в групповом составе аминокислот инертного ОВ илистой фракции плиоценовых глин и лесостепных почв больше сходств, чем различий.

Обнаруженные закономерности следует объяснять чисто физико-химическими факторами, которые вероятнее всего будут определять особенности сорбции низкомолекулярных органических компонентов на поверхностях глинистых минералов с лабильной кристаллической решеткой. Такими факторами могут быть сродство молекул аминокислот к фазе водного раствора и их сродство к функциональным группам минеральных поверхностей. По понятным причинам, селективное связывание тонкодисперсными фазами плиоценовых глин и лесостепных почв нейтральных и гидрофобных аминокислот может быть обусловлено их пониженным сродством к молекулам полярного растворителя.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гаврилов Ю.О. Закономерности накопления и распределения органического вещества в осадках и осадочных породах // Осадочные бассейны: методика изучения, строение и эволюция. М.: Научный мир, 2004. С. 94–103.
2. Минерагения верхнепермского и мезокайнозойского комплексов Республики Татарстан. Под ред. И.А. Ларочкиной, Е.М. Аксенова. Казань: Изд-во Казанск. ун-та, 2007. 456 с.
3. Шинкарев А.А., Гиниятуллин К.Г., Лыгина Т.З., Шинкарев А.А. (мл), Кринари Г.А., Губайдуллина А.М., Латыпов М.К. Специфическая стабилизация органического вещества в органо-сметитовых комплексах и некоторые аспекты ее прикладного применения // Окружающая среда и устойчивое развитие регионов: новые методы и технологии исследований. Том IV: Экологическая безопасность, инновации и устойчивое развитие. Образование для устойчивого развития. Казань: Изд-во «Отечество», 2009. С. 274–278.

4. Фролов В.Т. Литология. Кн. 2. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993. 432 с.
5. Eusterhues K., Rumpel C., Kögel-Knabner I. Stabilization of soil organic matter isolated via oxidative degradation // Org. Geochem. 2005. V. 36. P. 1567–1575.
6. Nichols G. Sedimentology and stratigraphy. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2009. 419 p.
7. Pansu M., Gautheyrou J. Handbook of soil analysis. Mineralogical, organic and inorganic methods. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 2006. 993 p.
8. Schulten H.R., Leinweber P., Theng B.K.G. Characterization of organic matter in an inter-layer clay-organic-complex from soil by pyrolysis methylation-mass spectrometry // Geoderma. 1996. V. 69. P. 105–118.
9. Siregar A., Kleber M., Mikutta R., Jahn R. Sodium hypochlorite oxidation reduces soil organic matter concentrations without affecting inorganic soil constituents // Europ. J. Soil Sci. 2005. V. 56. P. 481–490.
10. Skiba M., Szczerba M., Skiba S., Bish D.L., Grybos M. The nature of interlayering in clays from a podzol (Spodosol) from the Tatra Mountains, Poland // Geoderma. 2011. V. 160. P. 425–433.

УДК 631.46

ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ ИНВАЗИВНЫХ ВИДОВ (НА ПРИМЕРЕ БОРЩЕВИКА СОСНОВСКОГО)

О.А. Ершова

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, ф-т почвоведения,
каф. биологии почв, ershovaoa@mail.ru

Проведено исследование показателей биологической активности дерново-подзолистой почвы при разных сроках инвазии борщевика Сосновского. Установлено снижение активности процессов трансформации азота и углерода в почве при долгосрочной инвазии. Обнаружены изменения численности, таксономической структуры и функционального разнообразия микробных систем сообществ под борщевиком при инвазии до 25 лет

ВВЕДЕНИЕ

На данный момент борщевик Сосновского является одним из наиболее опасных инвазивных видов. В Европейскую часть России борщевик был завезен в качестве силосной культуры, где получил широкое распространение. Из-за наличия в соке борщевика опасных для здоровья фотодинамически активных фуурокомаринов от его возделывания на силос вскоре отказались, однако, растение уже успело проникнуть в дикую природу. Борщевик стал заселять берега водоемов, пустыри, полосы отвода дорог, а так же ныне не возделываемые бывшие пашни и необрабатываемые участки полей, где быстро становился доминантом. Такое широкое распространение борщевика негативно сказывалось на экологическом равновесии и стало серьезной проблемой как в европейский странах, так и в России. Известно влияние инвазивных видов на экосистемы и растительные сообщества, в частности известны случаи изменения химических свойств почв после заселения территории борщевиком [4]. Однако его влияние на биологическую активность почв в известной нам литературе не было задокументировано. Именно поэтому целью работы было определение активности процессов трансформации азота и углерода в ризосфере борщевика.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования служили образцы среднесуглинистой среднеоккультуренной дерново-подзолистой почвы, отобранные в Солнечногорском районе Московской области на бывшем опытном поле УОПЭЦ «Чашниково». Основным критерием выбора участков были сроки инвазии борщевика. Нами были выделены 4 участка: участок с самой долгосрочной инвазией (начало роста борщевика обозначено началом 80-х годов), 2 участка со среднесрочной инвазией, где рост борщевика наблюдался с 1990 и 2000 годов, а так же участок, с самой короткой продолжительностью инвазии, где борщевик появился менее 5 лет назад.

Образцы из ризосферы борщевика и на контрольных участках отбирали в течение вегетационного периода: в мае, июне и августе. Контрольные образцы были взяты на участках, находящихся в нескольких метрах от экспериментальных.

Образцы дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы были просеяны через сито с диаметром отверстий 1 мм и хранились в холодильнике. Непосредственно перед анализом почву увлажняли до 60 % от ПВ и инкубировали в эксикаторе при влажности воздуха 100 % в течение 5–7-суток.

В почвенных образцах были изучены показатели, характеризующие состояние микроорганизмов и интенсивность процессов микробной трансформации азота и углерода. Определение биологической активности выполняли стандартными методами, предложенными кафедрой биологии почв факультета почвоведения МГУ [2]. Активность азотфиксации, денитрификации и метаногенеза определяли методами газовой хроматографии [3]. Для анализа спектров потребления органических субстратов использовался метод мультисубстратного тестирования (МСТ) [1]. Так же был произведен посев на твердые питательные среды для определения численности микроорганизмов в исследуемых образцах.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В ходе эксперимента были получены результаты по актуальной (рис.1) и потенциальной (рис. 2) азотфиксации, актуальной (рис. 3) и потенциальной (рис. 4) денитрификации, эмиссии метана (рис. 5).

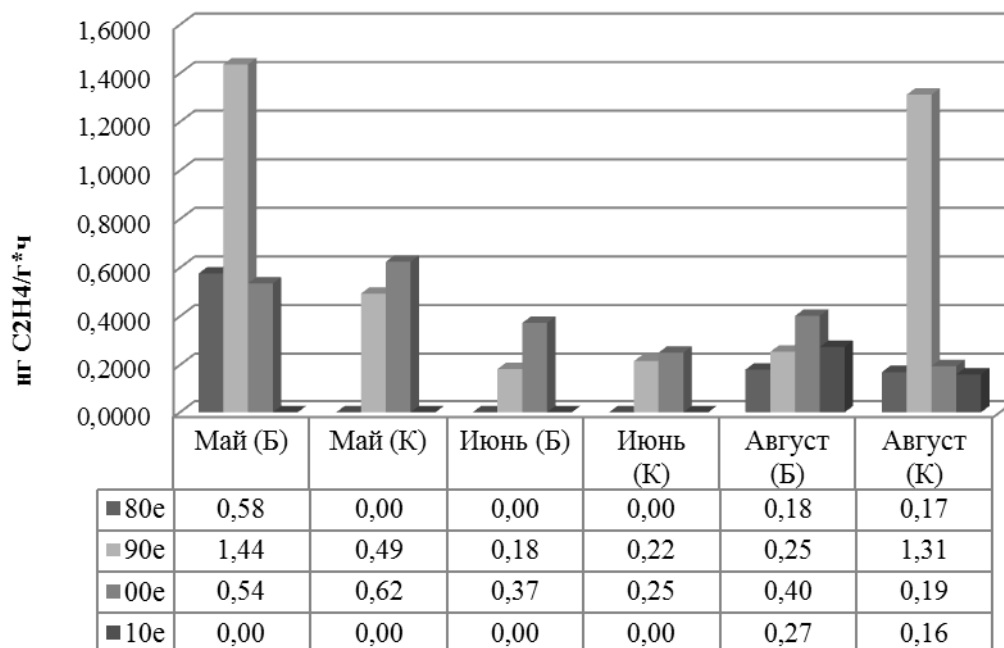


Рисунок 1. Актуальная азотфиксация ($\text{ng C}_2\text{H}_4/\text{г} \cdot \text{ч}$) в почве из ризосферы борщевика и контрольных образцах.

В ходе исследования максимальные показатели актуальной азотфиксации были получены в образцах почвы с 20-летним сроком инвазии борщевика в начале вегетационного периода. Отмечена тенденция увеличения актуальной азотфиксации в образцах из ризосферы борщевика относительно контроля при среднесрочной и краткосрочной инвазии.

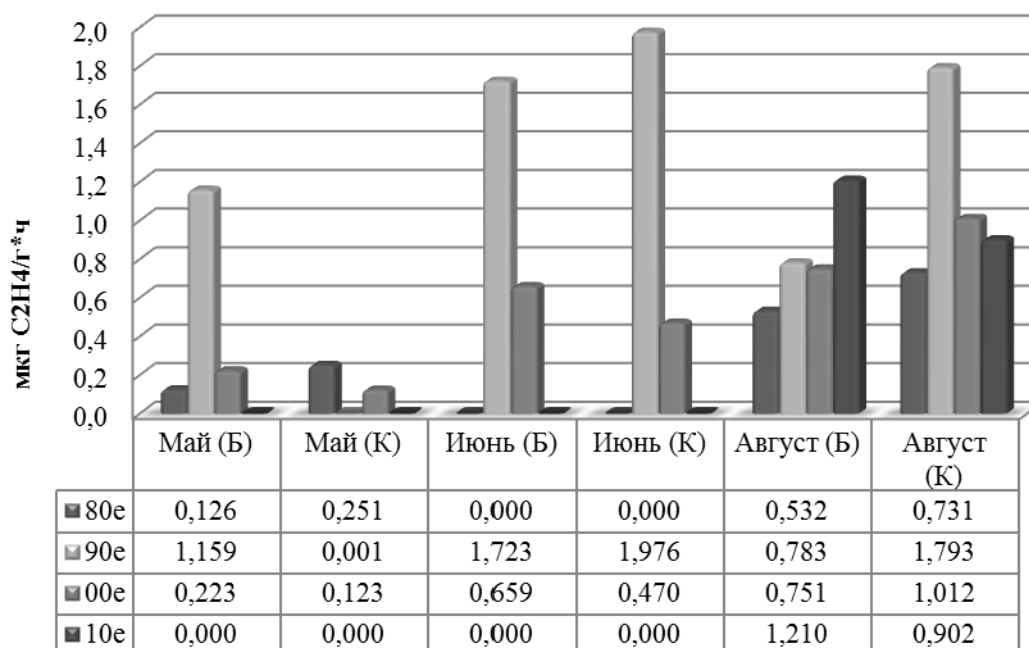


Рисунок 2. Потенциальная азотфиксация (мкгC₂H₄/г·час) в почве из ризосферы борщевика и контрольных образцах.

Для потенциальной азотфиксации большинство закономерностей, выявленных для актуальной азотфиксации, сохраняется. Максимальные показатели потенциальной азотфиксации были установлены в начале вегетационного периода для образцов почв со среднесрочной инвазией борщевика.

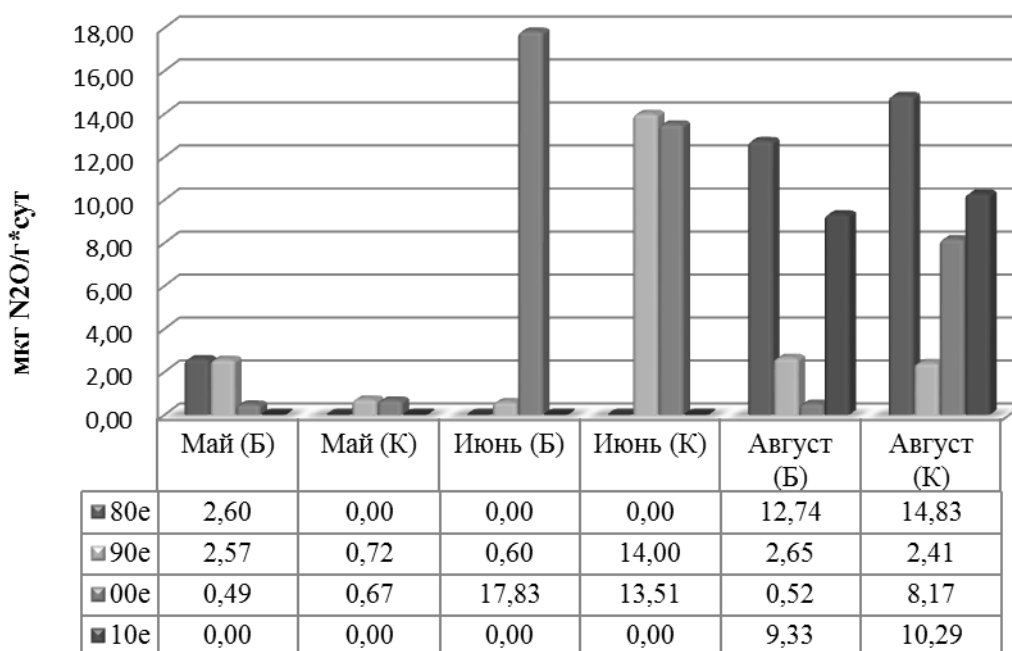


Рисунок 3. Актуальная денитрификация (мкг N₂O/г·сут) в почве из ризосферы борщевика и контрольных образцах.

Как видно на диаграмме (рис. 3) наибольшие показатели актуальной денитрификации отмечены для участков с меньшим сроком инвазии. Повышенная азотфиксация и сниженная денитрификация в начале вегетации могут способствовать накоплению азота на участках с более долгой инвазией.

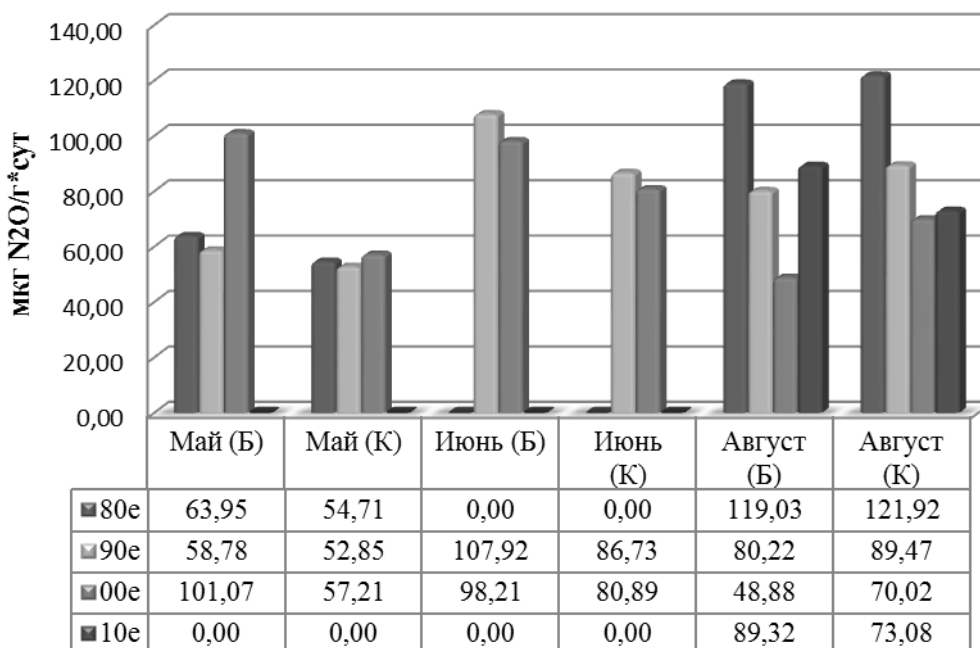


Рисунок 4. Потенциальная денитрификация (мкг N₂O/г·сут) в почве из ризосферы борщевика и контрольных образцах.

Абсолютные значения потенциальной денитрификации были на порядок выше, чем актуальной. В целом, за исключением конца вегетационного периода, значения денитрификации в ризосферной почве были выше, чем в контрольных образцах, для всех сроков инвазии.

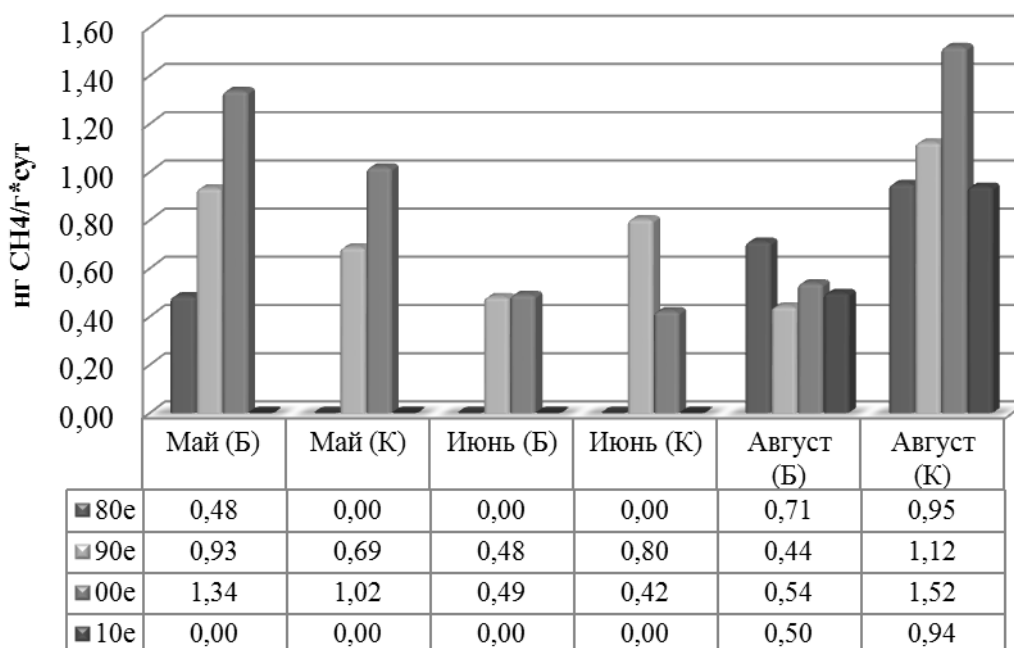


Рисунок 5. Эмиссия метана (нг CH₄/г·сут) в почве из ризосферы борщевика и контрольных образцах.

В конце вегетационного периода эмиссия метана из ризосферы борщевика значительно меньше, чем значения в контрольных образцах, что определяется разрыхлением почвы корнями растения (рис. 5).

Таким образом, на участках, где инвазия отмечена с 80-х гг., было установлено достоверное снижение активности всех исследованных нами процессов в ризосфере борщевика, по сравнению с контролем, в течение всего вегетационного периода. Максимальное положительное влияние на биологическую активность почв отмечено при среднесрочной инвазии. При инвазии до 25 лет увеличение биологической активности почв было установлено только в начале вегетационного периода, а для инвазии до 15 лет характерно ее увеличение с начала вегетации до периода цветения растения. При этом биологическая активность в ризосфере была в 2–3 раза выше, чем в контроле. Для азотфиксации различие было максимальным, нитрогеназная активность в ризосфере была выше в 1000 раз. К концу вегетационного периода для участков со среднесрочной инвазией отмечено снижение всех изученных показателей. При краткосрочной инвазии отмечается только незначительное (до 20–30 %) увеличение показателей биологической активности, сохраняющееся до конца вегетационного периода. Исключения составляла эмиссия метана. К концу вегетационного периода, независимо от срока инвазии, было отмечено снижение метаногенеза в ризосферной почве, связанное, по-видимому, со снижением влажности и значительным разрыхлением почвы мощной корневой системой борщевика.

Численность микроорганизмов, определяемая методом посева на глюкозо-пептонно-дрожжевой среде в ризосфере борщевика, при среднесрочной инвазии, составляла $1.2 \cdot 10^8$ КОЕ/г, а в контрольной почве она была достоверно ниже ($4.2 \cdot 10^6$ КОЕ/г). При этом наблюдалось снижение разнообразия почвенных микроорганизмов в ризосфере по сравнению с контрольной почвой.

Установлено существенное увеличение параметров функционального биоразнообразия микробных сообществ, формирующихся в почве на участках при среднесрочной инвазии борщевика. Отмечено увеличение числа потребляемых субстратов с 16–18 в контрольной почве до 41–44 в ризосфере. При этом также было отмечено увеличение метаболической работы микробного сообщества в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, было показано, что длительность инвазии борщевика в значительной степени влияет на биологическую активность почв. Краткосрочная инвазия оказывает положительное действие на исследованные почвенные свойства. Увеличение сроков инвазии приводит к снижению биологической активности к концу вегетационного периода, когда влияние растения было максимальным. Обнаружено изменение численности, таксономической структуры и функционального разнообразия микробных сообществ под борщевиком при инвазии до 25 лет, что негативно отражается на их устойчивости. После 35 лет произрастания борщевика на данной территории отмечено подавление биологической активности дерново-подзолистой почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горленко М.В., Кожевин П.А. Мультисубстратное тестирование природных микробных сообществ. Москва, Макс Пресс, 2005 г. 115 с.
2. Методы почвенной микробиологии и биохимии. Под. ред. Звягинцева Д.Г. Изд. МГУ. 1991. С.23–39.
3. Степанов А.Л., Лысак Л.В. Методы газовой хроматографии в почвенной микробиологии. М.: МАКС Пресс, 2002. 88 с.
4. Jandová K., Klinerová T., Müllerová J., Pyšek P., Pergl J., Cajthaml T., Dostál P. Long-term impact of *Heracleum mantegazzianum* invasion on soil chemical and biological characteristics. //Soil Biology and Biochemistry 68, 2014. pp. 270–278.

Работа рекомендована к.б.н. Н.В. Костиной.

ВЛИЯНИЕ НОВЫХ ВИДОВ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА АЛЛЕЛОПАТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ НЕКОТОРЫХ ЦВЕТОЧНЫХ КУЛЬТУР

А.И. Жумбей, Л.Ю. Гончарова, Е.И. Симонович, А.В. Горовцов

Академия биологии и биотехнологии Южного федерального университета,
Ростов-на-Дону, Lamar96@yandex.ru

Проведена оценка воздействия внесения органического удобрения «Белогор» НТЦ «БИО» (г. Шебекино) и жидкого минерального удобрения «Покон» голландского производства (г. Венендал, Нидерланды) на агрохимические показатели чернозема обыкновенного карбонатного при выращивании *Tagetes patula* (бархатцы мелкоцветные) сорта «Лимонная капля» и *Erysimum cheiri* (желтушник), на фитометрические данные выращиваемых растений, численность микроорганизмов различных группировок и мезофауны в почве на опытных участках, фитотоксичность чернозема под исследуемыми растениями.

Ключевые слова: удобрения, лекарственные растения, чернозем, Покон, Белогор.

ВВЕДЕНИЕ

Выращивание цветочных культур актуально в наши дни, поскольку их использование не ограничивается ландшафтным дизайном и озеленением. Так, для нужд фармацевтики уже достаточно давно выращиваются *Tagetes patula* и *Erysimum cheiri*. Эти растения были использованы и в наших исследованиях. Выяснение особенностей влияния современных комплексных удобрений, массово производимых крупными компаниями, на продукционный процесс растений особенно интересно и с позиции применения их в практике, и с позиции их доступности потребителям.

Условия Нижнего Дона – достаточно своеобразные для выращивания подобных культур, учитывая места их происхождения, тем не менее, как показывает многолетняя практика возделывания различных цветочных культур в Ботаническом саду ЮФУ, выращиваемые растения характеризуются как отличными фитометрическими показателями (зеленой массе и количеству цветков), так и высокой их семенной продуктивностью. Использование удобрений позволяет сглаживать некоторые недостатки растениеводства, которые все же имеются, и улучшать продукционный процесс растений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования были выбраны бархатцы мелкоцветные – *Tagetes patula* L. и желтушник – *Erysimum ×cheiri* (L.) Crantz (1769).

Эти цветочные культуры выращивались на черноземе обыкновенном карбонатном среднесуглинистом малогумусном на лёссовидных суглинках (миграционно-сегрегационном). Название почвы дано в соответствии с классификацией почв СССР 1977 года.

В состав микробиологического удобрения «Белогор» (производитель – НТЦ «Био», г. Шебекино) входил комплекс молочнокислых и пропионово-кислых бактерий, культуры микроорганизмов родов *Bacillus* и *Pseudomonas* и дрожжи, а также бактериальные продукты метаболизма и биофильные макро- и микроэлементы. Содержание общего азота в этом препарате соответствовало 1.4 %, общего фосфора – 0.9 %, общего калия – 1.5 %, Zn – $55 \cdot 10^{-4}$ %, Mn – $31 \cdot 10^{-4}$ %, Mg – $9.6 \cdot 10^{-4}$ %, Fe – $5.7 \cdot 10^{-4}$ %, Cu – $7.1 \cdot 10^{-4}$ %, Se – 10^{-4} %, B – $6.0 \cdot 10^{-4}$ %, Mo – $2.7 \cdot 10^{-4}$ %. В препарате «Покон»: содержание азота было 7 % (2.9 % – в виде нитратов; 1.8 % – в виде аммиака; 2.3 % – в форме мочевины), водорастворимых соединений фосфора (P_2O_5) – 3 % и калия (K_2O) – 7 %, B – 0.02 %, Cu – 0.004 %, Fe – 0.04 %, Mn – 0.02 %, Mo – 0.002 %, Zn – 0.004 %.

Измерение агрохимических показателей, таких как: содержание азота в нитратной и аммиачной форме, подвижных форм фосфора и калия проводились классическими методами, а именно: аммиачный азот – с реактивом Несслера; нитратный азот – методом Грандваль-Ляжу; подвижный фосфор и калий – методом Мачигина; содержание гумуса – методом Тюрина (в модификации Симакова); величина водородного показателя (рН) почвенного раствора – потенциометрически.

Посев микроорганизмов на питательные среды производился два раза – в сентябре 2013 и 2014 годов, соответственно. Следует отметить, что отобранные с экспериментальных участков почвенные образцы были сухими из-за длительного отсутствия дождей в августе–сентябре оба года подряд. Учет микроорганизмов осуществлялся с помощью метода предельных разведений и высева на плотные питательные селективные среды с последующим учетом колоний, пересчетом численности в КОЕ и статистической обработкой.

Численность почвенных микроартропод проводилась в соответствии с прописью Ж. Балоба [1].

Фитотоксичность почвы изучалась методом биотестирования с использованием семян редиса (*Raphanus sativus* L.) европейского сортотипа – розовый с белым кончиком.

Схема опыта была следующей: 1) контроль, 2) вариант с внесением удобрения «Белогор» и 3) вариант с внесением удобрения «Покон». При этом каждый вариант имел три повторности.

Внесение удобрений осуществлялось в соответствии с рекомендациями производителей при посадке материала в открытый грунт и через месяц после посадки по норме, также рекомендованной производителями – 400 л/га.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных работ был установлен ряд закономерностей неоднозначного влияния внесенных удобрений на агрохимические показатели. В первую очередь следует отметить положительную динамику содержания аммиачного азота в июле, причем эта динамика отмечалась на протяжении всех трех лет исследований (табл. 1).

Таблица 1. Агрохимические показатели чернозема обыкновенного карбонатного среднесиловатого тяжелосуглинистого малогумусного на лёссовидном суглинке (n=3).

Вариант опыта	Гумус, %	мг/100 г почвы				pH
		N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	P ₂ O ₅	K ₂ O	
Июль						
Контроль	3.0	4.0	1.0	4.0	53.0	7.79
«Белогор»	3.0	6.6	0.8	3.6	54.2	7.82
«Покон»	3.4	6.1	1.5	3.8	54.2	7.66
Сентябрь						
Контроль	3.4	4.0	3.3	3.6	50.6	7.68
«Белогор»	3.4	4.2	0.7	3.6	49.4	7.67
«Покон»	3.6	4.0	0.7	2.6	43.0	7.59

Вторым же достаточно интересным результатом стало достоверное относительно контроля увеличение количества генеративных органов у растений *Tagetes patula* при внесении удобрения «Белогор» и аналогичное действие при внесении удобрения «Покон», как в июле, так и сентябре, причем к осени действие «Покона» было выше, чем «Белогора». Также немаловажно подобное действие обоих удобрений, проявившееся в значительном увеличении количества стеблей растений, а, значит, и зеленой массы в целом. При этом наибольший эффект оказал «Покон». По нашему мнению, при внесении удобрений, содержащих биологическую компоненту, происходит активизация жизнедеятельности почвенной микрофлоры, поскольку влажность почвы на момент внесения удобрений была достаточной для активного функционирования микроорганизмов. В ре-

зультате этого, образовывались в достаточно большом количестве доступные для растений формы азота, которые в первую очередь использовались на строительство зеленой фитомассы, а микроэлементы, содержащиеся в удобрении, тут же вовлекались растениями в биохимические процессы, ускоряя формирование цветков (табл. 2).

Таблица 2. Фитометрические показатели растений *Tagetes patula* после внесения удобрений (n=10).

Вариант опыта	Высота побегов, см	Диаметр соцветий, см	Количество генеративных органов			Количество стеблей
			Цветки	Бутоны	Всего	
Июль						
Контроль	15.7	2.15	4.6	3.8	8.4	2.8
«Белогор»	19.0	2.45	4.8	9.5	14.3	3.2
«Покон»	18.4	2.75	6.1	6.2	12.3	2.9
Сентябрь						
Контроль	16.55	2.16	5.0	3.0	8.0	4.7
«Белогор»	19.8	2.57	8.7	6.6	15.3	9.3
«Покон»	19.2	2.21	8.7	11.3	20.0	12.9

В случае выращивания желтушника (*Erysimum cheiri*) оба удобрения способствовали увеличению и высоты растений, и диаметра их куста (табл. 3).

Таблица 3. Средние фитометрические показатели в опыте с *Erysimum cheiri* (2014 г.).

Вариант опыта	Высота растений, см	Диаметр куста, см
Довнесения удобрений (4.06.2014)		
по всем вариантам	8.9	–
Через 1 месяц после внесения удобрений (17.07.2014)		
Контроль	14.9	17.4
«Белогор»	17.1	20.2
«Покон»	16.2	18.7
Через 2 месяца после внесения удобрений (16.09.2014)		
Контроль	15.6	20.0
«Белогор»	17.6	23.8
«Покон»	17.5	23.0

Фитотоксичность почвы – важный параметр, который следует учитывать при выращивании цветочных культур, поскольку он влияет на плотность посадки, на то, как близко могут произрастать другие виды без подавления роста. При внесении микробиологического удобрения достоверного снижения значения фитотоксичности почвы установлено не было, однако, в случае с минеральным комплексным удобрением «Покон» имело место явное снижение данного показателя, что также является положительным результатом (табл. 4).

Таблица 4. Фитотоксичность чернозема обыкновенного карбонатного среднесуглинистого на лёссовидных суглинках.

Вариант опыта	Июль	Сентябрь
Контроль	52	49
«Белогор»	47	47
«Покон»	35	34

При подсчете численности различных групп микроартропод были установлены некоторые закономерности, а именно достоверное увеличение численности беспозвоночных, питающихся грубыми растительными остатками, что говорит об активизации процессов преобразования органического материала в почве (табл. 5). Помимо этой группы микроартропод также возросло число хищных клещей, что объясняется увеличением их непосредственной кормовой базы. Среди исследованных групп микроартропод встречалось немало видов, которые в ходе своей жизнедеятельности могли бы нанести вред рас-

тениям, в частности представители паутиных и галловых клещей, однако растений, пораженных какими-либо болезнями или паразитами, за все время проведения исследований обнаружено не было.

Таблица 5. Изменение численности микроартропод (тыс. экз./м²) при внесении удобрений под изучаемыми растениями (n =3) (аналитик Е.И. Симонович).

Группы микроартропод	Вариант опыта		
	Контроль	«Покон»	«Белогор»
Панцирные клещи	17.4±0.5	20.4±0.3	30.8±0.2
Гамазовые клещи	12.1±0.3	14.6±0.4	22.4±0.4
Акароидно-тромбидиформный комплекс клещей	1.3±0.6	0.9±0.2	1.1±0.3
Ногохвостки	9.2±0.5	7.9±0.3	10.8±0.2
Прочие беспозвоночные	3.4±0.8	2.8±0.2	3.4±0.2
Всего микроартропод	43.4±0.7	46.6±1.4	68.5±0.9

Таблица 6. Численность микроорганизмов в черноземе обыкновенном карбонатном под растениями *Tagetes patula* при внесении удобрений. Сводные данные за 2 года (n =6) (аналитики: А.В. Горовцов, А.И. Жумбей).

Показатель	Численность, млн КОЕ/г воздушно-сухой почвы		
	Контроль	«Покон»	«Белогор»
МПА(поверхностно)	9.47±2.30	7.63±2.05	9.64±1.34
МПА(глубинно)	13.79±1.81	10.36±1.45*	14.67±1.92
Почвенный агар	6.89±1.48	19.38±3.98*	10.66±4.00
Среда Эшби	7.94±1.83	23.12±1.77*	4.43±0.39*
КАА	10.11±2.70	14.45±2.26	22.63±2.98*
Актиномицеты (КАА)	2.88±0.38	2.90±0.68*	3.39±0.53*
Актиномицеты (ПА)	0.99±0.25	3.35±1.17*	0.30±0.27*
	Численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов, тыс. КОЕ/г воздушно-сухой почвы		
Бактерии	6.45±1.36	32.47±4.40*	12.79±4.73*
Актиномицеты	66.03±38.12	148.83±64.70*	93.48±23.68
Грибы	6.82±1.24	10.82±2.20*	16.73±4.40*
	Коэффициенты структуры микробного сообщества		
Минерализации	1.07	1.90	2.35
Педотрофности	0.73	2.54	1.11

Оценка численности микроорганизмов (табл. 6) показала, что действие обоих удобрений относительно контроля на ту или иную физиологическую группу микроорганизмов было достоверным, хотя и разным. Так, в варианте с удобрением «Покон» достоверно возросла численность микроорганизмов на таких питательных средах, как мясо-пептонный агар, почвенный агар, среда Эшби и среда Гетчинсона. В то время как на варианте со вторым удобрением достоверный прирост наблюдался только на среде Эшби, крахмал-аммиачном агаре и среде Гетчинсона. Результат свидетельствовал о том, что удобрения стимулируют почвенную микрофлору, а именно активно воздействуют на физиологические группы микроорганизмов, минерализующих органическое вещество. При этом разложение почвенного органического вещества автохтонной микрофлорой гораздо сильнее протекала в варианте с внесением «Покон», тогда как в другом варианте («Белогор») коэффициент минерализации был намного выше контрольного варианта. Стимуляция целлюлозоразрушающих микроорганизмов наблюдалась в обоих вариантах применения удобрений, однако достоверных различий в численности актиномицетов при внесении «Белогора» по сравнению с контролем обнаружено не было. Данный факт свидетельствовал об активизации процессов разложения растительных остатков. Рост числа аминокислототрофов на КАА способствовал увеличению содержания нитратов, как одного из основных продуктов их жизнедеятельности.

ВЫВОДЫ

1. Внесение удобрения «Белогор» (производитель – НТЦ «Био») приводило к увеличению числа генеративных органов *Tagetes patula*.

2. Внесение минерального и органического удобрений, в силу содержания в них железа и молибдена, способствовало увеличению численности свободных азотфиксаторов. Азот в аммиачной форме сразу же активно вовлекался растениями в их метаболизм, именно поэтому в сентябрьских образцах почвы не было обнаружено повышенного количества минеральных форм азота.

3. Внесение минерального комплексного удобрения «Покон» голландской фирмы Pokon Naturado способствовало снижению фитотоксичности почвы.

4. Применение удобрений стимулировало рост и развитие обеих цветочных культур (*Tagetes patula* и *Erysimum cheiri*).

ЛИТЕРАТУРА

1. Balogh J. Lebens gerne inschaften der Landtiere, ihre Erforschung unter besonderer Berucksichtigung der zoozonologischen Arbeits methoden. В. Budapest. 1958. 260 p.

Работа рекомендована к.с.-х.н., доц. кафедры почвоведения Академии биологии и биотехнологии Южного Федерального университета Л.Ю. Гончаровой.

УДК 631.4

ОБМЕН УГЛЕРОДА МЕЖДУ НАПОЧВЕННЫМ ПОКРОВОМ И АТМОСФЕРОЙ В БОЛОТНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ

Д.Г. Иванов^{1,2}, Ю.А. Курбатова², В.К. Авилов², К.О. Коротков²

¹Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева

²Институт проблем экологии и эволюции РАН имени А.Н. Северцова

В работе отражены результаты исследования потоков CO₂ в экосистемах верхового болота Центрально-Лесного заповедника (Тверская обл.) методом статических камер на протяжении летне-осенних сезонов 2013–2014 гг. Рассмотрены особенности пространственно-временных различий эмиссии и депонирования CO₂, а также с помощью нелинейных моделей проанализированы зависимости потоков от основных внешних факторов. Установлено, что различные экосистемы верхового болота могут являться как стоком, так и источником углерода в зависимости от внешних условий.

ВВЕДЕНИЕ

Болотные экосистемы в контексте глобального изменения и нестабильности климата играют крайне важную роль. В теории, являясь стоком углекислого газа, они оказывают значительное влияние на баланс углерода в южно-таежной зоне Европейской части России. Углеродный баланс в данных экосистемах складывается из эмиссии парниковых газов – прежде всего углекислого газа и метана, пары и поглощения углерода в процессе фотосинтеза и прироста биомассы [2].

В последнее время летне-осенние сезоны характеризуются непостоянством погодных условий с чередованием как продолжительных влажных, так и засушливых периодов, что сильно сказывается на поступлении тепла в экосистемы, количестве приходящей фотосинтетически активной радиации и колебаниях уровня грунтовых вод и тем самым на активности дыхания и фотосинтеза. Во время поднятия грунтовых вод и ингибирования дыхания чаще всего баланс углерода смещается в отрицательную сторону, т.е. депонирование преобладает над эмиссией, однако, при низком уровне воды и хорошей про-

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 14-05-00797.

© Д.Г. Иванов, Ю.А. Курбатова, В.К. Авилов, К.О. Коротков, 2017

греваемости почвы часто баланс смещается в положительную сторону. Также сама поверхность болота не является однородной и включает в себя различные формы микро-рельефа с соответствующими им растительными сообществами [3].

На основе этой пространственно-временной неоднородности были проведены исследования по динамике потоков углекислого газа с учетом основных сопутствующих факторов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования были проведены в период с июня по октябрь 2013–2014 гг. на верховом болоте «Старосельский мох» Центрально-Лесного заповедника (Тверская обл. р-н N56°28', E33°02'), относящемся к южно-таежной зоне юго-западной оконечности Валдайской возвышенности.

Территория заповедника относится к области умеренного континентального климата. Среднегодовая температура составляет 3.7 °С, среднее количество осадков за июнь–октябрь – 370 мм, средняя длина периода с температурами более 107 °С – 124 дня [1, 5].

Для изучения пространственных различий в потоках были выбраны несколько типов фитоценозов с различным микро-рельефом. Так в центральной части болота находится открытая часть, представляющая собой грядово-мочажинный комплекс, в котором мочажины периодически затопляются водой, а гряды приподняты над поверхностью болота на 15–30 см и хорошо прогреваются в сухое время. В северной и южной части находятся низкорослые сосняки – рямы, переходящие в южной части в высокий заболоченный сосняк.

Дыхание и депонирование CO₂ измерялось с помощью статических камер. Камера представляла собой цилиндр диаметром 20 и высотой 16 см, который крепился с помощью прищепок на основание такого же диаметра, врезанное в почву на 15 см для уменьшения латерального перемещения газа из наружного пространства в камеру. Измерение концентрации газа внутри камеры осуществлялось инфракрасным газоанализатором Li-820 (Li-Cor Inc., USA) в течение 3–3.5 мин. Для перемешивания воздуха внутри камеры был установлен вентилятор. Кроме того в камере находился датчик температуры.

В 2013 г. использовалась непрозрачная камера для измерения только дыхания экосистемы (Ecosystem respiration – Re), в 2014 она была заменена на прозрачную камеру со съемным светонепроницаемым чехлом для измерения дыхания и чистого экосистемного обмена (Net ecosystem exchange – NEE) углекислого газа. Из разницы между Re и NEE рассчитывалась валовая первичная продуктивность (Gross primary production – GPP) напочвенного покрова.

Количество оснований в каждом из четырех фитоценозов в 2013 г. составляло 10 шт., в 2014 г. в связи с дополнительными измерениями прозрачной камерой и увеличением длительности измерений было уменьшено до 5, т.е. в целом на болоте находилось от 20 до 40 точек измерений. Все основания устанавливались рядом с деревянной лежневкой для снижения механического воздействия на напочвенный покров. Частота измерений составляла от 4 до 10 дней.

В качестве сопутствующих факторов, косвенно влияющих на интенсивность потоков CO₂ измерялась температура почвы на глубине 10 см термометром HI 98509 Checktemp 1 (Hanna instruments, inc.), температура и влажность воздуха термогигрометром Ива-6А (НПК «МИКРОФОР»), приходящая фотосинтетически активная радиация (ФАР) (AccuPAR LP-80 (Decagon Devices, Inc.) и уровень грунтовых вод (УГВ) по методике, указанной в наставление гидрометеорологическим станциям и постам [4].

В ходе исследований было установлено, что большинство потоков не являются линейными и представляют собой параболу разной степени кривизны, поэтому в качестве описательной функции изменения концентрации CO₂ в камере использовалась экспоненциальная функция:

$$Cc(t) = Cs + (Cs - Cc_0)e^{-At},$$

где $Cc(t)$ – изменения концентрации CO_2 в камере, Cs – концентрация CO_2 в почве, Cc_0 – концентрация CO_2 в камере в начальный момент измерения, A – константа скорости пропускания, t – время экспозиции.

Для расчета компонентов функции использовалась программа TableCurve 2D (Systat Software inc). В конечном итоге для выражения потока в виде $\text{мгCO}_2/\text{м}^2\cdot\text{ч}$, используется следующая формула:

$$F = \frac{dCc}{dt} \cdot (8.31446 \cdot (273.15 + T_{ch}))^{-1} \cdot P_{atm} \cdot H_{ch} \cdot 1584,$$

где F – значение потока ($\text{мгCO}_2/\text{м}^2\cdot\text{ч}$), $\frac{dCc}{dt}$ – полученное значение потока из производной

по первой формуле ppm/сек, 8.31446 – универсальная газовая постоянная ($\text{Дж/моль}\cdot\text{К}$), $273.15 + T_{ch}$ – температура внутри камеры (К), P_{atm} – атмосферное давление вне камеры (кПа), H_{ch} – высота камеры вместе с основанием и учетом высоты растительности внутри камеры, 1584 – переводной коэффициент в $\text{мгCO}_2/\text{м}^2\cdot\text{ч}$.

Статистическая оценка зависимости потоков от сопутствующих факторов производилась в программе Statistica 10 (StatSoft inc.).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Температурные условия в 2013 и 2014 практически не отличались и были, в целом, в пределах нормы. Температурный пик в оба года приходился на 3 декаду июля – 1 декаду августа, что также было отражено в наиболее высокой интенсивности дыхания – от $600 \text{ мг}/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ на мочажинах и низком ряме до $1600 \text{ мг}/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ в высоком ряме. Также наиболее интенсивное поглощение CO_2 в процессе фотосинтеза соответствовала этим срокам – от $450 \text{ мг}/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ на грядах до $750 \text{ мгCO}_2/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ на мочажинах.

Различия в средней глубине грунтовых вод между годами были выражены сильнее. В связи с тем, что в июне 2014 года выпало гораздо больше осадков по сравнению с июнем 2013 г., уровень грунтовых вод на участках (в особенности на низком ряме и мочажинах) в среднем повысился на 5–7 см, что значительно отразилось и на потоках CO_2 .

В среднем, между летне-осенними сезонами 2013–2014 гг. наибольшие различия по дыханию были установлены для низкого ряма и гряд (рис.). В 2013 году интенсивность дыхания на низком ряме составила $610 \text{ мгCO}_2/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ и $395 \text{ мгCO}_2/\text{м}^2\cdot\text{ч}$ на грядах, а в 2014 – 705 и $527 \text{ мг CO}_2/\text{м}^2\cdot\text{ч}$, соответственно, при этом мочажины в эти года между собой не различались (315 и $298 \text{ мг CO}_2/\text{м}^2\cdot\text{ч}$). Это может объясняться тем, что потоки на низком ряме и грядах наиболее чувствительны к перепадам уровня грунтовых вод и при его повышении ингибируется большая группа аэробных организмов, что снижает интенсивность дыхания. Однако, экосистема мочажин более приспособлена к повышенному УГВ и его динамика не так сильно влияет на разницу в интенсивности дыхания, но при этом среднее значение дыхания ниже чем на других участках. Дыхание на высоком ряме измерялось только в 2014 г. и по сравнению с другими участками в этом году является самым высоким ($685 \text{ мг CO}_2/\text{м}^2\cdot\text{ч}$), это связано с тем что, с одной стороны это менее гидроморфный участок с самым низким уровнем грунтовых вод и с другой – в торфе содержится большее количество древесных остатков по сравнению с другими участками.

Оценка депонирования CO_2 экосистемами проводилась только в летний период 2014 г. Наибольшая интенсивность поглощения CO_2 наблюдалась на низком ряме ($490 \text{ мг CO}_2/\text{м}^2\cdot\text{ч}$), что возможно связано с оптимальным уровнем грунтовых вод, обеспечивающим активный рост растений, а также наличие большого количества осок, которые по некоторым данным [7] в связи с активным ростом интенсивно поглощают углекислый газ в процессе фотосинтеза. Гряды и мочажины занимают средние позиции по интенсивности поглощения и статистически между собой не различаются, что, видимо, объясняется низкой фотосинтетической активностью сфагнома и кустарничков и небольшим количеством травянистых растений. Депонирование напочвенного растительного покрова вы-

сокого ряма является самым низким, поскольку это наиболее затененная экосистема с сомкнутостью кроны около 0.5, что мешает активному фотосинтезу.

В целом, по балансу CO_2 в летний период 2014 г. можно заключить, что на низком ряме и мочажинах он был отрицательный, т.е. поглощение CO_2 преобладало над его эмиссией, а в высоком ряме и на грядах – отрицательный, что может быть связано в первую очередь с высоким уровнем грунтовых вод на грядах и в высоком ряме, а также затененностью последнего.

Следующей задачей исследования было установление нелинейных зависимостей между внешними факторами (температурой почвы, воздуха, уровнем грунтовых вод и фотосинтетически активной радиацией) и потоками CO_2 и подбор моделей для составляющих баланса углерода по каждому фактору. На основе данных потоков 2014 г. были рассмотрены различные нелинейные зависимости, использованные в предыдущих исследованиях [6, 7, 8] и выбраны наиболее подходящие по значению коэффициента детерминации (R^2) в программе Statistica 10.

Для выражения температурной зависимости было выбрано модифицированное уравнение Аррениуса [6]. Несмотря на то, что экспоненциальная функция бесконечно возрастает, для данного промежутка температур она является наиболее подходящей:

$$Re/GPP = A \cdot e^{\frac{Ea \cdot (Ta(Ts) - Tr) / R \cdot (Ta(Ts) - To) \cdot (Tn - To)}{1}},$$

где A – константа Аррениуса, Ea – энергия активации, $Ts(Ta)$ – температура почвы или воздуха ($^{\circ}\text{C}$), Tr – референсная температура (25°C), To – температура абсолютного нуля (-273.16°C) R – газовая постоянная ($\text{кДж}/(\text{кмоль} \cdot \text{K})$).

Поскольку снижение интенсивности дыхания и поглощения CO_2 происходит как при слишком высоком, так и при слишком низком уровне грунтовых вод, для выражения этого параметра была использована простая параболическая функция, учитывающая оптимум:

$$Re/GPP = b1 + b2 \cdot Wt + b3 \cdot Wt^2;$$

где Wt – УГВ (см), $b1$ – коэф. искривления, $b2$ – коэф. симметрии, $b3$ – коэф. смещения параболы.

Фотосинтетическая активность для депонирования выражалась функцией Михаэлиса-Ментена [8]. При этом с увеличением ФАР прирост значений потока постепенно снижался, стремясь к установлению предела интенсивности:

$$GPP = \frac{GP_{\max} \cdot aPAR}{GP_{\max} + aPAR};$$

где PAR – фотосинтетически активная радиация ($\text{мкмоль}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$), $GP_{\max}$ – максимальный GPP при оптимальных условиях (const), a – коэф. эффективности ФАР (const).

Исходя из полученных коэффициентов детерминации функций (табл.), было установлено, что дыхание в большей степени зависит от уровня грунтовых вод (со средним оптимумом 38.1 см) и в меньшей от температуры воздуха и почвы. Это связано с тем, что при повышении УГВ дыхание снижается гораздо более резко, чем при изменении температуры. При этом зависимость от температуры почвы гораздо ниже, чем от температуры воздуха.

В отличие от дыхания, депонирование за весь период измерений очень сильно изменялось как во времени, так и между участками и даже точками отбора, поэтому смоделировать четкую зависимость было сложно, и коэффициенты детерминации оказались довольно низкими. Однако, при этом все же удалось установить, что, как и предполагалось, наибольшее влияние на поглощение CO_2 при фотосинтезе оказывает количество ФАР. Температура воздуха, как и для дыхания, является вторым по значимости фактором, а R^2 для температуры почвы и уровня грунтовых вод (средний оптимум 31.6 см) является самым низким. Тем самым можно заключить, что эмиссия CO_2 на верховом болоте ограничивается в первую очередь уровнем грунтовых вод, а депонирование количеством фотосинтетически активной радиации, а вторым фактором для обоих процессов является температура воздуха.

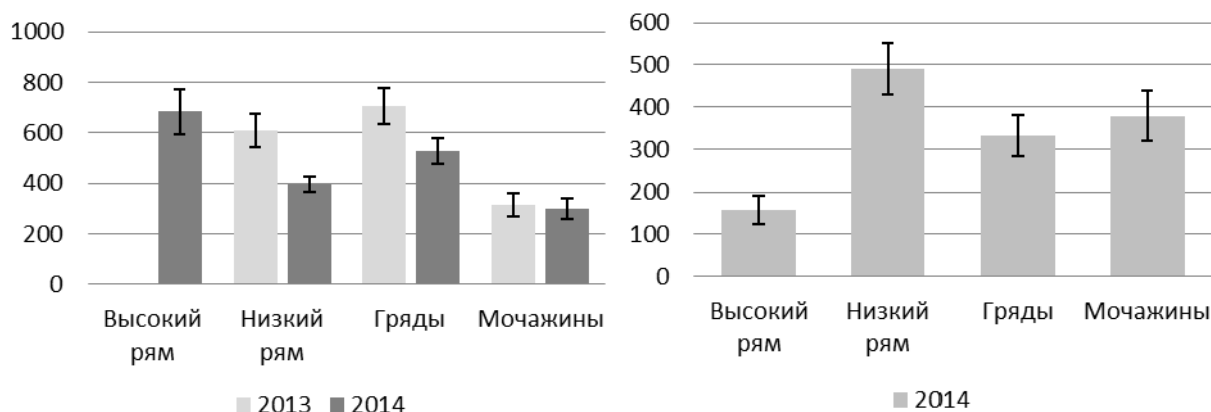


Рисунок. Сравнение эмиссии (1) и депонирования (2) CO₂ между участками, мг CO₂/м²·ч.

Таблица. Функции параметров потоков.

Параметр	Функция	R ²
Температура почвы	$Re = 777.9 \cdot \exp((52117 \cdot (Ts - Tr)) / (R \cdot (Ts + To) \cdot (Tr + To)))$	0.30
	$GPP = 578.1 \cdot \exp((48800 \cdot (Ts - Tr)) / (R \cdot (Ts + To) \cdot (Tr + To)))$	0.13
Температура воздуха	$Re = 396.9 \cdot \exp((39486 \cdot (Ta - Tr)) / (R \cdot (Ts + 273.16) \cdot (Tr + To)))$	0.45
	$GPP = 304.7 \cdot \exp((29057 \cdot (Ta - Tr)) / (R \cdot (Ta + To) \cdot (Tr + To)))$	0.20
Уровень грунтовых вод	$Re = 21.4 + 38.1 \cdot Wt - 0.53 \cdot Wt^2$	0.50
	$GPP = 190.2 + 31.6 \cdot Wt - 1.09 \cdot Wt^2$	0.13
ФАР	$GPP = (657.4 + 1.35 \cdot PAR) / (657.4 + 1.35 \cdot PAR)$	0.28

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования показали, что отдельные экосистемы верхового болота различаются не только по интенсивности дыхания и поглощения CO₂ в процессе фотосинтеза, но и значением баланса. При этом важную роль играет как уровень грунтовых вод, зависящий от микрорельефа и расположения экосистемы, так и освещенность, ограничиваемая соснами разной высоты на низком и высоком рьях. Общий баланс экосистем болота на протяжении летнего периода 2014 г. можно характеризовать как положительный, то есть, не смотря на то, что верховые болота южной тайги обычно считаются стоком углерода [2, 3], данное болото было его источником без учета древесного яруса. Наиболее высокая интенсивность эмиссии CO₂ характерна для высокого рья, а депонирование – для низкого рья. Гряды и мочажины при этом занимают промежуточное положение.

На основе построенных моделей было установлено, что на величину эмиссии, прежде всего, влияет уровень грунтовых вод (с оптимумом 38.1 см), ограничивая активность аэробных микроорганизмов и дыхание корней, а на депонирование – количество ФАР, как основного фактора фотосинтеза. Второстепенную роль для обоих процессов играет температура воздуха.

Болотные экосистемы являются сложными объектами, требующими дальнейшего пространственно-временного изучения составляющих углеродного баланса и влияющих на них внешних факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варлагин А.В., Выгодская Н.Н., Курбатова Ю.А., Широная И.В., Широная Н.В., Шульце Е.Д. Межгодовая изменчивость потоков углекислого газа и водяного пара в ельнике сфагново-черничном // Труды Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника. Вып. 5. Великие Луки, 2007. С. 375–385.
2. Заварзин Г.А., Кудеяров В.Н. Почва как главный источник углекислоты и резервуар органического углерода на территории России // Вестник Российской Академии Наук. 2006. Т. 76. № 1. С. 14–29.

3. Кудеяров В.Н., Заварзин Г.А., Благодатский С.А. Пулы и потоки углерода в наземных экосистемах России. М.: Наука, 2007. 315 с.
4. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 8. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 361 с.
5. Пузаченко Ю.Г. Вековые изменения климата в районе заповедника // Труды Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника. Вып. 6. Великие Луки, 2012. С. 6–32.
6. Byrne K.A., Kiely G., Leahy P. CO₂ fluxes in adjacent new and permanent temperate grassland // *Agricultural and Forest Meteorology*. V. 135 (1–4). P. 82–92.
7. Glenn A.J., Flanagan L.B., Syed K.H., Carlson P.J. Net ecosystem CO₂ exchange of two peatlands with contrasting vegetation in northern Alberta, Canada // 27th Conference on Agricultural and Forest Meteorology. 2006.
8. Wang C. L., Zhou G.Y., Wang X., Tang X.L., Zhou C.Y., Yu G.R. Below-canopy CO₂ flux and its environmental response characteristics in a coniferous and broad-leaved forest in Dinghushan, China. // *Acta Ecologica Sinica*. 2007. V. 27. P. 846–854.

Работа рекомендована к.б.н. Ю.А. Курбатовой.

УДК 631.433.3, 551.583

ИЗМЕНЕНИЕ ЭМИССИИ И БАЛАНСА CO₂ НА ВЕРХОВОМ БОЛОТЕ ЮЖНОЙ ТАЙГИ В РАЗЛИЧНЫХ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ

Д.Г. Иванов¹, Ю.А. Курбатова¹, П.Р. Енчилик²

¹ФГБУН Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва

²Российский университет дружбы народов, Экологический факультет, Москва

Проведены измерения эмиссии и баланса углекислого газа в течение летних периодов 2013–2015 гг. на верховом болоте южно-таежной зоны Европейской части России с использованием метода статических камер. Найдены существенные различия в потоках и балансе CO₂ как между отдельными микроландшафтами болота, так и между годами измерений. Влияние температуры почвы на эмиссию CO₂ доказано для всех участков верхового болота. Статистически значимые корреляции между температурой почвы и балансом CO₂ установлены для высокого рья и гряд, а между уровнем грунтовых вод и балансом CO₂ – для гряд и мочажин.

ВВЕДЕНИЕ

Современные изменения климата, объясняемые в большинстве научных работ увеличением содержания в атмосфере парниковых газов антропогенного происхождения [12], начиная с 90-е гг. XX в. вызвали всплеск исследований, направленных на оценку роли природных экосистем в выделении и поглощении парниковых газов, а также на изучение и моделирование зависимостей газообмена CO₂ от внешних факторов. Многочисленные исследования, проведенные на болотах различного типа, показали, что соотношение и интенсивность потоков парниковых газов на границе раздела поверхность-атмосфера зависит от типа болота и гидротермического режима болотных [3]. Однако многообразие типов, условий формирования и функционирования болотных экосистем не позволяет считать этап накопления экспериментальных данных о потоках углерода между поверхностью болот и атмосферой завершенным.

Исследования были проведены при поддержке грантов РНФ № 14-27-00065 и РФФИ № 14-05-0097а.

© Д.Г. Иванов, Ю.А. Курбатова, П.Р. Енчилик, 2017

В работе представлены исследования пространственно-временной изменчивости основных потоков углекислого газа между атмосферой и поверхностью верхового болота, расположенного на территории Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника (ЦЛГПБЗ). Комплексные исследования газообмена на болотных массивах особо охраняемых природных территорий, в условиях отсутствия прямого антропогенного воздействия, могут служить основой для оценки буферной роли болот в условиях современных климатических изменений.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

ЦЛГПБЗ расположен в юго-западной части Валдайской возвышенности (56°26'–39' с.ш.; 32°29'–33°01' в.д.). Физико-географические особенности территории хорошо изучены и описаны в многочисленных публикациях [1, 5, 6, 8]. Территория заповедника относится к области умеренного континентального климата. Среднегодовая температура составляет 4.3 °C, среднегодовое количество осадков – 720 мм.

Наблюдения за потоками CO₂ проведены на верховом болоте Старосельский мох [2, 7, 10] в июне – августе в 2013–2015 гг. с периодичностью 4–10 дней. Измерения выполнены на 4 экспериментальных участках: в сосняке кустарничково-сфагновом (высокий рям), сосняке пушицево-сфагновом (низкий рям), на грядово-мочажинном комплексе (отдельно на грядах и мочажинах). На каждом экспериментальном участке в 71.0065 унции. регистрация потоков CO₂ осуществляли в 10-кратной повторности в 2014, в 2015 гг. в 5-кратной. Измерения потоков диоксида углерода выполнены на основе метода статических закрытых камер [4]. Поток диоксида углерода определяли на основе изменения концентрации CO₂ в камере. В 2013 г. использовалась непрозрачная камера цилиндрической формы высотой 16 см и диаметром 19 см, в 2014, 2015 гг. использовалась камера аналогичной формы и размеров, но выполненная из светопрозрачного материала. Воздух из камеры с помощью насоса подавался на детектор инфракрасного газоанализатора Li-820 (Li-Cor Inc., США). Концентрация CO₂ регистрировалась с частотой 1 Гц, время экспозиции составляло 180–220 с. Камеры были установлены на основания, предварительно врезанные в торф на глубину 15 см. Параллельно с потоками CO₂ фиксировали: температуру почвы на глубине 10 см (HI 98509 Checktemp 1; Hanna instruments, США) и уровень грунтовых вод (в специально оборудованных скважинах на болотном массиве).

Расчет потоков CO₂ основывался на определении скорости изменения концентрации CO₂ в камере. Тренд концентрации CO₂ аппроксимировался экспоненциальной функцией на основе программного обеспечения *Table Curve 2D*:

$$C_t = C_x + (C_0 - C_x)e^{-a(t-t_0)}$$

где C_t – концентрация CO₂ в камере в момент времени t (мкмоль моль⁻¹ или ppm), C_x – концентрация CO₂ в камере в момент окончания измерения, C_0 – начальная концентрация CO₂ в камере, a – константа, t – время экспозиции (с), t_0 – время начала измерения (с). Аналогичная формула используется при расчете потоков на основе автоматической системы для измерения эмиссии CO₂ [11].

Инструментальная база, используемая в 2013 г. позволила оценить только эмиссионные потоки CO₂ (Rco₂), связанные с процессами деструкции органического вещества, а в 2014–2015 гг. выполнены оценки эмиссии и баланса потоков CO₂ между поверхностью болота и атмосферой. Для оценки эмиссии в 2014, 2015 гг. камера затенялась светонепроницаемым чехлом. Баланс CO₂ (NEE) определяли как разность между эмиссией CO₂ и депонированием диоксида углерода в процессе фотосинтеза. Отрицательный знак NEE соответствовал поглощению CO₂ из атмосферы, т.е., преобладанию процессов депонирования над процессами разложения.

Кумулятивные эмиссионные потоки за летний период рассчитывали из сумм среднемесячных потоков, умноженных на количество дней в месяце.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Погодные условия периода измерений. Температура воздуха в летние периоды 2013–2015 гг. была выше среднемноголетней на 0.4–5.4 °C. В 2014 г. атмосферное увлажнение было близко к многолетней. В 2013 г. количество осадков в летне-осенний период было на 11–49 % меньше среднемноголетних значений в течение всего периода наблюдений. 2015 г. был самым засушливым, в течение июня и августа, количество осадков было на 78–82 %, а в июле на 14 % ниже среднемноголетней нормы. Динамика уровня грунтовых вод (УГВ) и температуры почвы в течение летних периодов трех лет заметно различалась. Длительное отсутствие осадков приводило к заметному опусканию УГВ до 16–23 см, а нагрев почвы на глубине 10 см увеличивался до 20–24°C. В целом, можно характеризовать погоду летнего сезона 2013 г. как сухую и жаркую, 2014 г. – жаркую с увлажнением, приближенным к многолетней норме, а 2015 г. – жаркую и сильно засушливую.

Эмиссия CO₂. Результаты наблюдений показали, что для потоков Rco₂ на верховом болотном массиве характерна пространственная неоднородность и временная внутрисезонная и межгодовая изменчивость.

Однофакторный дисперсионный анализ показал значимые статистические различия ($F = 26.6$, $F_{кр} = 2.65$) между эмиссией CO₂ на выбранных экспериментальных участках. По вкладу в общую эмиссию CO₂ микроландшафты верхового болота могут быть ранжированы следующим образом: мочажины – низкий рям – гряды – высокий рям. Среднее значение Rco₂ для всех периодов измерений 2013–2014 гг. на мочажинах составило 336 мгCO₂ м⁻² ч⁻¹; на низком ряме – 432 мгCO₂ м⁻² ч⁻¹; на грядах – 554 мгCO₂ м⁻² ч⁻¹; на высоком ряме – 623 мгCO₂ м⁻² ч⁻¹ (табл. 1).

Общая динамика потоков в течение лета 2013–2015 гг. заметно различалась, при этом для сезонного хода Rco₂ на фоне общего сезонного тренда были отмечены кратковременные флуктуации потоков при изменении погодных условий. В 2013 интенсивность потоков, в целом, возрастала от июня к августу, в 2014 г. Rco₂ с 1-й декады июня по 1-ю декаду июля уменьшалось, затем со 2-й по 3-ю декаду резко возрастало и равномерно снижалось к концу августа, в 2015 г. с начала июня до середины июля Rco₂ постепенно возрастало, а затем также постепенно снижалось.

Наибольшее количество углекислого газа было выделено в 2013 г на грядах (1515 г CO₂ м⁻²), однако в последующие годы эмиссия на этом участке уменьшилась в 1.5 раза. Выделение CO₂ в высоком ряме в 2014 и 2015 гг. было примерно одинаково (1313 г CO₂ м⁻²). На низком ряме по сравнению с 2013 г. эмиссия уменьшилась на 26–33 %. Наименьшее количество CO₂ было выделено на мочажинах – в среднем 700 г CO₂ м⁻² за три года (табл. 1).

Влияние температуры почвы на эмиссию CO₂ статистически доказано для всех участков верхового массива, при этом наибольшая корреляционная зависимость (табл. 2) установлена для наиболее возвышенного микроландшафта – высокого ряма ($r = 0.77$), для остальных участков коэффициент корреляции составляет 0.39–0.48. В то же время значительное влияние уровня грунтовых вод отмечено только для глубины выше 20 см, что соответствует низкому ряму и мочажинам ($r = 0.60$ – 0.69). Для грунтовых вод глубиной ниже 20 см, на высоком ряме и грядах коэффициенты корреляции составляют только 0.38–0.41.

Баланс потоков CO₂ между поверхностью болота и атмосферой (NEE). Оценки NEE показали, что верховой болотный массив может быть дифференцирован по функциональной роли отдельных микроландшафтов по балансу CO₂. В 2014 г. в течение почти всего периода июнь–август NEE на высоком ряме и грядах был положительным, т.е., эмиссионные потоки были больше депонирования CO₂ в процессе фотосинтеза. Максимальные значения NEE были отмечены в первой декаде августа на грядах (420 мгCO₂ м⁻² ч⁻¹) и во второй декаде в высоком ряме (1020 мгCO₂ м⁻² ч⁻¹). На площадках в низком ряме и мочажинах в течение всего летнего периода зафиксированы отрицательные значения NEE (от близких к нулю значений до –286 мгCO₂ м⁻² ч⁻¹). В 2015 г. в первую декаду июня для всех участков кроме высокого ряма характерен отрицательный баланс, затем, до конца августа,

баланс на высоком ряме и грядах становится положительным, а на низком ряме и мочажинах баланс изменяется между положительным и отрицательным и в августе становится постоянно положительным. Вследствие длительного отсутствия осадков в 2015 г. период преобладания поглощения CO_2 над эмиссией на низком ряме составил примерно 10 дней ($\text{NEE} = -84 \text{ мгCO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$), а на мочажинах около 40 дней ($\text{NEE} = -100 \text{ мгCO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$).

Таблица 1. Среднемесячные значения эмиссии CO_2 ($\text{мгCO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$).

	Высокий рям		Низкий рям		Гряды		Мочажины	
2013	R							
Июнь	–		478		552		330	
Июль	–		626		954		311	
Август	–		741		1015		498	
Кум. пот.*	–		1231		1515		661	
2014	R	NEE	R	NEE	R	NEE	R	NEE
Июнь	412	378	278	–196	415	101	162	–117
Июль	595	696	454	–147	526	255	357	–169
Август	877	771	411	–71	614	263	378	–5.4
Кум. пот.	1304	1329	823	–298	1087	446	671	–210
2015	R	NEE	R	NEE	R	NEE	R	NEE
Июнь	510	392	354	99	472	163	276	–94
Июль	832	592	425	18	502	335	329	54
Август	571	505	503	388	498	21	441	293
Кум. пот.	1321	1072	914	364	1042	512	771	183

* Кумулятивные потоки за летний период ($\text{гCO}_2 \text{ м}^{-2}$).

Таблица 2. Коэффициенты корреляции потоков CO_2 и внешних факторов.

	Высокий рям	Низкий рям	Гряды	Мочажины
T_s (R)	0.77	0.48	0.39	0.46
УГВ (R)	0.38	0.60	0.41	0.69
T_s (NEE)	0.84	–0.09	0.56	0.13
УГВ (NEE)	0.25	–0.13	0.53	0.44

Средние значения баланса за летние периоды наиболее различались в низком ряме и мочажинах (табл. 1). В 2014 г. на данных участках баланс был отрицательный (от -76 до $-119 \text{ мгCO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$), в 2015 г. – положительный (от 31 до $116 \text{ мгCO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ ч}^{-1}$).

Статистически значимые корреляции (табл. 2) между температурой почвы и балансом CO_2 установлены для высокого ряма ($r = 0.84$) и гряд ($r = 0.56$), а между уровнем грунтовых вод и балансом CO_2 – для гряд ($r = 0.53$) и мочажин ($r = 0.44$).

Различия в общем балансе CO_2 между участками связано с сочетанием экологических условий, в первую очередь – уровня грунтовых вод. Наиболее низкий УГВ отмечается в высоком ряме на краю верхового болота и приподнятых на 15–20 см грядах, что, по мнению некоторых авторов [9] с одной стороны обеспечивает большее прогревание верхней части торфа, а с другой – большую глубину аэрируемого слоя. Кроме того значительное затенение наземной растительности в высоком ряме препятствует активному фотосинтезу, что становится итогом постоянно положительного баланса потоков CO_2 в высоком ряме.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные наблюдения за эмиссией и балансом CO_2 на верховом болоте южно-таежной зоны Европейской части РФ показали заметные пространственно-временные различия, как в выделении, так и в балансе углекислого газа на отдельных микроланд-

шафтах. Установлен положительный отклик эмиссии CO₂ на повышение температуры и понижение уровня грунтовых вод.

Вследствие небольшого количества осадков за летний период 2013, дыхание почвы на грядах и низком ряме было значительно выше, чем в 2014 г. Активное поглощение CO₂ наблюдалось на наиболее обводненных ландшафтах – низком ряме и мочажинах, что обуславливало отрицательный баланс углекислого газа в 2014 г., в то время как в высоком ряме и на грядах он был положительным. В 2015 вследствие крайне малого количества осадков баланс CO₂ в среднем за весь летний период был положительным на всех участках. Влияние температуры почвы на эмиссию CO₂ наиболее заметно на высоком ряме, а уровня грунтовых вод – на мочажинах и низком ряме. Тесная зависимость баланса CO₂ от температуры почвы установлена только для высокого ряма.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Абражко В.И.* Водный режим сообществ еловых лесов (синэкологические исследования). Автореф. докт. дисс. СПб. 1998, 46 с.
2. *Боч М.С., Минаева Т.Ю.* Болота Центрально-Лесного заповедника // Болота охраняемых территорий. Тез. докл. XI семинара-экскурсии по болотоведению. Л.: 1991. С. 22–26.
3. *Глаголев М.В.* Болотообразовательный процесс. Роль болот в круговороте CO₂ и CH₄. Томск: ТГУ, 2010. 112 с.
4. *Глаголев М., Филиппов И.* Измерение потоков парниковых газов в болотных экосистемах. Ханты-Мансийск: ЮГУ, 2011. 220 с.
5. *Карпов В.Г.* Факторы регуляции экосистем еловых лесов, Л.: Наука, 1983. 317 с.
6. *Минаева, Т.Ю., Шапошиников Е.С.* Характеристика региона и природные условия Центрально-Лесного Биосферного заповедника // Сукцессионные процессы в заповедниках России и проблемы сохранения биологического разнообразия. СПб.: РБО, 1999. С. 296–299.
7. *Новенко Е.Ю.* Динамика лесных экосистем юга Валдайской возвышенности в позднем плейстоцене и голоцене. М.: ГЕОС, 2011. 112 с.
8. *Пузаченко Ю.Г.* Ландшафтные исследования в Центрально-лесном заповеднике // Центрально-лесной заповедник – вклад в отечественную и мировую науку. Материалы, посвященные 75-летию Центрально-лесного государственного природного биосферного заповедника. Пос. Заповедный, 2008. С. 5–18.
9. *Aim J., Saamio S., Nykanen H. et al.* Winter CO₂, CH₄ and N₂O fluxes on some boreal natural and drained peatlands // Biogeochemistry, 1999. V. 44. P. 163–186.
10. *Kurbatova J., Arneeth A., Vygodskaya N. et al.* Comparative ecosystem-atmosphere exchange of energy and mass in a European Russia and a central Siberian bog I. Interseasonal and interannual variability of energy and latent heat fluxes during snowfree period // Tellus, 2002. V. 54B. № 5. P. 497–513.
11. *LI-8100A Automated soil CO₂ flux system & LI-8150 Multiplexer instruction manual.* LI-COR Inc., USA, 2010. P. 394.
12. *Solomon S., Qin D., Manning M. et al.* IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, USA. 996 p.

Работа рекомендована к.б.н. Ю.А. Курбатовой.

КОЭФФИЦИЕНТЫ НАКОПЛЕНИЯ ЦЕЗИЯ-137 ДИКОРАСТУЩИМИ СЪЕДОБНЫМИ ГРИБАМИ НА ТОРФЯНО-ГЛЕЕВОЙ ПОЧВЕ ВЕРХОВОГО БОЛОТА

Е.Д. Иванов

ГБОУ СОШ № 277 evgeniy_ivanov2000@mail.ru

В торфяно-глеевой почве верхового болота обнаружена повышенная концентрация цезия-137. Растущие на верховых болотах съедобные грибы, в условиях кислой реакции среды, накапливают цезий-137 в количествах, превышающих допустимые значения в 2–4 раз. Рекомендуется ограничить сбор съедобных грибы на верховых болотах до проведения исследований о влиянии цезия-137 на живые организмы.

ВВЕДЕНИЕ

Авария на Чернобыльской АЭС признана крупнейшей техногенной катастрофой. Одним из ее последствий является присутствие цезия-137 – изотопа искусственного происхождения – в различных природных экосистемах. Установлено, что цезий-137 накапливается грибами в большей степени, чем другие изотопы, попавшие в окружающую среду после аварии. Это происходит потому, что грибы обладают мицелиальным строением и адсорбционным типом питания.

В среднем в грибах концентрация цезия-137 более чем в 20 раз выше, чем в максимально загрязненном слое лесной подстилки. Установлено, что грибы поглощают цезий-137 в 10 раз больше, чем изотопы плутония и в 1000 раз больше, чем стронций-90 [1].

В районе исследования на карте радиационного загрязнения местности цезием-137 отмечено несколько зон загрязнения с плотностью 1 Ки/км² [2]. Они приурочены к верховым сфагновым болотам заказника «Мшинское болото».

Цель работы – оценить активность цезия-137 в торфяно-глеевой почве верхового болота и в дикорастущих съедобных грибах.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- провести отбор почвенного монолита;
- провести сбор плодовых тел грибов в период массового плодоношения;
- измерить суммарную бета-активность в сухих плодовых телах грибов и в почвенных пробах по горизонтам;
- найти коэффициенты накопления для разных видов грибов по отношению к сухой почве.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось в Гатчинском районе Ленинградской области в окрестностях станции Чаща. Верховое болото площадью 10 га вытянуто в южном направлении и находится на середине дороги, ведущей от станции Чаща к садоводству «Волна». Древостой – угнетенная болотная форма сосны обыкновенной. Ковер сфагнума равномерный с кочками пушицы. Кустарничковый ярус представлен клюквой. Рассматриваемое болото используется садоводами для сбора грибов и ягод клюквы. Также в непосредственной близости расположен массив садоводческих товариществ «Чаща».

Почвенный монолит был отобран 27.07.2014 в точке с координатами (N 59°04.775', E 030°25.527') до минеральной части болота. При отборе уровень грунтовых вод находился на глубине 0.8 м, поскольку в июле стояла засушливая погода.

Наблюдения и сборы плодовых тел грибов проводились в сентябре 2014 г. Материалом для исследования послужили плодовые тела грибов, принадлежащих к следующим видам:

Lactarius helvus (Fr.) Fr. Млечник серо-розовый;
Lactarius rufus (Scop.: Fr) Fr. – Горькушка;
Leccinum holopus (Rostk.) Watling – Подберезовик болотный;
Russula emetica (Schaeff.) Pers. – Сыроежка едкая;
Suillus variegatus (Sw.) Kuntze – Моховик желто бурый.

Латинские названия таксонов приводятся по данным Index Fungorum (<http://www.indexfungorum.org/Names/Names.asp>). Русские названия видов грибов приведены по определителю Б.П. Василькова [3].

Плодовые тела грибов высушивались в потоке теплого воздуха на электрической сушилке «Суховой» при температуре 35–40 °С. Для определения суммарной бета-активности (Бк/кг) в сухих почвенных пробах и сухих дикорастущих съедобных грибах использовался радиометр бета-излучения «Бета». Ошибка измерения прибора составляет 10 %. Методика расчета приведена в работе [4]. Идентификацию радионуклидного состава проб проводили методом сцинтилляционной гамма-спектрометрии.

Одним из основных показателей, характеризующих накопление радионуклидов в биологических объектах, является коэффициент накопления химического элемента (КН). Коэффициент накопления химического элемента – это отношение концентрации радионуклида в сухих грибах к его концентрации в сухой почве.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты измерения активности цезия-137 в почвенных горизонтах приведены в табл. 1.

Таблица 1. Активность цезия-137 в горизонтах почвы.

Горизонт	Мощность, см	Активность, Бк/кг
Очес	0–5	830±83
Торфяной горизонт	5–15	540±54
Перегноино-торфяной	15–30	420±42
Перегноинный горизонт	30–50	380±38
Глеевый горизонт	50–80	330±33

Для расчета коэффициента накопления использовалась активность цезия-137 в торфяном горизонте (табл. 1), поскольку в нем сосредоточена основная масса вегетативного мицелия грибов. Результаты измерения активности цезия-137 в дикорастущих съедобных грибах и коэффициенты накопления грибами приведены в табл. 2.

Таблица 2. Активность и коэффициенты накопления цезия-137 в плодовых телах грибов.

Виды	Активность, Бк/кг	КН в грибах
<i>Lactarius helvus</i>	4623±462	8.6
<i>Lactarius rufus</i>	4133±413	7.6
<i>Leccinum holopus</i>	9553±955	17.7
<i>Russula emetica</i>	5373±538	10.0
<i>Suillus variegatus</i>	5760±576	10.7

Выбор верхового болота был основан на предварительных данных измерения радиоактивности в почвенных пробах и дикорастущих съедобных грибах в районе исследования. Территория с верховым болотом отделена железной дорогой от заказника «Мшинское болото», имеющего первостепенное гидрологическое значение. Также проводились измерения в лесных экосистемах и заболоченных участках леса на водоразделе рек Кременка и Оредеж.

Согласно СанПиН 2.3.2.1078-01 допустимый уровень содержания цезия-137 в сухих грибах составляет 2500 Бк/кг [5]. По нашим данным активность цезия-137 в дикорастущих съедобных грибах, собранных на верховом болоте в районе проведения исследований, превышает допустимый уровень почти в 4 раза. Например, в плодовых телах грибов вида Подберезовик болотный активность цезия-137 составляет 9553 ± 955 Бк/кг.

Следует отметить, что в окружающих болото лесных экосистемах, сформировавшихся на дерново-слабоподзолистой почве, накопления цезия-137 в дикорастущих съедобных грибах не происходит. Причиной накопления цезия-137 в плодовых телах грибов на верховом болоте является кислая реакция среды (рН 3.0–4.0) верхних горизонтов торфяно-глеевой почвы. Кислая реакция среды и застойный характер увлажнения приводят к тому, что цезий-137 не закрепляется в минеральном горизонте, а свободно мигрирует по почвенному профилю, накапливаясь максимально в верхних горизонтах и очесе (табл. 1). Далее цезий-137 селективно концентрируется вегетативным мицелием грибов за счет адсорбционного типа питания и поступает в формирующиеся плодовые тела (табл. 2). По нашим наблюдениям, это происходит в период массового плодоношения грибов на верховом болоте, приуроченного к последней декаде августа и сентябрю, при условии достаточного количества осадков.

Результаты работы были использованы для определения коэффициента накопления цезия-137 в сухих дикорастущих съедобных грибах по отношению к сухой почве.

Рекомендуется ограничить сбор дикорастущих съедобных грибов на верховом болоте в районе исследования до выявления возможного воздействия цезия-137 на живые организмы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Щеглов А.И., Цветнова О.Б. Грибы – биоиндикаторы техногенного загрязнения // Природа. 2002. № 11. С. 39–46.
2. Ленинградская область. Карта радиоактивного загрязнения местности (цезием – 137). 1:200 000. СПб.: КПЦ «Ленлес». 1992. 30 листов карт.
3. Васильков Б.П. Съедобные и ядовитые грибы средней полосы европейской части России: Определитель. СПб.: Наука. 1995. 189 с.
4. Иванов Е.Д. Оценка суммарной бета-активности плодовых тел грибов, собранных на территории Авиагородка (Московский р-н, Санкт-Петербург) // Материалы VI региональной молодежной экологической конференции. СПб. Старый Петергоф. 2011. С. 232–236.
5. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов // Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.3.2.1078-01. Утв. главным государственным санитарным врачом РФ 6 ноября 2001 г., с изменениями от 31 мая 2002 г., 20 августа 2002 г., 15 апреля 2003 г.

Работа рекомендована: к.б.н., доцентом СПбГУГА Д.М. Ивановым

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ВЕТРОВАЛЬНОГО МОРФОГЕНЕЗА В ПОЧВАХ ЛЕСОВ РАЗНЫХ СУКЦЕССИОННЫХ СТАДИЙ ЧЕРНЕВОЙ ТАЙГИ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Г.И. Истигечев

Национальный исследовательский Томский Государственный университет,

istigechev.g@yandex.ru

Современные эпиассоциации черневой тайги в большинстве своем представлены серийными сообществами. Считается, что между коренными и серийными сообществами нет существенных различий, и результаты исследований часто экстраполируют на длительные временные отрезки. Исследование двух участков леса разных сукцессионных стадий показало различия в вероятности возникновения вывалов и их параметрах. В старовозрастном лесу интенсивность ветровального морфогенеза до 12 раз выше, чем в молодом. За 100 лет в старовозрастных лесах ветровалями может быть пройдено до 1.5–2 % площади почвенного покрова.

ВВЕДЕНИЕ

Современные эпиассоциации черневой тайги по причине сильного антропогенного изменения в большинстве своем представлены серийными сообществами (вырубки, пожары). Считается, что между коренными и серийными сообществами нет существенных различий во влиянии на морфогенез почв. Результаты исследований, полученные по данным из серийных сообществ, обычно экстраполируют на длительные временные отрезки, сопоставимые с периодами голоцена, что не совсем корректно.

Исследования проводились в черневых лесах Томь-Яйского междуречья, представляющих собой осиново-пихтовые высокотравные сообщества, которые являются наиболее своеобразным типом экосистем (Назимова, 2005; Лашинский, 2009), под которыми развиваются текстурно-дифференцированные почвы, обладающие рядом особенностей (Петров, 1946; Корсунов, 1974; Ковалев и др., 1981; Гаджиев, Дюкарев, 1984 и др.; Соколов, 1997; Лойко и др., 2010, 2015), что обращало на себя внимание всех исследователей и привело к появлению региональных наименований – «горно-таежные подзолистые», «глубокоподзолистые». Эта территория характеризуется присутствием участков леса разных сукцессионных стадий развития в идентичных геоморфологических условиях (эпиассоциации). Целью нашей работы было изучить различия в интенсивности ветровального морфогенеза между сообществами разных сукцессионных стадий.

Ранее установлено, что ветровалы оказывают определяющую роль на формирование почв черневой тайги (Лойко и др., 2013). Они не только механически перемешивают почву, но и активизируют ряд сопутствующих почвенных процессов. В ветровальной западине создается повышенное увлажнение, а также почва на определенное время остается открытой разрушающим факторам окружающей среды, таким как дезагрегирующее воздействие капель воды, более глубокое промораживание материала кома. После нивелирования ветровальной западины в почвенном профиле сохраняются необратимые изменения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для исследования было выбрано 2 участка леса: средне-, поздне-сукцессионный осиново-пихтовый широколиственный лес, с одновозрастным поколением пихты в возрасте 80 – 100 лет, который в настоящее время распадается, и раннесукцессионный осинник, образовавшийся после вырубки пихтового леса около 70-ти лет назад. В ключевой участок в осиннике вошли также и пихтовые куртины, скорее всего оставленные при рубке в силу малого на тот момент возраста пихт. На участках размером 250x270 м и 250x300 м,

соответственно, были произведены промеры вывалов и деревьев с примерной оценкой возраста ветровала. Так же были зафиксированы плановые координаты каждого вывала, для создания схем пространственного распределения, что позволило дать характеристики их расположения и занимаемой ими площади.

Помимо двух выше описанных участков была исследована территория ложбины (115х20 метров), где произошел массовый ветровал (27 пихт) в 2008 году.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Было установлено, что в раннесукцессионных лесах значительно уменьшается вероятность появления вывалов. Так в «молодом» лесу современные вывалы осины, затронувшие текстурный горизонт, встречены всего в 3-х случаях. Остальные глубокие вывалы были связаны с пихтовыми недорубами и большая их часть имела возраст более 30 лет. Всего на участке было встречено 22 вывала. Подобная же закономерность подтверждена в ходе маршрутных исследований – раннесукцессионные экосистемы в черневом поясе характеризуются редкой встречаемостью вывалов. Осина чаще выпадает через ветролом. Иная картина в средне-, позднесукцессионном лесу, где встречено большое количество ветровалов, затронувших текстурный горизонт, и, в некоторых случаях, достигавших глубины 1 метра. На этом участке измерен 61 вывал, большинство из которых глубокие и имеют возраст менее 10 лет. Таким образом, интенсивность ветровального морфогенеза в старовозрастном лесу выше в 12 раз. Для наглядности была создана пространственная схема распределения ветровалов на ключевых участках с учетом степени затрагивания ВТ горизонта (рис. 1, 2).

Промеры глубин западин ветровалов осины и пихты показали различия между породами, продемонстрированные на рис. 3 и 4.

Кроме того, что вывалы пихт встречаются гораздо чаще, глубина западин в целом имеет большую величину. На рис. 4 выделяется диапазон глубин с наибольшей частотой встречаемости – от 21 до 50 см, что заметно превышает средние глубины вывалов осины.

Вывалы осины, согласно гистограмме, происходят редко и наибольшая частота встречаемости глубин лежит в диапазоне 21–30 см.

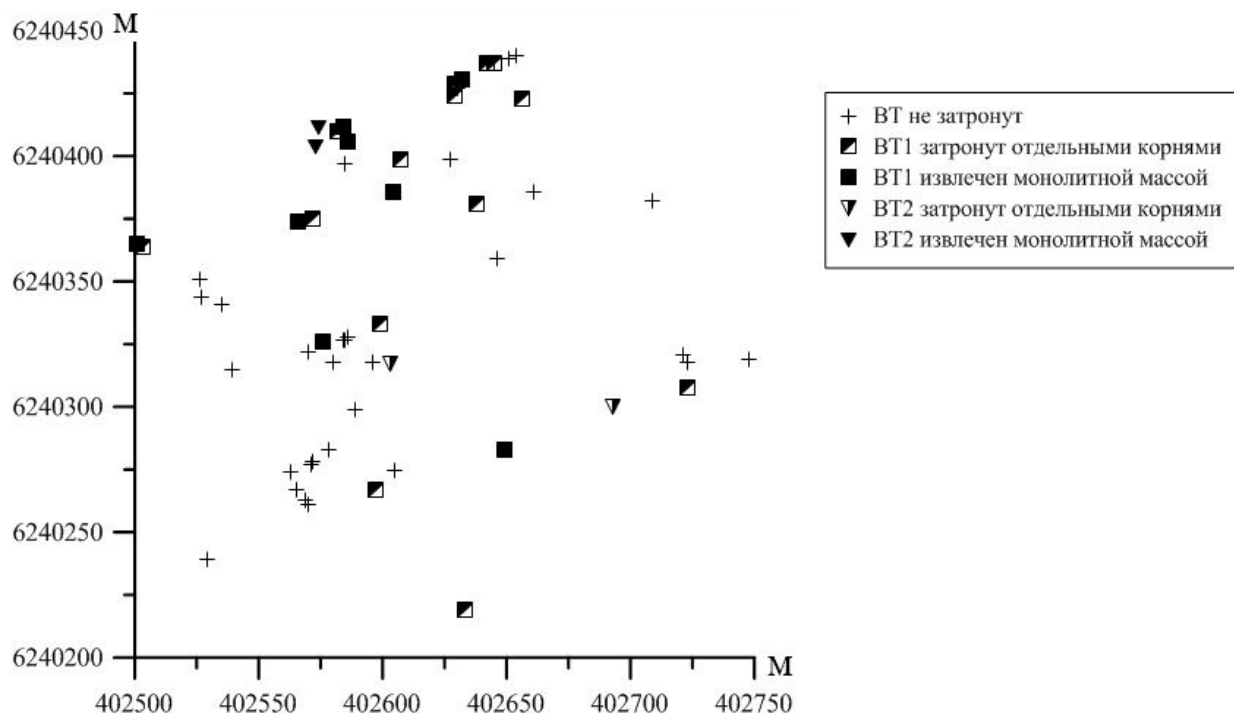


Рисунок 1. Распределение вывалов с учетом степени воздействия на гор. ВТ в средне-позднесукцессионном осиново-пихтовом широколиственном лесу.

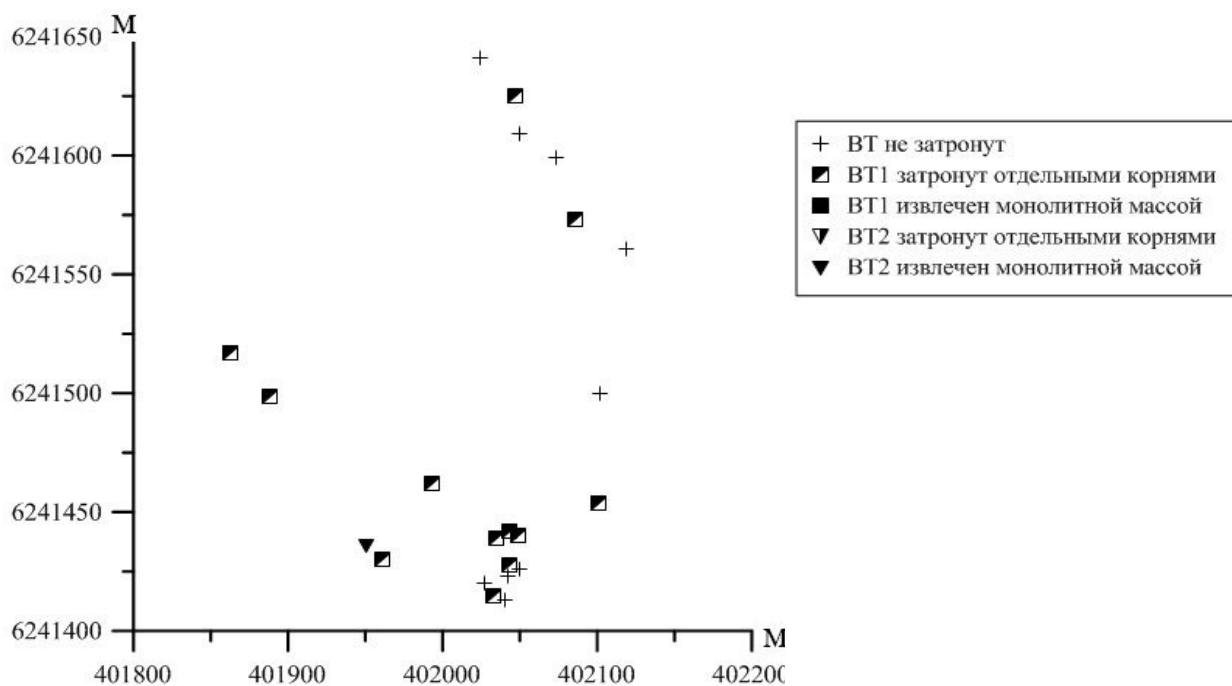


Рисунок 2. Распределение вывалов с учетом степени воздействия на гор. ВТ в раннесукцессионном осиннике возрастом около 70 лет на месте вырубki.

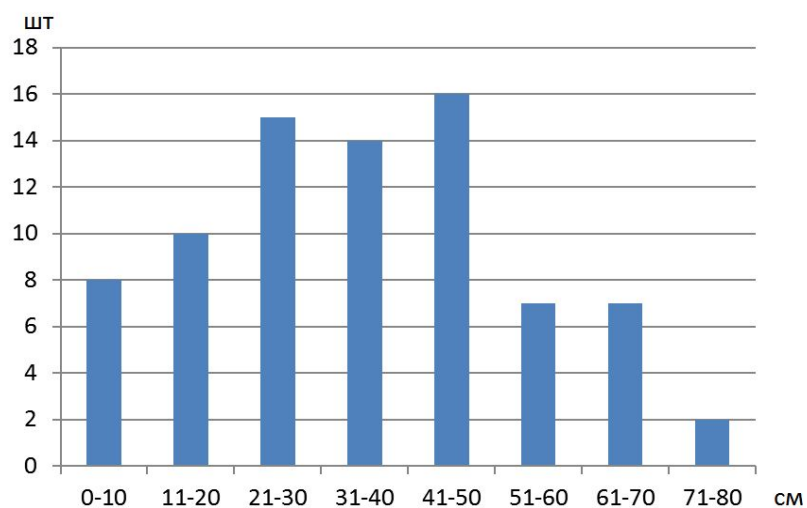


Рисунок 3. Частота встречаемости глубин западин вывалов пихт.

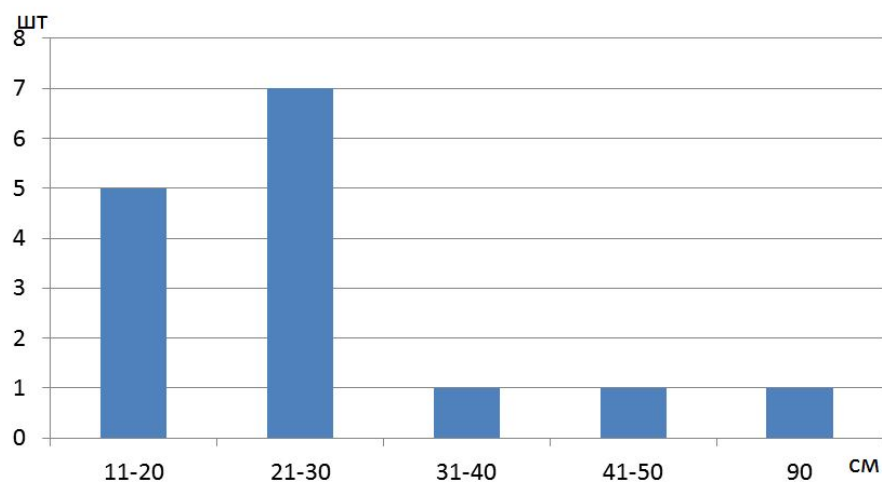


Рисунок 4. Частота встречаемости глубин западин вывалов осин.

Данные полученные по длине корней упавших деревьев позволили оценить максимальные глубины, на которых можно встретить морфологические элементы, связанные с вывалом (рис. 5). Во время исследований были отмечены отдельные корни деревьев длиной до 140 см, что сопоставимо с ранее отмеченными нами признаками ветровалов в почвенных траншеях и разрезах (Лойко и др., 2013; Бобровский и др., 2012).

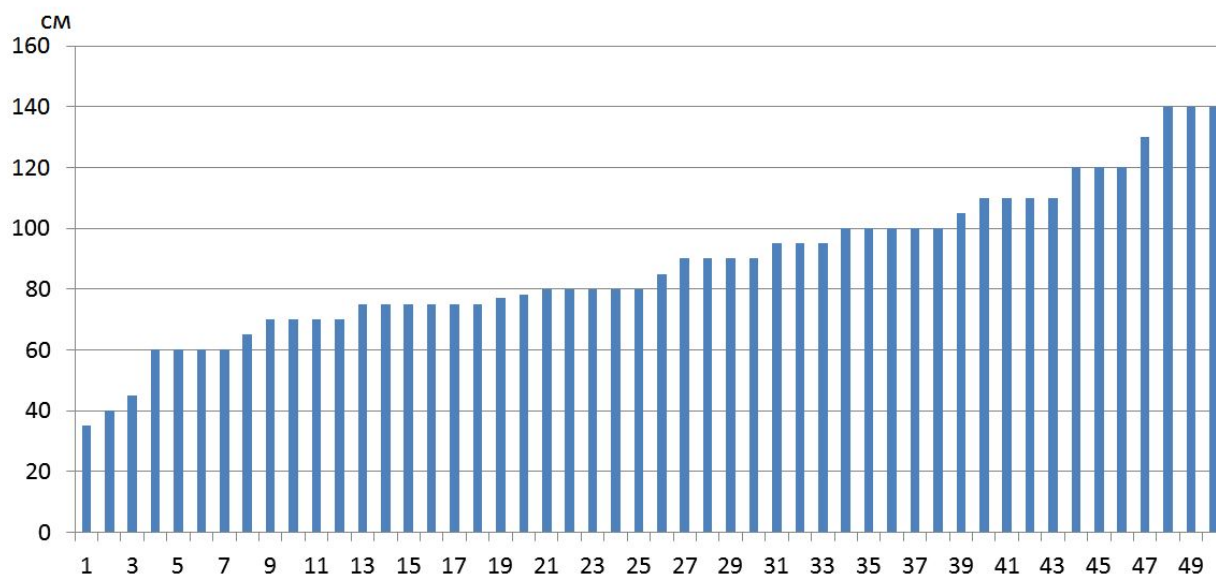


Рисунок 5. Максимальные глубины, затронутые вывалом.

По результатам промеров установлено, что в распадающемся средне-, позднесукцессионном пихтовом лесу ветровальный почвенный комплекс (ВПК) занимает 0.4 % площади участка. Согласно нашим подсчетам, после полного распада древостоя, площадь ВПК достигнет 1.2 %. Эта величина получена на фоне инвазии уссурийского полиграфа, из-за чего произошло усыхание части деревьев и увеличение доли ветролома в числе выпадающих деревьев. В фоновом режиме за 80–100 лет может сформироваться по площади до 1.5–2.0 % ВПК. Максимальные же величины площади ВПК были отмечены на участке компактного массового вывала по ложбине и её склонам, где было затронуто 7–8 % площади ПП, деревья не были повреждены стволовыми вредителями, а их возраст составлял 65–90 лет. Массовый вывал произошел во влажный год во время высокого стояния верховодки, из-за чего почва имела низкую связность и корни слабо выполняли якорную функцию.

Итого полный оборот площади ПП может происходить за период от 6024 лет (в случае постепенного выпадения на фоне инвазий вредителей, не приводящих к молниеносной катастрофе) до 1066 лет (в случае повторения массовых ветровалов в течение каждого поколения древостоя, то есть когда каждое поколение завершает жизнь массовым ветровалом при урагане). Реальная цифра, в зависимости от условий, находится в вышеуказанном диапазоне.

ВЫВОДЫ

1. Ветровальный морфогенез активнее протекает в лесах более позднего сукцессионного статуса;
2. В осиново-пихтовом лесу площадь затронутая ветровалами составила 0.4 %, против 0.03 % в осиннике без учета ветровалов пихты куртин;
3. За 100 лет ветровалом может быть пройдено до 2.0 % площади леса;
4. Оборот всей площади ПП может произойти за время от 1066 до 6024 лет.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бобровский М.В., Лойко С.В., Истигечев Г.И. Крицков И.В.* Следы ветровалов в темнотомусовых почвах заповедника «Калужские засеки» // Вестник ТГУ. Биология. Томск: ТГУ, № 4, 2013. С. 7–20.
2. *Гаджиев И.М., Дюкарев А.Г.* О своеобразии почв черневой тайги Томь-Яйского водораздела // География, плодородие, бонитировка почв Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1984. С. 56–79.
3. *Ковалев Р.В., Корсунов В.М., Шоба В.Н.* Процессы и продукты почвообразования в темнохвойных лесах. Новосибирск: Наука, 1981. 153 с.
4. *Корсунов В.М.* Генетические особенности глубокоподзолистых почв черневой тайги Салаира и некоторые элементы современного почвообразования // Лесные почвы горного окаймления юго-востока Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1974. С. 133–192.
5. *Лащинский Н.Н.* Растительность Салаирского кряжа. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. 263 с.
6. *Лойко С.В.* Географические особенности почв черневой тайги // Отражение био-, гео-, антропоферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове: Сборник материалов IV Всероссийской научной конференции с международным участием (1–5 сентября 2010 г.). Томск: ТМЛ-Пресс, 2010. Т.1. С. 159–162.
7. *Лойко С.В., Бобровский М.В., Новокрещеных Т.А.* Признаки ветровального морфогенеза в фоновых почвах черневой тайги (на примере Томь-Яйского междуречья) // Вестник ТГУ. Биология. Томск: ТГУ, № 24, 2013. С. 20–35.
8. *Лойко С.В., Герасько Л.И., Кулижский С.П., Амелин И.И., Истигечев Г.И.* Строение почвенного покрова северной части ареала черневой тайги юго-востока Западной Сибири // Почвоведение. 2015. № 4. С. 410–421.
9. *Назимова Д.И., Пономарев Е.И., Степанов Н.В., Федотова Е.В.* Черневые темнохвойные леса на юге Красноярского края и проблемы их обзорного картографирования // Лесоведение. 2005. № 1. С. 12–18.
10. *Лащинский Н.Н.* Растительность Салаирского кряжа. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. 263 с.
11. *Петров Б.Ф.* Почвы Кузнецкого Алатау. Почвоведение, 1946, II, с. 649.
12. *Соколов И.А.* Почвообразование и экзогенез. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1997. 244 с.

Работа рекомендована к.б.н. С.В. Лойко.

УДК 631.452 (571.15)

АНТРОПОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВ ПОДЗОНЫ ТИПИЧНЫХ И ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ ПЛОСКОВЕРШИННЫХ НИЗКОГОРИЙ АЛТАЯ

В.С. Карелина

Алтайский государственный аграрный университет, г. Барнаул

Черноземы плосковершинных низкогорий Алтая, вовлеченные в сельскохозяйственное производство, подвергаются антропогенной трансформации. Совместное действие водной эрозии и литологических особенностей территории приводит к образованию плужной подошвы и стратификации почв в аккумулятивных ландшафтах.

ВВЕДЕНИЕ

Более чем за 60 лет использования, целинные почвы подгорных и предгорных областей подверглись трансформации и степень их преобразования неоднородна в различных литологических и геоморфологических условиях. Это проявляется в изменении ос-

новых свойств черноземных почв: мощности гумусовых горизонтов, плотности сложения, содержания органогенных веществ. Взаимодействие антропогенных факторов и зональных климатических и литологических особенностей приводит к усиленным темпам деградации почв, не только агрогенных, но и находящихся в естественных ландшафтах.

Для Алтайского края антропогенная трансформация почв, наиболее детально изучена для степной и лесостепной зоны, значительно менее подробно проведены исследования в пределах предгорных и подгорных областей [1]. В работе используется субстантивно-генетическая классификация почв России [2], поскольку в ней находят отражение различные типы антропогенно преобразованных почв. В связи с этим целью работы являлось изучение современных процессов почвообразования и антропогенной трансформации почв подзоны типичных и выщелоченных черноземов плосковершинных низкогорий Алтая.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Предгорная зона Алтайского края обладает высокой неоднородностью почвенного покрова, связанной с климатическими, геохимическими и литологическими особенностями, здесь выделяют 2 подзоны и 16 почвенных районов [1]. Объектом исследования послужили почвы 35-го почвенного района. Он расположен в южной части Алтайского края, на территории Чарышского района, между Башчелагским и Тигирикским хребтами. Макрорельеф – плосковершинное низкогорье, с холмами и увалами. Почвообразующие породы представлены бурыми глинами – отложениями четвертичного периода делювиально-элювиального происхождения, местами наблюдается выход более древних пород. В связи с резкими перепадами высот, в среднем от 200 м до 900 м, данная территория обладает высокой степенью расчленения рельефа, расстояние между понижениями достигает 0.5–0.7 км [3]. Территория характеризуется высокой степенью увлажнения $ГТК_1=1.8$, $ГТК_2=1.7$, годовая сумма осадков в среднем достигает 600 мм. В зимний период почва глубоко промерзает до 1.5–2 м, и долго оттаивает [4]. Естественная растительность – луговое разнотравье, представленное более чем 60 видами растений. Из древесных пород встречаются: сосна обыкновенная, лиственница сибирская, береза пониклая и различные кустарники.

Основную часть почвенного покрова занимают горные черноземы – 42.7 %, черноземы типичные – 17.5 %, черноземы выщелоченные – 12.9 %, черноземы скелетные – 10.8 %, лугово-черноземные – 3.5 %, а также в небольших количествах темно серые лесные, дерново-подзолистые, аллювиальные почвы. Мощность гумусовых горизонтов, на момент последнего крупномасштабного почвенного картирования, в среднем составляла 70–80 см, содержание гумуса 7.6–8.7 % [1].

В работе использованы сравнительно-аналитический и полевой методы исследований.

Современное состояние почв исследуемой территории оценивалось на основе проведенных в июле 2015 г. полевых исследований, было заложено и проанализировано 6 полнопрофильных разрезов и 1 прикопка, заложенных на основных элементах рельефа, характерных для данной территории. Для характеристики почв определялись следующие показатели: актуальная кислотность ($pH_{водн}$), сумма поглощенных оснований, поглощенные кальций и магний, подвижные формы фосфора и калия, содержание гумуса, валового азота и фосфора по Тюрину, а также гранулометрический состав. Анализы проводились при помощи общепринятых методик [5].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Вершины холмов и увалов в связи с высокой расчлененностью рельефа и степенью уклона поверхности достигающей 20 %, не подвергаются распахиванию, это подтверждают данные карт сельхозугодий хозяйства. В таких условиях формируются черноземы миграционно-сегрегационные [2], обладающие характерной для целинных почв зернистой структурой, высоким содержанием гумуса (7.6 %), постепенным подщелачиванием почвенного раствора с глубиной от $pH_{водн}$ 6.5 до $pH_{водн}$ 8.0, обладающих аккумулятивным характером распределения органогенных элементов по профилю. Такие почвы не подвер-

гаются антропогенной трансформации в отличие от почв, находящихся под сельскохозяйственными угодьями.

Развитие эрозионно-денудационных процессов в условиях увалисто-холмистых равнин, образующихся в ходе деятельности человека, способствует формированию широкого спектра антропогенно-преобразованных почв [6]. Помимо агрочерноземов формируются такие типы, как агроземы и стратоземы. В пределах транс-элювиальных ландшафтов на границе раздела пахотных земель отмечаются признаки преобразования почвы. В верхнем горизонте PU и частично в RU_{ad} на глубине до 30 см, наблюдается слоистый характер распределения гумуса, на глубине 20 см отмечается увеличение на 0.2 %, с последующим уменьшением до содержания аналогичного верхнему горизонту. Подобные явления свидетельствуют о протекании стратификационных процессов [2]. Переуплотнение подпахотных горизонтов, говорит об изменении почвы, связанном с антропогенной деятельностью. На схожих элементах рельефа с более высокой крутизной склона достигающей 18–19° почвы более подвержены воздействию эрозионных процессов. Согласно субстантивно-генетической классификации здесь диагностирован агрозем темного гумусовый [2], обладающий низкой мощностью гумусового слоя, не превышающего 19 см. В условиях интенсивного смыва гумусового слоя почвы и вовлечение в распашку нижележащего подпахотного горизонта формируется резкий переход по цвету. Темноокрашенный гумусированный на 6.0 % горизонт, сменяется светлым, бурым с содержанием гумуса – 1.0 %. На глубине 7 см и ниже обнаружен сильно переуплотненный слитый горизонт, его формирование обусловлено весенним переувлажнением, связанным с глубоким промерзанием. К моменту ранневесенней обработки почвы, верхние горизонты обладают физической спелостью, однако нижние остаются избыточно влажными и во время прохода тяжелой сельскохозяйственной техники они значительно уплотняются, за счет глинистого гранулометрического состава. Такая почва теряет агрономически ценную структуру, образуя комковато-глыбистую, слитую, непригодную для возделывания сельхоз культур.

Эрозионные процессы проявляются не только смывом верхних гумусовых горизонтов почв находящихся на транс-элювиальных элементах ландшафта, но и обратными процессами намыва. Почва переносится с верхних частей склона на элементы рельефа, приуроченные к транс-аккумулятивным ландшафтам, и формирует мощный стратифицированный слой. Привнесенная почва через каждые 10 см различается по содержанию гумуса, органических элементов питания, реакции почвенного раствора, гидролитической кислотности, что свидетельствует о длительном процессе стратификации. Таким образом, происходит формирование погребенных почв под мощным намытым слоем, который в пределах пахотных территорий достигает 110 см, согласно субстантивно-генетической классификации, данные почвы диагностируются как агростратоземы [2]. Под слоем намытой почвы на глубине 130 см обнаружены пятна поверхностного оглеения, которые обусловлены глубоким переувлажнением и промерзанием почвы, доказывающим генезис агропереуплотнения. Естественная растительность тормозит водные потоки, благодаря чему стратификация почв происходит несколько слабее. В ходе работы было заложено два разреза на границе пахотных земель, один из которых располагался на поле, где мощность намытого слоя достигала 120 см, а другой на нераспахиваемой территории с меньшей мощностью 100 см. Таким образом, выявлено, что преобразованию подвергаются не только почвы, находящиеся под прямым антропогенным воздействием, но и сопряженные с ними почвы естественных ландшафтов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ морфологических и физико-химических свойств почв позволил выявить несколько типов антропогенно-преобразованных почв в исследуемой подзоне. Антропогенная трансформация почв в условиях значительной расчлененности рельефа выражается в активизации процессов эрозионной деградации и водно-эрозионной аккумуляции, что способствует формированию агроземов, агростратоземов и стратифицированных агро-

черноземов. Развитие процессов агропереуплотнения обусловлено тяжелым гранулометрическим составом почвообразующих пород и значительными весенними запасами влаги. Процессам антропогенной трансформации подвержены не только пахотные почвы, но и почвы естественных биоценозов, геоморфологически сопряженные с пашней.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Почвы Алтайского края.* – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – 382 с.
2. *Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И.* Классификация и диагностика почв России. – Смоленск: Ойкумена, 2004, 342 с.
3. *Атлас Алтайского края.* Москва-Барнаул: Главное управление геодезии и картографии при совете министров СССР, 1978 г.
4. *Агроклиматический справочник* Алтайского края, – Гидропроиздат, 1987., 87 с.
5. *Агрохимические методы* исследования почв. М., «Наука», 1975 г.
6. *Васенев И.И., Неклюдова А.В., Таллер Е.Б.* Агрогенные процессы деградации черноземов в условиях представительного агроландшафта северо-восточной части ЦЧР. Вестник Курской с.-х. академии. 2011. № 1. – 312 с.

Работа рекомендована д.с.-х.н., профессором Е.Г. Пивоваровой.

УЧАСТИЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО МУЗЕЯ ПОЧВОВЕДЕНИЯ ИМ. В.В. ДОКУЧАЕВА В ПОДГОТОВКЕ СТУДЕНТОВ-ПОЧВОВЕДОВ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Г.А. Касаткина¹, Н.Н. Федорова¹, Е.А. Русакова²

¹Институт наук о Земле СПбГУ

²ФБГНУ Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева

Тесная связь Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева и Санкт-Петербургского государственного университета сложилась исторически и является неотъемлемой частью плодотворного сотрудничества на протяжении всего времени существования Музея, начиная с его открытия.

Выпускник отделения естественных наук физико-математического факультета Императорского Санкт-Петербургского университета, а затем и его профессор, В.В. Докучаев с 1879 г. прилагал большие усилия к организации почвенного учреждения – Музея. Спустя 25 лет, уже после смерти основателя науки о почве, стараниями близкого ученика В.В. Докучаева П.В. Отоцкого удалось воплотить эту мечту в жизнь, и 6 ноября 1904 г. состоялось официальное открытие Педологического музея Императорского Вольного Экономического Общества. Основой экспозиции Музея послужила коллекция почвенных образцов и монолитов, собранная профессором Университета В.В. Докучаевым и его учениками в экспедициях, начиная с 70-х гг. XIX века. Отобранный материал частично был обработан, экспонировался в городах России, а также в Париже, Чикаго и сыграл выдающуюся роль в пропаганде генетического почвоведения в странах Европы и Америки. Большая же часть коллекции находилась в Минералогическом кабинете Университета, в университетских подвалах и сараях. Пока этим кабинетом заведовал В.В. Докучаев, положение дел было терпимым, но после его ухода встал вопрос о судьбе ценных экспонатов. Логично было бы создать Почвенный музей при Университете и хранить в нем коллекцию В.В. Докучаева, что и было сделано в 1902 г., при поддержке физико-математического факультета и Совета Университета. Но концепция основания Музея при Университете включала ряд условий, не позволивших П.В. Отоцкому, а к тому времени

коллекция была передана ему, пожертвовать почвенными сокровищами. В этот момент на помощь пришло Вольное Экономическое Общество, были выделены средства и помещение для оборудования Музея. Выпускник Университета П.В. Отоцкий стал первым заведующим первого официального почвенного учреждения в мире – Музея почвоведения.

Павел Владимирович Отоцкий заведовал Музеем со дня его основания по 1912 г. И в дальнейшем заведующими (директорами) Музея часто становились преподаватели или выпускники Университета, что способствовало укреплению исторически сложившихся связей. С 1912 по 1918 гг. Музеем заведовал Александр Матвеевич Панков – выпускник естественного отделения физико-математического факультета Университета. Борис Борисович Полынов, в 1908 г. получивший диплом первой степени, а затем в 1923 г. защитивший магистерскую диссертацию в Университете, был заведующим с 1925 по 1932 гг. С 1959 по 1963 гг. руководил Музеем Афанасий Иванович Марченко – аспирант Университета, там же защитивший кандидатскую диссертацию. С 1976 г. Музей возглавляет выпускник Университета, профессор Борис Федорович Апарин, который в настоящее время является и заведующим кафедрой почвоведения и экологии почв СПбГУ.

Выпускники Университета, его преподаватели и аспиранты, как правило, формировали костяк научного коллектива Музея. И сегодня большинство сотрудников Музея – питомцы Университета и кафедры Почвоведения. Поэтому Музей почвоведения всегда играл важную роль в образовании студентов Санкт-Петербургского университета, особенно в подготовке почвоведов.

Студенты кафедры почвоведения и экологии почв Университета начинают знакомство с Музеем уже на первом курсе. Здесь происходит посвящение их в почвоведы. Студентов знакомят с основателем нашей науки В.В. Докучаевым. О нем в Музее есть замечательный фильм. Затем проводится небольшая обзорная экскурсия по Музею, чтобы будущие почвоведы приобщились к царству почв и узнали, что и под землей, оказывается, есть жизнь. На это посвящение приходят преподаватели кафедры почвоведения и экологии почв, чтобы рассказать о своих научных исследованиях и об участии в них студентов.

Во втором семестре студенты начинают слушать курс «Почвоведение» (проф. Б.Ф. Апарин). Часть практических занятий проходит в Музее. Здесь они на специальных стендах узнают из каких фаз состоит почва, понимают сложность строения почвенного профиля, впервые пытаются выделить генетические горизонты на почвенных монолитах и провести морфологическое описание почв. Эти навыки по описанию почв студенты используют летом на полевой практике.

В рамках дисциплины «Почвообразующие породы» (проф. Н.Н. Матинян) уже на втором курсе студенты изучают на практических занятиях в Музее почвообразующие породы основных природных зон России. В курсе «Почвоведение» студенты на монолитах знакомятся с главными типами почв природных зон. На практических занятиях они разбирают, какие генетические горизонты характерны для каждого зонального типа почв, проводят морфологический анализ их профилей. На зачетном практическом занятии студенты получают «слепой» монолит. Они должны определить строение почвенного профиля описать его по морфологическим признакам, дать название генетическим горизонтам и почве в целом.

При изложении дисциплины «География почв» (доц. Г.А. Касаткина) также используется богатейшая коллекция Музея для знакомства с почвами мира. В этом курсе студенты изучают почвенный покров различных почвенных областей географических поясов мира. Исследуют разнообразие почв, а также особенности почвенного покрова различных почвенно-экологических областей в пределах географического пояса. Студенты должны уметь не только дать морфологическую характеристику почвы (определить строение профиля, выделить генетические горизонты и назвать почву по современной классификации), но и объяснить в каких природных условиях может образоваться данная почва и какие процессы ее формируют. На зачетном занятии студенты также получают «слепой» монолит, описывают и называют почву, определяют в какой природной зоне и области эта почва формируется, рассказывают об основных факторах и процессах почвообразования.

Коллекция почв Музея используется и в подготовке магистрантов по образовательной программе Почвоведение. Курсы «Красная книга почв» и «Почвы Ленинградской области» (доц. Е.Ю. Сухачева) невозможно квалифицированно и интересно прочитать, не опираясь на обширный, разнообразный и уникальный материал, представленный в экспозиции Музея и хранящийся в его запасниках.

Большое значение в формировании будущих почвоведов играют практики-экспедиции. Почти все наши студенты (бакалавры старших курсов и магистранты) принимают участие в экспедициях, которые организуются преподавателями кафедры почвоведения и экологии почв совместно с сотрудниками Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева. Преподаватели Кафедры и научные сотрудники Музея решают вместе важные научные задачи. Это и подготовка маршрутов ко 2-му Съезду почвоведов России, и создание «Красной книги почв Ленинградской области», и изучение свойств элювиальных горизонтов почв, и верификация современной «Классификации и диагностики почв России» (совместно с почвоведом г. Москвы) и т.д. Во всех этих экспедиционных работах активное участие принимали студенты кафедры, многие из них собирали материал для выпускных квалификационных работ и затем успешно их защищали. Традиционно сотрудники Музея участвуют в руководстве выпускными квалификационными работами, выполняемыми студентами Кафедры. Лаборатория Музея служит аналитической базой для выполнения выпускных квалификационных работ некоторыми студентами Кафедры.

Важным элементом обучения студентов является их участие в подготовке и проведении Докучаевских молодежных чтений. Студенты, аспиранты и молодые сотрудники Кафедры и Музея составляют организационный комитет Чтений, самостоятельно определяют тему будущей конференции и ведут всю организационную работу. Ряд секций Докучаевских молодежных чтений проводятся в Музее, так уже в течение пяти лет школьная секция традиционно проходит в Музее, сотрудники которого являются ее кураторами. В рамках Чтений на базе Музея организуются Круглые столы, посвященные обсуждению наиболее значимых проблем почвоведения. Тематика Круглых столов весьма интересна и разнообразна: «Современная классификация почв России», «Городские почвы, их генезис, свойства и классификация», «Продовольственная безопасность России», «Интеграция российской молодежи в международное научное сообщество почвоведов», «Роль молодых ученых в популяризации науки о почве в Международный год почв» и т. д.

Коллекции Музея широко используются в подготовке студентов биологического факультета и Института наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, главным образом при изложении курсов «Почвоведение», «География почв», «Мелиорация», «Землеустройство и кадастр», «Экология». Экспозиция Музея рассматривается как источник информации о роли факторов природной среды в формировании почв, о морфологических признаках главных зональных типов почв, об особенностях городских почв, о развитии антропогенных изменений в почвах, приводящих к их загрязнению, эрозии, деградации. Обучение студентов базируется либо на проведении практических занятий с использованием почвенных монолитов, либо на организации тематических экскурсий с привлечением научных сотрудников Музея. Полученные знания студенты достаточно успешно применяют при знакомстве с почвами в природе во время летней полевой практики.

Студенты кафедры почвоведения и экологии почв Университета – частые и желанные посетители Музея. Они настолько хорошо знакомы с его экспозицией и коллекциями, благодаря постоянному их использованию в учебном процессе, что нередко становятся экскурсоводами и знакомят посетителей Музея с удивительным и загадочным миром почв. Студенты и выпускники Университета регулярно выступают в роли волонтеров на общегородских мероприятиях Музея, таких как «Ночь музеев» и «Детские дни в музеях города».

Коллективы Музея и Кафедры объединяет активное и плодотворное сотрудничество. В настоящее время преподаватели Кафедры при тесном взаимодействии с сотрудниками Музея участвуют в подготовке к проведению Международного года почв 2015 и ежегодно отмечаемому 5 декабря Всемирному Дню Почв.

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ЗАСОЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ПОЧВ
В ЗАПАДНОМ ОКРУГЕ МОСКВЫ

Н.Ю. Кислякова, Н.Е. Кошелева, Е.В. Терская

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Исследовано засоление городских почв, вызванное использованием противогололедных реагентов (ПГР) на дорогах с разной интенсивностью движения и во дворах с парковками автотранспорта. Опробован поверхностный (0–10 см) слой почв в Западном округе Москвы весной и в начале осени. Отмечено усиление щелочности городских почв относительно фоновых аналогов, которое характеризуется в осенний период увеличением pH в среднем на 1.35 единицы. В составе водной вытяжки весной доминируют Na^+ , Ca^{2+} , HCO_3^- , Cl^- и NO_3^- , а осенью Ca^{2+} , Mg^{2+} и HCO_3^- .

ВВЕДЕНИЕ

Одной из экологических проблем северных городов является развитие в почвах антропогенного галогенеза, вызванное применением противогололедных реагентов (ПГР) [1, 4, 7, 8]. Поступление легкорастворимых солей негативно сказывается на экологических функциях почв. Так, в засоленных почвах возрастает подвижность ряда загрязнителей, в частности, ПАУ и тяжелых металлов, что способствует их миграции в сопредельные среды [2, 5, 9]. Засоление городских почв вредит зеленым насаждениям, приводя к деградации, усыханию и гибели растений [8].

Процессы засоления почв в северных городах нуждаются в специальном изучении, поскольку по сравнению с аридной зоной они имеют свои особенности. Основные вопросы, требующие рассмотрения: радиальное и латеральное распределение легкорастворимых солей, интенсивность их вымывания из почвенного профиля в теплый период, формирование солевых аномалий в почвенном покрове, многолетние тренды засоления городских почв.

Цель данной работы – исследовать сезонную динамику накопления легкорастворимых солей в придорожных почвах и во дворах жилых домов с парковками автотранспорта. В основу работы положены результаты почвенно-геохимических исследований, выполненных в Западном административном округе (ЗАО) Москвы весной, после схода снежного покрова и в начале осени 2015 г. Для достижения цели решались следующие задачи:

- определение основных свойств почв, характеризующих засоление: состав водной вытяжки, pH, TDS и др.;
- выявление зависимости антропогенного засоления почв от размера дорог;
- оценка сезонных колебаний в уровне засоления почв.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

Большая часть изучаемой территории была расположена в пределах Теплостанской возвышенности, относящейся к Москворецко-Окской полого-увалистой равнине, рельеф и геологическое строение которой во многом определяются особенностями развития московской стадии ледникового покрова. Исследуемая территория относится к подзоне южной тайги, естественный почвенный покров представлен дерново-подзолистыми почвами. В настоящее время он перекрыт культурным слоем, на котором сформировались своеобразные антропогенные почвы [6].

ЗАО характеризуется довольно плотной дорожной сетью, здесь проходит несколько крупных автомагистралей. Применяемые в Москве реагенты хлоридной группы не менее чем на 93 % состоят из технической поваренной соли [7]. Обычно соль смешивается с мраморной крошкой, которая после таяния снежного покрова маркирует места внесения ПГР.

Исследования выполнены при поддержке Русского географического общества – договор № 07/2014-П1.

© Н.Ю. Кислякова, Н.Е. Кошелева, Е.В. Терская, 2017

Образцы почв из поверхностного (0–10 см) слоя отбирались в трех районах округа – Крылатском, Можайском и Ново-Переделкином в конце апреля и в сентябре 2015 года в одних и тех же точках. Этот слой является наиболее уязвимой частью профиля почвы и одновременно наиболее важной при выполнении ею экологических функций. Точки отбора проб были выбраны вблизи автодорог с разной интенсивностью движения: 4 – вблизи МКАД, 10 – на крупных, 5 – на средних дорогах, 7 – во дворах. Образцы представляли собой смешанную пробу, состоящую из 3–5 индивидуальных [4]. В Одинцовском районе Московской области, в 35–38 км к западу от МКАД было отобрано 11 фоновых проб.



Рисунок 1. Ключевые участки опробования ЗАО Москвы:
а – Можайский, б – Ново-Переделкино, в – Крылатское;
треугольниками обозначены точки пробоотбора

Углерод органических соединений определялся методом Тюрина, состав анионов (HCO_3^- , NO_3^- , Cl^- , HPO_4^{2-} , SO_4^{2-}) – на ионном хроматографе «Стайер» с пределом детектирования по хлорид-иону 0.02 мг/л, катионы Na^+ и K^+ – с помощью метода пламенной фотометрии, а Ca^{2+} и Mg^{2+} – комплексонометрически, общее количество растворённых частиц – Total Dissolved Solids (TDS) – кондуктометрически на приборе «SevenEasy S30», Mettler Toledo (с погрешностью $\pm 0.5\%$), pH – потенциометрически на pH-метре «ЭКСПЕРТ-pH» (с погрешностью ± 0.07 ед. pH).

Полученные экспериментальные данные обрабатывались методами вариационной статистики с использованием пакета STATISTICA 10. По содержанию основных ионов в водной вытяжке $C_{\text{гор}}$ вычислялись коэффициенты накопления относительно фона $C_{\text{фон}}:K_c = C_{\text{гор}}/C_{\text{фон}}$. Содержание плотного остатка P_v в пробе рассчитывалось путем суммирования содержаний ионов C_i с учетом их молярной массы M_i : $P = \sum C_i \cdot (M_i/\text{заряд})/1000$. Степень засоления определялась по методике [3].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Реакция среды в почвах ЗАО была нейтральная и слабощелочная, тогда как в фоновых почвах она оставалась слабокислой (рис. 2а). Весной самое сильное подщелачивание почв наблюдалось вблизи крупных автомагистралей и во дворах с парковками. Осенью pH увеличивалось в среднем на 0.7 единиц с максимумом pH = 8 на внутрирайонных улицах и крупных автомагистралях. Это связано с большим поступлением карбонатной строительной пыли в течение летнего сезона. Дополнительный вклад в величину водородного показателя вносила карбонатная крошка, попадающая на дороги вместе с солями в составе ПГР. Летом она механически измельчается машинами и пешеходами и попадает в почву.

В весенний сезон все исследуемые почвы были засолены довольно равномерно, осенние образцы отличаются меньшими значениями плотного остатка – в среднем по округу на 0.04 % (рис. 2б). Это обусловлено промыванием почвы и удалением из верхнего слоя легкорастворимых солей в течение летне-осеннего сезона, при этом вымывание солей из почв было наиболее интенсивным вблизи МКАД из-за лучших условий дренирования.

Если в водной вытяжке из фоновых почв весной преобладали катионы Ca^{2+} и анионы HCO_3^- и NO_3^- , то в ЗАО Москвы максимальная аккумуляция была характерна для катионов Na^+ и Ca^{2+} , среди анионов доминировали HCO_3^- , Cl^- и NO_3^- (табл. 1). При этом поверхностный слой городских почв отличался многократным увеличением содержания Na^+ и Cl^- за счет ПГР. Их накопление было максимально вблизи крупных и средних дорог ($K_{\text{CaNa}} = 10.6$ и 9.1 ; $K_{\text{Cl}} = 3.0$ и 2.8 , соответственно). Дворы отличались меньшими концентрациями этих ионов – $K_{\text{CaNa}} = 6.8$, $K_{\text{Cl}} = 1.9$. Повсеместно высокое содержание NO_3^- было связано с внесением смеси из почвы и торфа, а HCO_3^- – с выпадениями карбонатной строительной пыли [1].

Таблица 1. Величины pH, TDS и среднее содержание легкорастворимых солей (ммоль/100 г почвы) в поверхностном (0–10 см) слое почв Одинцовского района Московской области и ЗАО Москвы, весна 2015 г.

Показатель	pH	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	HCO_3^-	Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	TDS, $\mu\text{S}/\text{cm}$	Плотный остаток, %
Одинцовский район, фон (n = 11)											
Среднее	6.3	0.08	0.09	0.46	0.15	0.25	0.09	0.25	0.03	66.9	0.05
Min	6.0	0.01	0.02	0.33	0.03	0.18	0.03	0.18	0.01	42.3	0.04
Max	6.9	0.25	0.22	0.63	0.34	0.42	0.20	0.42	0.07	143.9	0.08
МКАД (n = 4)											
Среднее	6.9	0.60	0.08	0.62	0.38	0.67	0.24	0.68	0.03	224.8	0.13
Min	6.5	0.35	0.06	0.33	0.30	0.36	0.12	0.36	0.02	105.0	0.07
Max	7.4	0.73	0.12	0.90	0.51	1.02	0.39	1.02	0.06	307.0	0.19
Kc	–	7.7	1.0	1.3	2.5	2.7	2.8	2.7	1.1	–	2.6
Крупные автомагистрали (n = 10)											
Среднее	7.1	0.83	0.10	0.71	0.32	0.83	0.33	0.75	0.06	261.6	0.19
Min	6.3	0.45	0.04	0.34	0.06	0.6	0.13	0.6	0.02	122.7	0.10
Max	7.7	0.95	0.20	1.68	0.85	1.51	0.61	1.08	0.21	518.0	0.26
Kc	–	10.6	1.1	1.5	2.1	3.3	3.9	3.0	2.1	–	3.8
Внутрирайонная дорожная сеть (n = 5)											
Среднее	7.1	0.71	0.10	0.62	0.27	0.73	0.22	0.74	0.05	212.5	0.14
Min	6.6	0.54	0.06	0.28	0.09	0.54	0.09	0.54	0.03	98.0	0.09
Max	8.0	0.97	0.13	0.82	0.51	0.96	0.44	1.02	0.06	387.0	0.19
Kc	–	9.1	1.2	1.3	1.8	3.0	2.6	3.0	1.7	–	2.8
Дворы с автостоянками (n = 7)											
Среднее	7.2	0.53	0.1	0.7	0.37	0.87	0.15	0.7	0.05	174.0	0.14
Min	6.6	0.32	0.06	0.25	0.09	0.6	0.05	0.58	0.02	95.0	0.09
Max	7.7	0.81	0.14	1.14	0.67	1.74	0.57	1.08	0.08	225.0	0.25
Kc	–	6.8	1.1	1.5	2.5	3.5	1.7	2.8	1.9	–	2.8
В целом по ЗАО (n = 26)											
Среднее	7.1	0.67	0.31	0.66	0.34	0.78	0.24	0.72	0.05	218.2	0.15
Min	6.5	0.42	0.06	0.30	0.14	0.53	0.1	0.52	0.02	105.2	0.09
Max	7.7	0.87	0.15	1.14	0.64	1.31	0.50	1.05	0.10	359.3	0.22
Kc	–	8.55	1.1	1.4	2.2	3.1	2.8	2.9	1.7	–	3.0

Примечание. n – число проб

Осенью в водной вытяжке городских почвах доминирующими катионами являлись Ca^{2+} , Mg^{2+} и Na^+ , а анионами – HCO_3^- и Cl^- , однако по сравнению с весной содержание Cl^- , NO_3^- и Na^+ в водной вытяжке уменьшилось, что можно объяснить их высокой подвижностью (табл. 2). Средний по округу коэффициент K_{CaNa} снизился с 8.55 весной до 5.8 осенью, K_{Cl} – с 2.8 до 2.3, K_{NO_3} – от 2.9 до 0.4. Такая динамика свидетельствовала о выносе легкорастворимых солей и сезонном рассолении верхнего слоя почвы. Содержание Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- в водной вытяжке, напротив, по сравнению с весенним сезоном возрастало: величина K_{HCO_3} в целом по ЗАО увеличивалась с 3.1 до 3.7, $K_{\text{Ca}^{2+}}$ с 1.4 до 1.6, $K_{\text{Mg}^{2+}}$ с 2.2 до 3.3.

Таблица 2. Величины pH, TDS и среднее содержание легкорастворимых солей (ммоль/100 г почвы) в поверхностном (0–10 см) слое почв Одинцовского района Московской области и ЗАО Москвы, осень 2015 г.

Показатель	pH	Na ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	TDS, μ S/cm	Плотный остаток, %
Одинцовский район, фон (n = 11)											
Среднее	6.3	0.08	0.09	0.46	0.15	0.25	0.09	0.25	0.03	66.9	0.05
Min	6.0	0.01	0.02	0.33	0.03	0.18	0.03	0.18	0.01	42.3	0.04
Max	6.9	0.25	0.22	0.63	0.34	0.42	0.20	0.42	0.07	143.9	0.08
МКАД (n = 4)											
Среднее	7.4	0.27	0.07	0.94	0.31	0.68	0.22	0.09	0.04	183.9	0.09
Min	7.1	0.17	0.05	0.78	0.16	0.51	0.14	0.02	0.02	109.4	0.06
Max	7.5	0.47	0.11	1.11	0.63	0.76	0.34	0.15	0.05	237.0	0.10
Kc	–	3.5	0.8	2.0	2.0	2.3	2.6	0.4	1.4	–	–
Крупные автомагистрали (n = 10)											
Среднее	7.7	0.50	0.09	0.66	0.55	0.90	0.23	0.05	0.06	241.4	0.10
Min	7.0	0.15	0.05	0.35	0.01	0.70	0.04	0.004	0.03	171.5	0.08
Max	7.9	0.88	0.16	1.06	1.11	1.30	0.46	0.12	0.10	443.0	0.13
Kc	–	6.5	1.0	1.4	3.6	3.6	2.7	0.2	2.1	–	–
Внутрирайонная дорожная сеть (n = 5)											
Среднее	7.9	0.56	0.09	0.81	0.49	1.05	0.25	0.04	0.05	262.1	0.12
Min	7.6	0.12	0.07	0.53	0.03	0.70	0.01	0.02	0.03	144.3	0.07
Max	8.0	1.01	0.13	1.45	0.78	1.62	0.52	0.09	0.07	402.0	0.18
Kc	–	7.3	1.0	1.8	3.2	4.2	2.9	0.2	2.0	–	–
Дворы с автостоянками (n = 7)											
Среднее	7.6	0.39	0.09	0.65	0.53	0.95	0.09	0.19	0.05	200.2	0.11
Min	7.4	0.24	0.05	0.31	0.03	0.72	0.02	0.02	0.02	147.1	0.09
Max	7.9	0.49	0.14	1.02	0.83	1.40	0.17	0.82	0.10	415.0	0.15
Kc	–	5.0	1.0	1.4	3.5	3.8	1.0	0.8	1.7	–	–
В целом по ЗАО (n = 26)											
Среднее	7.7	0.45	0.08	0.73	0.50	0.91	0.19	0.09	0.05	225.4	0.10
Min	7.0	0.12	0.07	0.31	0.01	0.51	0.01	0.004	0.02	109.4	0.06
Max	8.0	1.01	0.13	1.45	1.11	1.62	0.52	0.82	0.10	443.0	0.18
Kc	–	5.8	1.0	1.6	3.3	3.7	2.3	0.4	1.8	–	–

Примечание. n – число проб

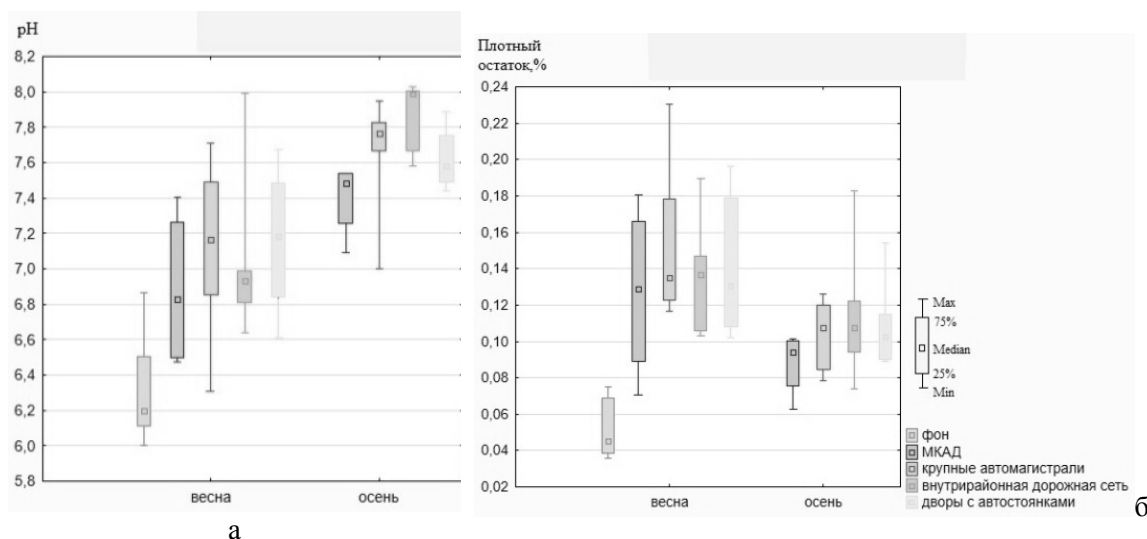


Рисунок 2. Диаграмма размаха значений pH (а) и плотного остатка (б) в поверхностном слое фоновых почв и почв ЗАО вблизи автодорог и во дворах (данные для весны и осени 2015 г.)

88.5 % весенних проб в ЗАО относятся к категории слабого засоления (плотный остаток не превышает 0.2 %), лишь в одном образце засоление отсутствует. В остальных точках пробоотбора сумма солей почти одинакова – 0.13–0.14 %. Наибольший плотный остаток

характерен для крупных дорог – 0.26 %, что больше фона почти в 5.2 раза. Сравнение полученных величин с аналогичными данными по Восточному округу Москвы за 2010 год [5] показало меньший уровень засоления почв в ЗАО, что, скорее всего, вызвано рядом аномально теплых зим за последние годы, когда ПГР использовались сравнительно редко.

Максимальные значения плотного остатка в водной вытяжке осенью не превышали 0.2 %, т.е. все опробованные точки относятся к категории слабого засоления. В семи точках, расположенных в разных зонах, засоление отсутствует, что указывает на то, что засоление верхнего слоя почв в летний период здесь полностью компенсирует воздействие засоленных талых вод в весенний период.

ВЫВОДЫ

1. Использование на автодорогах ПГР приводит к антропогенному засолению прилегающих к ним почв, которое проявляется в поверхностном (0–10 см) слое. ПГР вызывают также подщелачивание городских почв, которое усиливается в осенний период из-за интенсивного поступления карбонатной пыли в летний период. Наибольшие значения рН (7.6–8.0) характерны для внутрирайонной дорожной сети.

2. Состав водной вытяжки изменяется по сезонам. Весной преобладающими ионами являются Na^+ , Ca^{2+} , HCO_3^- , Cl^- и NO_3^- . Это связано с их поступлением с талыми водами, насыщенными солями из ПГР. Осенью в составе водной вытяжки преобладают Ca^{2+} , Mg^{2+} и HCO_3^- . Их накопление вызвано активным поступлением в течение лета строительной карбонатной пыли, тогда как Na^+ и Cl^- вымываются из верхнего слоя почвы.

3. Степень засоления территории отличается высокой сезонной изменчивостью, средняя по ЗАО величина плотного остатка весной в 1.5 раза выше, чем осенью. Максимальные значения плотного остатка приурочены к участкам, испытывающим наибольшую солевую нагрузку – дворы с автостоянками и крупные автомагистрали. К осени происходит рассоление верхнего горизонта, наиболее интенсивное вблизи МКАД и крупных автомагистралей. Весной большая часть почв имеет слабую степень засоления, в отдельных точках оно относится к категории среднего засоления, в осенний период все почвы характеризуются слабым засолением.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касимов Н.С., Кошелева Н.Е., Власов Д.В., Терская Е.В. Геохимия снежного покрова в Восточном округе Москвы // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5 география. 2012. № 4. С. 14–25.
2. Кошелева Н.Е., Никифорова Е.М. Многолетняя динамика и факторы накопления бенз(а)пирена в почвах (на примере ВАО Москвы) // Вестник Моск. ун-та, сер. 17 Почвов., 2011, № 2. С. 24–35.
3. Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель. Препринт. Упр. охраны почв и земельных ресурсов Минприроды России и упр. мониторинга земель и охраны почв Роскомзема. М., 1994. 13 с.
4. Методические рекомендации по оценке загрязненности городских почв и снежного покрова тяжелыми металлами / В.А. Большаков, Ю.Н. Водяницкий, Т.И. Борисочкина и др. М.: Почвенный институт, 1999. 32 с.
5. Никифорова Е.М., Касимов Н.С., Кошелева Н.Е. Многолетняя динамика антропогенного засоления почв Москвы (на примере Восточного округа) // Почвоведение. 2014. № 3. С. 351–363.
6. Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А., Иванников Ф.А. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию // Почвоведение. 2011. № 5. С. 611–623.
7. Систер В.Г., Корецкий В.Е. Инженерно-экологическая защита водной системы северного мегаполиса в зимний период. М.: Центр МГУИЭ, 2004. 159 с.

8. Смагин А.В., Азовцева Н.А., Смагина М.В. и др. Некоторые критерии и методы оценки экологического состояния почв в связи с озеленением городских территорий // Почвоведение. 2006. № 5. С. 603–615.
9. Shi X., Fay L., Gallaway C. et al. Evaluation of alternative antiicing and deicing compounds using sodium chloride and magnesium chloride as baseline deicers – Phase I. Report No. CDOT-2009-I. Colorado department of transportation. February 2009. 292 p.

Работа рекомендована д.г.н., ведущий научный сотрудник кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ Н.Е. Кошелева.

УДК 631.61

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ СЕРО-БУРЫХ ПОЧВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ КУМКОЛЬ

Ф.Е. Козыбаева, Д.П. Екейбаева

Казахстан, Алматы, Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова, farida_kozybaeva@mail.ru, diya_993@mail.ru

Аннотация. На нефтезагрязненных участках и в пустынных ландшафтах (пастбища) на незагрязненных серо-бурых почвах были заложены разрезы с описанием морфогенетических свойств серо-бурых почв. На территории нефтешламового полигона с искусственным загрязнением нефтепродуктами суглинистой породы и серо-бурых почвах естественных пустынных ландшафтов, загрязненных нефтепродуктами вследствие разливов, были заложены полевые опыты на предмет деградации нефтепродуктов в природных условиях под влиянием агротехнических и мелиоративных мероприятий. Опыты включали агротехнические приемы обработки искусственно загрязненной нефтепродуктами суглинистой породы и загрязненной серо-бустрой почвы, внесение минеральных удобрений (N, P), применение мелиорантов – рисовая шелуха и бентонитовая глина. Были определены полевая влажность и объемная масса почвогрунтов (суглинистая порода) и почв, содержание гумуса, питательных элементов, воднорастворимых солей. Нефтезагрязненные почвы характеризуются низкой влажностью, повышенной плотностью, высоким содержанием органических веществ. Зональные серо-бурые почвы, подвергнутые процессам деградации, характеризуются низким содержанием элементов питания, засолены. Тип засоления по анионному составу сульфатный, хлоридно-сульфатный, по катионному составу кальциевый и натриево-кальциевый.

Ключевые слова: почва, суглинистая порода, нефть, нефтепродукты, агро-мелиоративные мероприятия, гумус, мелиорант, удобрения, деградация.

Abstract

On selected key points were laid soil profiles describing the morphogenetic properties of oil-contaminated soil and soil uncontaminated natural landscapes. At the landfill sludge on loamy rock with artificial oil pollution and soil contaminated by petroleum natural landscapes due to spills were laid field experiments for the destruction of oil in natural conditions under the influence of ameliorants. Experiments included soil-ground processing of agricultural practices (loamy rock) and soil, mineral fertilizers (N, P), use ameliorants – rice husk and bentonite clay. Identified by field moisture and soil bulk density and soil, humus content, nutrients, water extract for salinity. Characterized by low soil moisture contents, increased density. The high content of humus in the oil-contaminated soils is due to the organic composition of oil. Zonal soils subjected to degradation processes are characterized by low humus content, batteries, saline, the amount of salt is ≥ 1 . The salinity of sulfate, chloride-sulfate by anionic composition on cation composition of calcium and sodium-calcium.

Keywords: soil, oil and oil products, improvement actions, humus, meliorant, fertilizers, degradation

ВВЕДЕНИЕ

Нефть и нефтепродукты являются распространенными загрязнителями окружающей среды. Попадая в природные экосистемы, углеводороды нефти вызывают нарушение биологического равновесия в течение длительного времени. Также они являются постоянным источником канцерогенного и мутагенного загрязнения. Поэтому проведение рекультивационных работ является одним из важнейших природоохранных мероприятий,

направленных на восстановление плодородия загрязненных земель [1]. Среди множества экологических проблем месторождения Кумколь главное место занимает проблема углеводородного загрязнения окружающей среды. В связи с физическим старением нефтепромыслового оборудования, частота аварийных залповых сбросов в окружающую среду нефти, подтоварных, пластовых и буровых сточных вод ежегодно исчисляется тысячами случаев и имеет тенденцию роста. Экологические последствия чрезвычайных техногенных ситуаций ведут к необратимым изменениям в окружающей природной среде и существенно влияют на эффективность экономики страны. В последние время на фоне увеличения добычи, транспортировки, переработки и использования нефти и нефтепродуктов существенно возросли уровень и масштабы загрязнения природной среды нефтяными углеводородами (УВ). Наиболее интенсивному химическому загрязнению подвержены почвы. Под воздействием аккумулятированных в почве УВ происходит трансформация почвенных экосистем [2]. Изменения свойств почв и непосредственное воздействие УВ приводят к угнетению или полному ингибированию роста и развития подавляющего большинства растений; почвы становятся фитотоксичными. Знание степени устойчивости растений необходимо для решения вопросов, с одной стороны, возможности их возделывания на загрязненной почве, а с другой – использования для восстановления нарушенного почвенного плодородия (фиторемедиация) [3]. Поэтому проблема предотвращения и ликвидации нефтяных загрязнений в почве и воде является весьма актуальной.

Загрязнение почвенного покрова происходит в результате разработки, эксплуатации и перевозки нефтепродуктов месторождения Кумколь.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследуемая территория расположена в пустынной и пустынно-степной зоне юго-западной части Кызылординской области, где интенсивно эксплуатируются крупные природные запасы нефти, газа, минеральных солей и строительных материалов. Ближайшими населёнными пунктами в районе исследования являются г. Жезказган (~ 300 км) и г. Кызылорда (~ 160 км), а также железнодорожная станция Жосалы.

Изучение восстановления нарушенных и нефтезагрязненных почв проводилось в условиях полевого опыта. Основные свойства почвы исследовались общепринятыми в почвоведении и агрохимии методами.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основное нарушение почвенного покрова происходит вследствие бессистемных проходов транспорта при эксплуатации месторождения, чрезмерного выпаса животных, образования свалок на месте стоянок работников сферы обслуживания при нефтедобыче. Нарушенный почвенный покров приобретает формы хаотично пересекающихся дорог, лишенных растительности, с глубоко распыленной колеей. При выпасе животных образуются выбоины, частые оголенные и распыленные участки-стойбища, которые создают условия для развития эрозионных процессов и деградации почв.

На месторождении Кумколь заложены полевые опыты с искусственным загрязнением нефтью суглинистых пород, а также при естественном загрязнении серо-бурой почвы вследствие разлива нефтепродуктов по схеме с применением агротехнических и почвенно-мелиоративных рекультивационных технологий.

СХЕМА ПОЛЕВОГО ОПЫТА

Вариант 1 – Контроль без мелиорантов и удобрений

Вариант 2 – Суглинок + карбамид + двойной суперфосфат $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$

Вариант 3 – Суглинок + рисовая шелуха

Вариант 4 – Суглинок + бентонитовая глина

Вариант 5 – Суглинок + рисовая шелуха + бентонитовая глина + карбамид + двойной суперфосфат $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (рис. 1).



Рисунок 1. Расположение исследуемой территории и основных объектов исследования: а) схема опытного участка 1, искусственно загрязненного нефтепродуктами (суглинистая порода) на территории полигона; б) схема опытного участка 2, серо-бурая почва, загрязненная проливом нефтепродуктов

Естественный процесс минерализации нефти достаточно длителен, поэтому необходимы мероприятия, которые могли бы его ускорить. Агротехническими и агрохимическими методами рекультивации является комплекс мероприятий, включающий вспашку и рыхление нефтезагрязненной почвы, внесение минеральных удобрений и проведение мелиоративных работ на загрязненной территории. Улучшение водного режима, в частности, влияет на подвижность питательных веществ, микробную жизнедеятельность и активность биологических процессов. Наблюдения показали, что недостаток влаги замедляет зарастание рекультивированных участков. Воздействие на микробиологическую и ферментативную активность почвы усиливается при одновременном использовании агрохимических приемов, например внесения удобрений и рыхления [5, 6].

Агротехническая система обработки зависит от гранулометрического состава почвы и степени проникновения нефтяного загрязнения вглубь профиля. Роль агротехнической обработки почвы при нефтяном загрязнении заключается в создании рыхлого строения пахотного слоя, улучшении теплового, воздушного, водного режимов, защите почв от эрозионных процессов. Проведение комплексных мероприятий (оструктурирование, полив и внесение минеральных удобрений) существенно снижает уровень загрязнения [7].

Почвенно-мелиоративные приемы нарушенных и нефтезагрязненных почв. Одним из методов возврата элементов питания нарушенных и нефтезагрязненных почв является агрохимический, который направлен на увеличение количества элементов доступных для растений. Такими элементами служат азот и фосфор.

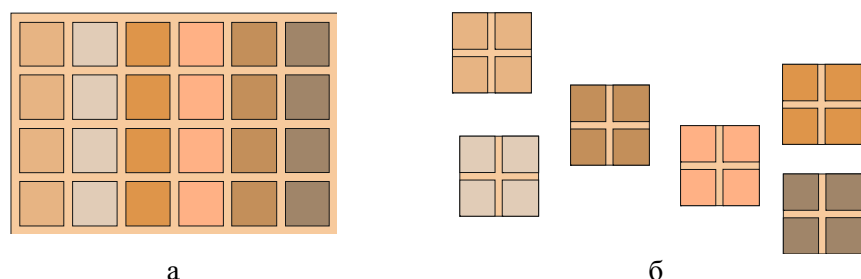
В полевом опыте использованы минеральные удобрения: мочевины (карбамид) – $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ с содержанием азота 46 % и двойной суперфосфат $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$, отличающийся повышенной концентрацией фосфора – до 45 % и выше.

В качестве мелиорантов применялись рисовая шелуха и бентонитовая глина.

Рисовая шелуха служит сорбентом влаги, источником питательных элементов для почвенных микроорганизмов, улучшает структуру и поглощательную способность почвы. Бентонитовая глина обладает высокой сорбционной активностью. В мелиоративных целях используется на легких почвах для снижения фильтрационной способности и улучшения поглощательных свойств, привносит некоторые питательные элементы. Полевые опыты были заложены на суглинистых почвообразующих породах и на серо-бурых почвах, загрязненных нефтепродуктами, в естественных пустынных ландшафтах. Опыты состоят из 5-и вариантов, каждый вариант имеет 4-х кратную повторность (рис. 2, 3). Норма внесения перед вспашкой минеральных удобрений: карбамид – $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$, двойной суперфосфат $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – по 40 кг/га; норма внесения рисовой шелухи и бентонитовой глины – по 40 000 кг/га.



Рисунок 2. а) Опытный участок 1, искусственно загрязненный нефтепродуктами (суглинистая порода);
б) Опытный участок 2, серо-бурая почва, загрязненная проливом нефтепродуктов.



Условные обозначения

	– Контроль		– Рисовая шелуха
	– Суперфосфат + Карбамид		– Суперфосфат + Карбамид + Бентонитовая глина + Рисовая шелуха
	– Бентонитовая глина		– Биоуголь

Рисунок 3. Схема опытных участков:

- а) Опытный участок 1, суглинистая порода, искусственно загрязненная нефтепродуктами;
б) Опытный участок 2, серо-бурая почва, загрязненная проливом нефтепродуктов.

В экспедиционный период были изучены водно-физические свойства нефтезагрязненной почвы на опытных площадках.

Морфологическое описание нефтезагрязненных серо-бурых почв.

Разрез 2 заложен на юго-западе от шламового полигона в 25–30 м от трассы (рис. 4). Поверхность лишена растительности, только местами сохранились единичные растения. По профилю вскипает от 10 % соляной кислоты.

0–1 см. Нефтяная корка черного цвета, сильно пахнущая горюче-смазочной смесью, выжженные растения, слоистая, рыхлая, сырая супесчаная, переход ясный по цвету и сложению.

1–8 см. Бурый, влажный от проникшей нефти, рыхлый, слоистый, супесчаный, тонкопористый, множество корневых волосков, переход ясный по цвету и сложению.

8–15 см. Светло-бурый, увлажненный, слегка уплотненный, комковато-ореховатый, тонкопористый, встречаются редкие корешки, разложившиеся остатки, крупные и мелкие кварцевые кристаллы, карбонатные новообразования в виде присыпки, пятен, белоглазки, переход ясный по цвету и сложению.

15–46 см. Бурый с палевым оттенком, свежий, слегка уплотненный, суглинок легкий, тонкопористый, непрочно-комковато-порошистый, встречаются корневые остатки, разло-

жившиеся корневые волоски, карбонатные новообразования в виде присыпки, белоглазки, пятен, переход ясный по сложению и по цвету, по карбонатности неравномерный переход.

46–68 см. Палевый, свежий, плотный, комковато-ореховатый, суглинок опесчаненный, обилие карбонатных новообразований в виде пятен, прожилок, мучнистой присыпки, белоглазки, изредка встречаются корневые волоски.



Рисунок 4. Фото разреза 2.

Морфологическое описание нефтезагрязненных серо-бурых почв.

Разрез 3 заложен 500–600 м в западном направлении от полигона (рис. 5). Рельеф равнинный, вокруг холмисто-увалистый, растительность – полыни, солянки. Территория сильно деградирована. Множество хаотично расположенных транспортных дорог. Местами пустоши от чрезмерного выпаса животных. Поверхность почвы, залитой нефтью, растрескана, как тапыр.



Рисунок 5. Разрез 3.

0–13 см. Черный с бурым оттенком, рыхлый, нефть проникла неравномерно, на поверхности и по профилю встречается щебенка, легкий суглинок, увлажненный, пахнет нефтепродуктом, бесструктурный, порошистый, встречаются корни растений, тонкопористый, переход яркий, неравномерно по цвету.

13–32 см. Серый с бурым оттенком, влажный по ходу корней отмечается влага с содержанием темной нефтяной жидкости, легкий суглинок, легко распадающиеся комочки, встречается щебенка, галька, сгнившие корни, переход ясный по сложению и по цвету.

32–50 см. Светло-серый с бурым оттенком, мокрый, уплотненный, тонко и крупнозернистый, комковато-пластинчатая, карбонатные новообразования в виде присыпки, белоглазки, встречаются разложившиеся корни и корневые волоски, по ходу корней отмечается проникновение темной влаги, средний суглинок.

Морфологическое описание зональной серо-бурой почвы.

Разрез 4 заложен на межхолмисто-увалистой равнине (рис. 6). Поверхность сильно деградирована (пастбищная дегрессия, автомобильные дороги, свалка и т.д.). Раститель-

ный покров из высыхающих кустов солянки, полыни, имеются отдельные молодые сизо-серо-зеленоватые экземпляры полыни.



Рисунок 6. Разрез 4.

0–12 см. Серо-палевый, сухой, чешуйчато-порошисто-пылеватый, рыхлый, сверху имеется тонкая корочка, растресканный как такыр, суглинок опесчаненный, встречаются с поверхности и в горизонте мелкая галька и щебенка, видны на солнце блестящие кристаллы гипса, переход постепенный.

12–32 см. Светло-серый с буроватым оттенком, сухой, плотноватый, суглинок опесчаненный, тонкопористый, имеются блестящие кристаллики, корневые волоски, разложившиеся корневые остатки, переход постепенный.

32–51 см. Буро-палевый, сухой, уплотненный, суглинок легкий, комковато-ореховато-пылеватый, встречаются разложившиеся и полуразложившиеся корни, ходы корней, мелкая щебенка, блестящие кристаллы гипса, тонкопористый, карбонаты в виде скоплений, пленки, прожилок, переход ясный по цвету и сложений.

51–63 см. Светло-серый с палевым оттенком, сухой, суглинок легкий, пластинчато-комковато-пылеватый, тонкопористый, карбонатные скопления в виде прожилок, множество корневых волосков, разложившихся корневых остатков, переход ясный по сложению.

63–90 см. Серо-палевый, свежий, комковатый, плотный – плотность увеличивается к низу (карбонатный горизонт), карбонаты в виде скоплений, прожилок, налета, встречаются корневые волоски, суглинок опесчаненный (легкий).

Морфологическое описание нефтезагрязненных серо-бурых почв

Разрез 5 заложен после проливного дождя в 4 метрах от разреза 2, заложенного в 2012 г. (рис. 6). Поверхность территории выровненная, с незначительным уклоном на запад, небольшие участки залиты вязкой, маслянистой нефтью и запорошены тонким слоем песка, растительность выжжена, остались темно-бурые остатки стеблей, на незагрязненных участках солянковая растительность.

0–3 см. Слой нефтяного мазута черного цвета, масляная вязкая смесь. Этот слой не одинаковый, разный по мощности, 2–3 см, переход яркий по цвету.

3–6 см. Темно-серый пропитанный нефтепродуктами с сизовато-коричневым оттенком, мокрый, рыхлый, бесструктурный, множество тонких корневых волосков. С поверхности до глубины 50 см стержневой корень. Переход ясный по цвету и сложению.

6–11 см. Темно-серый пропитанный нефтью, мокрый, слегка уплотненный, суглинок, встречаются корневые волоски, в разломах влага, непрочно-комковатый, еле заметная тонкопористость, структура непрочная, комковато-призмовидная. Переход заметен по сложению, по увлажнению и по цвету.

11–30 см. Серо-бурый, увлажненный, легкий, суглинок, непрочно-комковатый, тонкопористый, выцветы карбонатов, по профилю встречаются темные пятна (ходы корней, животных, заполненные почвой с верхнего слоя), горизонт не однородный, корневые волоски.

30–50 см. Серый с буроватым оттенком, уплотненный, свежий, тонкопористый, опесчаненный легкий суглинок, множество карбонатных образований в виде пятен, присыпки, прожилок, местами встречаются корневые остатки, тонкие блестящие кристаллики гипса, переход заметен по выцвету карбонатов и по сложению.

50–80 см. Серо-палевый с бурым оттенком, свежий, местами плотный, местами менее уплотненный, опесчаненный суглинок, карбонатные образования в виде присыпки, конкреции, корневые волоски редкие, множество сгнивших корневых остатков, встречается мелкая галька.



Рисунок 7. Фото разреза 5 – проникновение нефти в почву.

Из морфологических описаний следует, что при загрязнении нефтепродуктами изменяется цвет почвы. Верхний горизонт незагрязненной почвы имеет серо-палевый, светло-серый, светло-бурый цвет, а при загрязнении он становится черным, темно-серым или темно-коричневым. Загрязненная почва бесструктурная, верхний слой вязкий, маслянистый, поры заполнены нефтепродуктами. Сравнительная характеристика разрезов показала, что нефтепродукты поступают в почву с различной скоростью и на различные глубины. Так, в разрезе 2 нефтепродукты проникли на глубину 8 см. В разрезе 5, заложенном в 4 метрах от разреза 2, нефтепродукты обнаружены на глубине 11 см, т.е. за год после пролива нефть опустилась на небольшую глубину. В составе нефти выделяют легкую, среднюю и тяжелую фракции. На поверхности разреза 5 обнаружена густая, вязкая маслянистая масса с сильным запахом нефтепродуктов, принадлежащая, вероятно, тяжелой фракции, что обуславливает незначительное проникновение нефти вглубь профиля. В среднем, в условиях Северного Казахстана глубина пропитки почвы нефтью в течение 2–3 лет составляет 15 см.

Исследованиями Игнатьева Л.А. [8] выявлено, что в естественных условиях минерализация (окисление) «тяжелой» нефти в больших объемах при аварийных разливах или на водной поверхности шламовых амбаров не происходит продолжительное время.

На опытных участках наблюдались внешние трансформационные процессы. Так, участки с искусственным загрязнением лессовидных суглинков шламохранилища имели в 2012 году темноокрашенную поверхность, спустя год – светлую. На опытном участке с проливом нефтепродуктов произошли такие же изменения. По истечении года после агро-мелиоративных мероприятий наблюдалась деградация нефтепродуктов, что отразилось на окраске поверхности опытных площадок. Вероятно, углеводороды нефти подвергаются процессам разложения, их легкая фракция улетучивается, вследствие чего и происходит осветление поверхности. О трансформации нефтепродуктов в верхних слоях почвы свидетельствуют и результаты определения полевой влажности и объемной массы (табл. 1).

Таблица 1. Содержание полевой влаги и объемная масса почв опытных участков
(Кумколь 2014 г.).

Место отбора	Глубина, см	Полевая влага, %	КГВ	КВ	Объемная масса, г/см ³
Опытный участок 1 – искусственно загрязненный нефтепродуктами					
Контроль	0–10	1.7	1.02	0.98	–
	10–20	2.4	1.02	0.98	–
Суперфосфат+карбамид	0–10	1.2	1.01	0.99	–
	10–20	1.4	1.07	0.96	–
Бентонитовая глина	0–10	1.2	1.01	0.99	–
	10–20	1.3	1.01	0.99	–
Рисовая шелуха	0–10	1.6	1.01	0.98	–
	10–20	3.3	1.03	0.97	–
Суперфосфат + Карбамид + Бентонитовая глина + Рисовая шелуха	0–10	1.5	1.02	0.98	–
	10–20	2.6	1.02	0.98	–
Опытный участок 2 – загрязненный проливом нефтепродуктов					
Контроль	0–10	0	0	0	1.68
	10–20	0.6	1.03	6	1.61
Суперфосфат+Карбамид	0–10	0.1	0.3	0.3	1.42
	10–20	0.5	1	0.99	1.37
Бентонитовая глина	0–10	0.1	0.7	0.7	1.44
	10–20	1.2	1.01	0.99	1.51
Рисовая шелуха	0–10	0.5	1	0.99	1.03
	10–20	0.8	1.01	0.99	0.98
Суперфосфат + Карбамид + Бентонитовая глина + Рисовая шелуха	0–10	0	0	0	1.18
	10–20	0.3	1	0.99	1.37

Примечание: КГВ – коэффициент гигроскопической влаги; КВ – коэффициент влажности.

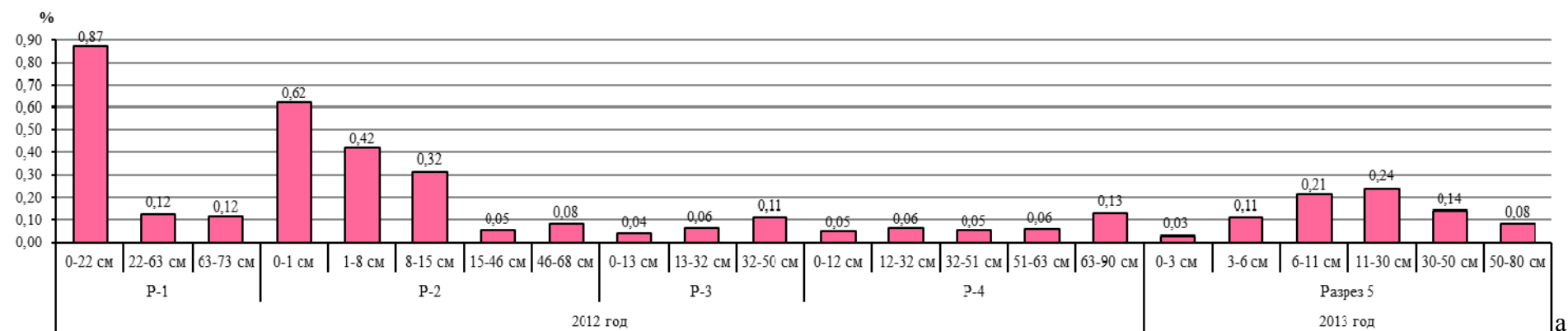
Серо-бурые почвы пустынной зоны характеризуются низкими значениями полевой влажности. В условиях нефтезагрязнения по всем вариантам опыта прослеживается снижение полевой влаги, вероятно, вследствие развития процесса деградации нефтепродуктов. Более высокое содержание влаги в варианте с внесением бентонитовой глины объясняется тяжелым гранулометрическим составом, что затрудняет деградацию нефтепродуктов. В искусственно загрязненной суглинистой породе также затруднены процессы разложения нефти. В контроле полевая влага выше, чем во всех вариантах опыта.

Определение объемной массы нефтезагрязненной почвы по вариантам эксперимента показало, что агротехнические и агрономелиоративные приемы рекультивации способствуют окислению углеводов. Следовательно, приемы рекультивации являются мощным регулирующим фактором, стимулирующим процессы самоочищения нефтезагрязненных почв и изменение ее плотности в сторону уменьшения (табл. 1).

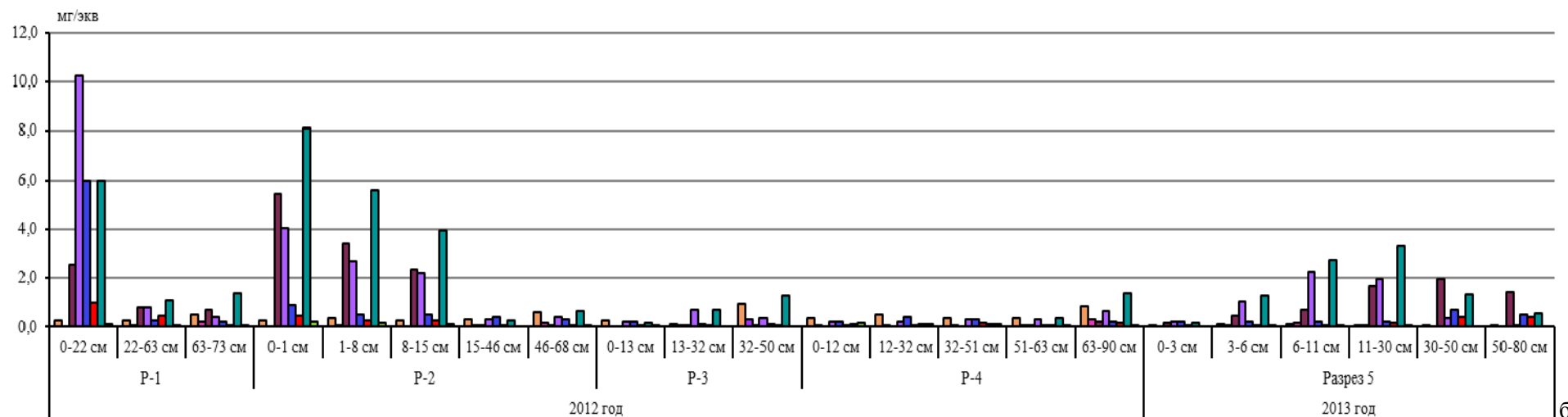
В серо-бурых почвах, не подвергнутых антропогенным воздействиям, содержание гумуса составляет 0.6–0.8 %. В естественном (исходном) состоянии лессовидные суглинки шламохранилища содержат от 0.1 до 0.3 % органического вещества, что характерно для данных почвообразующих пород. Искусственное загрязнение нефтепродуктами повышает содержание органического углерода от 1.6–3.5 % в контроле до 2.43–4.14 % по вариантам опыта (табл. 2). При этом речь идет не о накоплении нативного гумуса, а о росте количества органического углерода за счет загрязнения углеводородами нефти. Через два года после проведения агрономелиоративных мероприятий наблюдается незначительное снижение содержания органического углерода, что, возможно, связано с потерей летучих легких фракций нефтепродуктов под воздействием процессов рыхления и боронования.

Таблица 2. Агрохимическая характеристика почв (Кумколь 2014 г.).

Место отбора		Глубина, см	Гумус, %	Углерод, %	Общий азот, %	Гидрол. азот, мг/кг	CO ₂ , %	Фосфор		Калий		pH
								Валовой, %	Подв., мг/кг	Валовой, %	Подв., мг/кг	
Опытный участок 1 – искусственно загрязненный нефтепродуктами	Контроль	0–20	2.76	1.60	0.028	19.6	1.64	0.080	10	1.3	360	7.80
	Суперфосфат + Карбамид		3.27	1.90	0.042	50.4	1.77	0.088	60	1.7	340	7.73
	Бентонитовая глина		3.78	2.19	0.042	16.8	1.77	0.080	10	1.8	370	7.88
	Рисовая шелуха		4.19	2.43	0.028	14.0	1.31	0.052	10	1.8	440	7.77
	Суперфосфат + Карбамид + Бентонитовая глина + Рисовая шелуха		3.58	2.08	0.042	89.6	1.31	0.068	42	1.9	470	7.76
Опытный участок 2 – загрязненный проливом нефтепродуктов	Контроль	0–20	6.02	3.49	0.035	11.2	1.00	0.114	19	1.94	218	7.36
	Суперфосфат + Карбамид		7.14	4.14	0.063	156.8	1.16	0.124	48	2.56	295	7.04
	Бентонитовая глина		5.43	3.15	0.032	14.0	0.94	0.115	15	2.31	190	7.05
	Рисовая шелуха		6.45	3.74	0.039	14.0	1.12	0.111	17	2.44	288	7.35
	Суперфосфат + Карбамид + Бентонитовая глина + Рисовая шелуха		6.60	3.83	0.039	119.7	1.28	0.128	54	2.25	305	7.36



а



б

Рисунок 8. Содержание легкорастворимых солей в почвогрунтах шламового полигона. а – сумма солей, б – легкорастворимые соли.

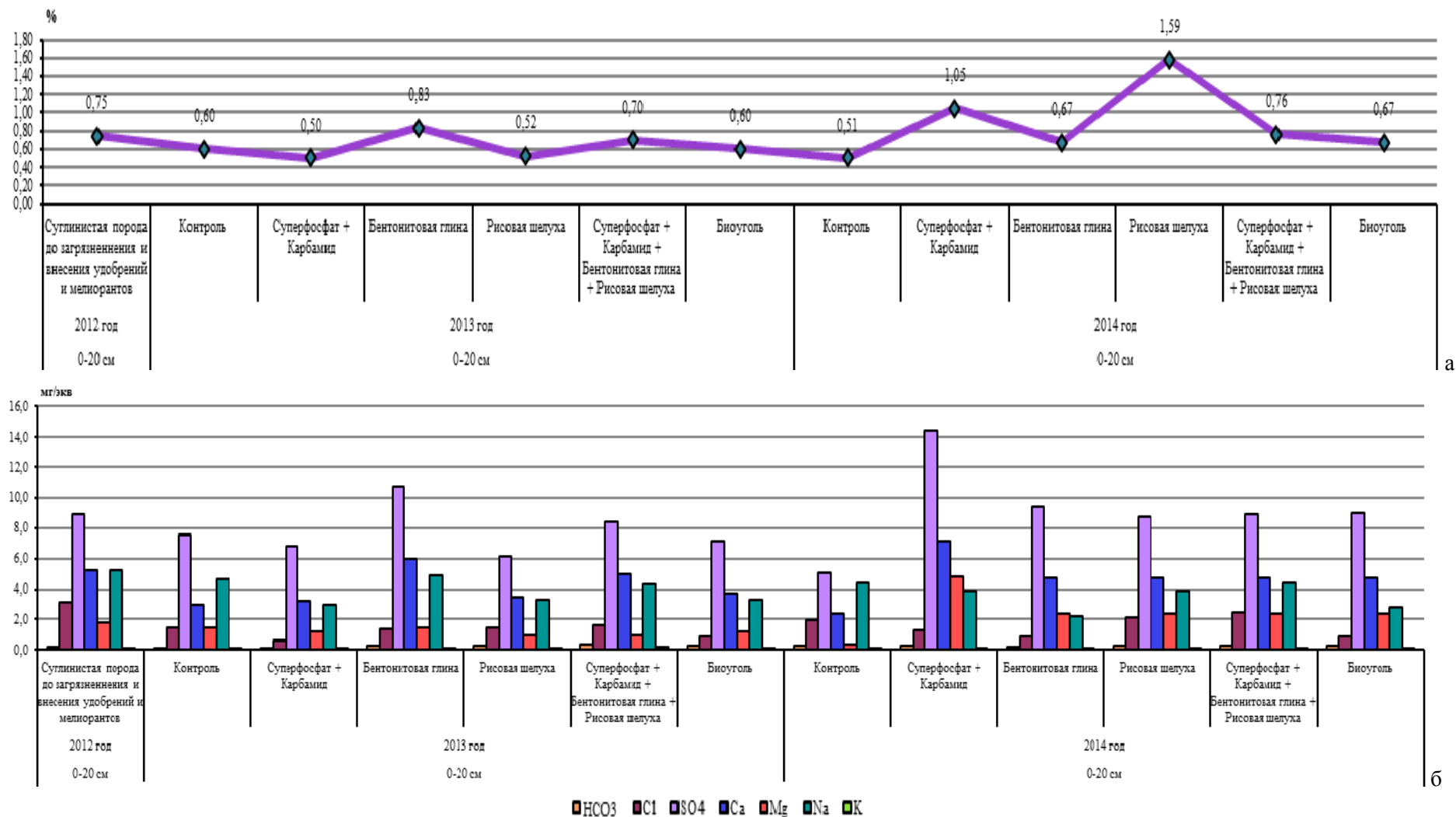
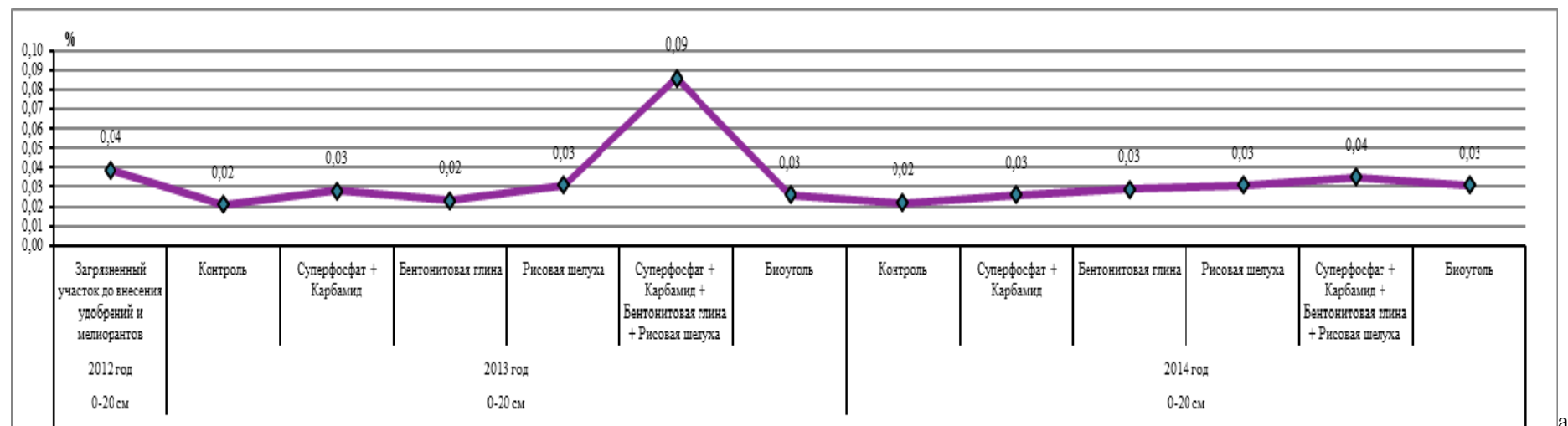
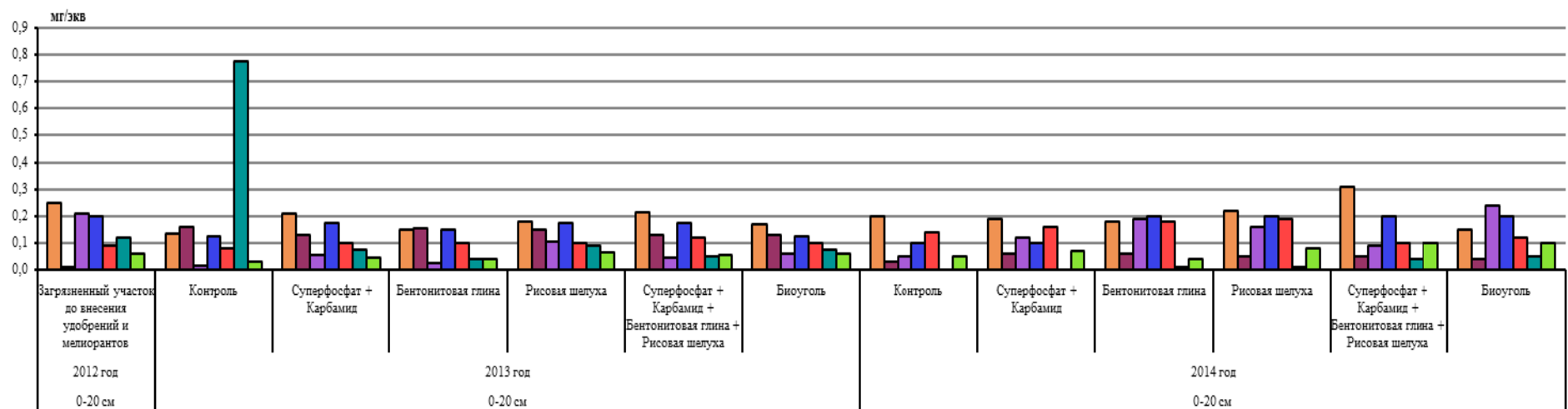


Рисунок 9. Содержание легкорастворимых солей в почвогрунтах шламового полигона на опытном участке 1, искусственно загрязненном нефтепродуктами. а – сумма солей; б – содержание легкорастворимых солей.



а



б

■HCO₃ ■Cl ■SO₄ ■Ca ■Mg ■Na ■K

Рисунок 10. Содержание легкорастворимых солей в серо-бурых почвах (опытный участок 2), загрязненных проливом нефтепродуктов.
а – сумма солей; б – содержание легкорастворимых солей.

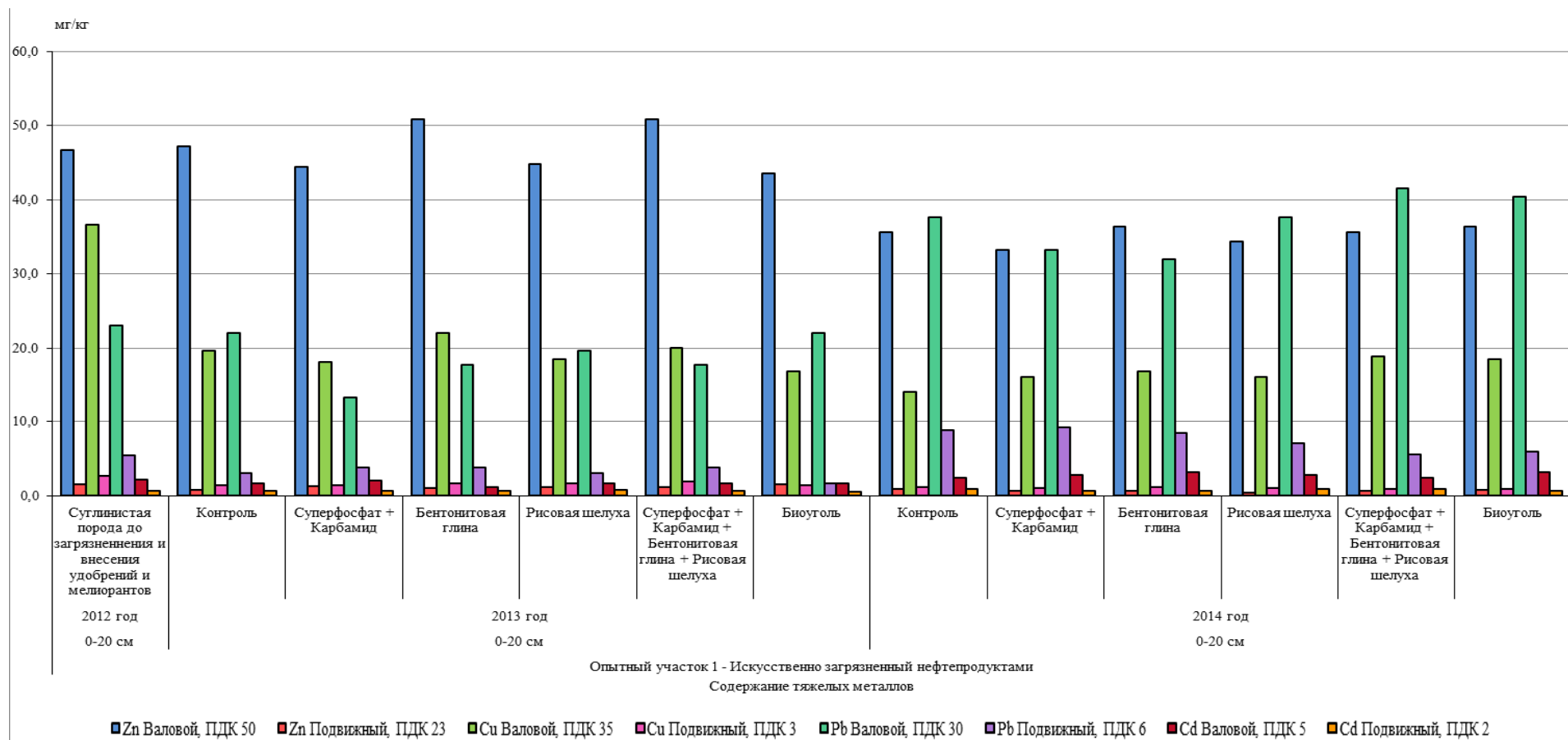


Рисунок 11. Содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почвогрунтах шламового полигона, мг/кг.

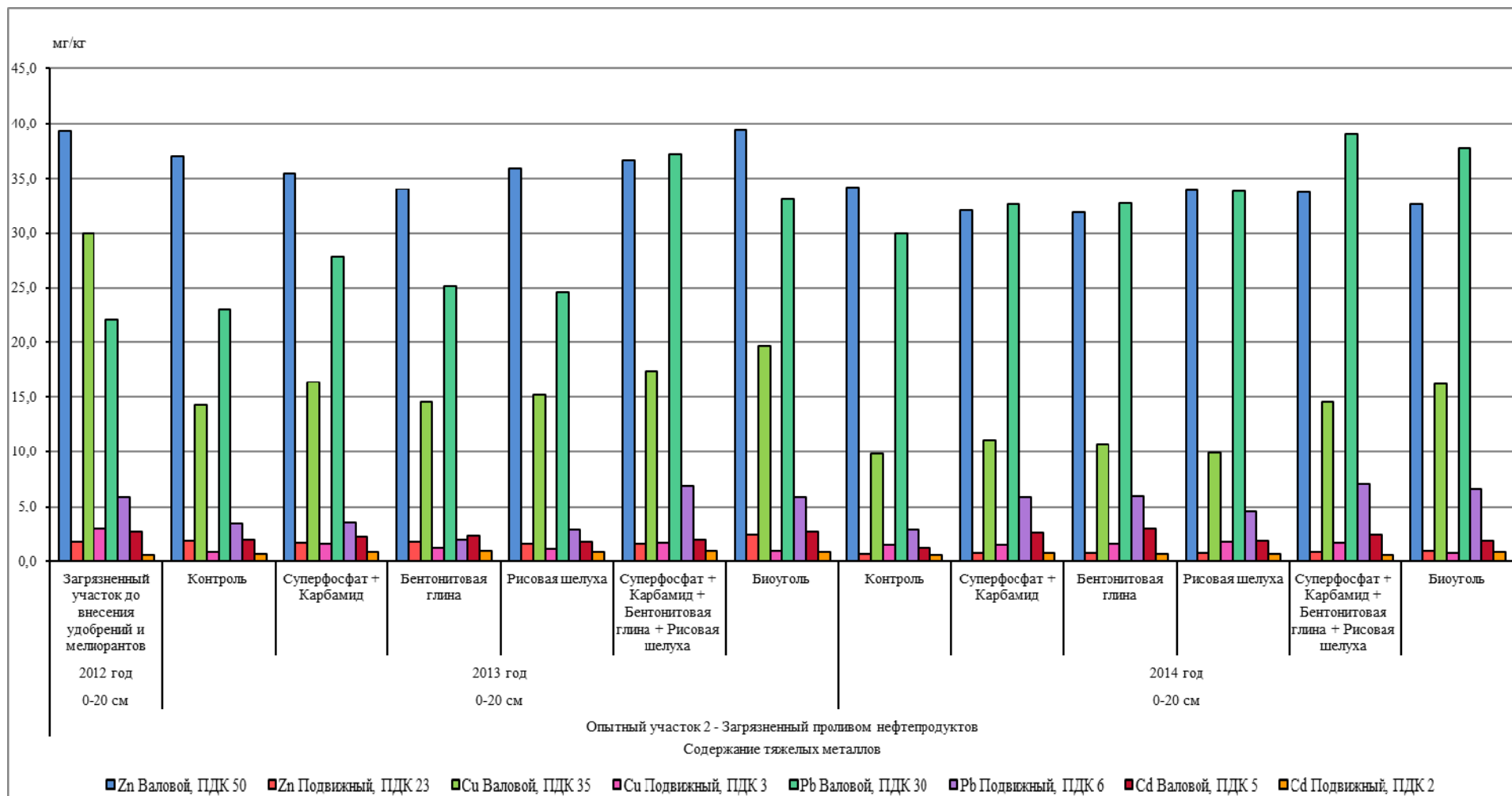


Рисунок 12. Содержание валовых и подвижных форм тяжелых металлов в серо-бурых почвах, загрязненных проливом нефтепродуктов, мг/кг.

Серо-бурая почва опытного участка с проливом нефтепродуктов некарбонатная, почвы в вариантах с внесением азотного и фосфорного удобрений характеризуются обеспеченностью азотом, валовым калием, имеют щелочную среду, отличаются меньшим содержанием гипса от суглинистых пород опытного участка на полигоне шламотходов (табл. 2).

Почвы месторождения Кумколь в разной степени засолены. В почвах и суглинистой породе преобладает сульфатное, хлоридно-сульфатное засоление по анионному составу и кальциевое, натриево-кальциевое – по катионному (рис. 8).

На опытном участке с искусственным нефтезагрязнением до проведения агротехнических и почвенно-мелиоративных мероприятий суглинистые породы имели различную степень засоления (сумма водорастворимых солей – от 0.5 до 1.02 %). Почвы опытного участка с проливом нефтепродуктов не засолены. После проведения мероприятий по рекультивации лессовидных пород, загрязненных нефтепродуктами, активизируется процесс рассоления, заслуживающий особого внимания. Так, диаграммы, характеризующие сумму солей, свидетельствуют об уменьшении содержания легкорастворимых солей во всех вариантах опытов, по сравнению с исходными результатами (рис. 9).

Такая тенденция наблюдается и на опытных участках с загрязнением почвы в результате пролива нефтепродуктов. Изменяется качественный и количественный состав солей. Так, на участке с искусственным загрязнением в 2012 г. в составе легкорастворимых солей преобладают: из анионов – сульфат и хлор, из катионов – кальций и натрий (рис. 10).

После проведения агро-мелиоративных мероприятий по восстановлению экологических функций в нефтезагрязненных почвах и грунтах на второй и третий годы (2013–2014 гг.) наблюдается уменьшение количества солей. В почве опытного участка № 2 в 2013 г. среди легкорастворимых солей преобладают: из анионов – сульфат и бикарбонат, из катионов – кальций и магний, за исключением контрольного варианта, в котором наблюдается превышение содержания катиона натрия, по сравнению с исходными данными 2012 года.

Проведенные исследования показывают, что содержание тяжелых металлов, кроме свинца, находится в пределах допустимых концентраций (рис. 11, 12).

Количество подвижного свинца на искусственно загрязненном участке превышает ПДК в 1.2–1.5 раза, на участке, загрязненном проливом нефтепродуктов, – в 1.1–1.2 раза. Это обусловлено наличием тяжелых металлов в составе нефти, нефтешламов, буровых отходов, атмосферных выбросов, образующихся при сжигании нефти и нефтепродуктов, при работе транспорта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты полевых исследований показали, что в условиях пустыни и полупустыни только внесение минеральных удобрений в гранулированной форме не оказывает существенного влияния на изменение свойств нефтезагрязненных почв, так как недостаточное количество осадков ограничивает растворимость удобрений, что сказывается на продолжительности перевода внесенных питательных элементов в доступное состояние. Использование неразложившихся органических остатков в виде рисовой шелухи также не дает сию минутного эффекта, поскольку низкая влажность отрицательно влияет на биологическую активность почв.

Агротехнические, агрохимические и почвенно-мелиоративные мероприятия, проведенные на искусственно загрязненных нефтепродуктами суглинистых породах и на серо-бурых почвах с проливом нефти, оказали положительное и действенное воздействие на трансформацию их водно-физических и химических свойств. Осветление поверхности нефтезагрязненных участков, вероятно, является следствием испарения летучих легких фракций нефти в условиях эксперимента. Следует отметить, что визуальные наблюдения свидетельствуют о проявлении почвенно-экологических функций. Трансформация водно-физических свойств суглинистой породы и серо-бурой почвы свидетельствует об улучшении аэрации за счет разрушения нефтяной пленки, покрывающей агрегаты. Восстанов-

ливаются и сорбционная почвенно-экологическая функция. Отмечаются миграция и аккумуляция влаги в нижних горизонтах, накопление питательных элементов, снижение содержания растворимых солей и перераспределение их анионного и катионного состава.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шилова И.И.* Биологическая рекультивация нефтезагрязненных земель в условиях таежной зоны // Восстановление нефтезагрязненных экосистем. М.: Наука. 1988. – С. 159–168.
2. *Ларионова Н.Л.* Устойчивость растений к загрязнению почвы углеводородами и эффект фиторемедиации: Дис. канд. биол. наук: 03.00.16. Казань, 2005.– 153 с.
3. *Промышленная экология.* М. 2009.– 325 с.
4. *Почвы Казахской ССР.* Выпуск 14. Почвы Кызыл-Ординской области. Алма-Ата: Наука. 1983.– 304 с.
5. *Иларионов С.А.* Экологические аспекты восстановления нефтезагрязненных почв. Екатеринбург: УрО РАН, 2004.– С.194.
6. *Гайнутдинов М.З., Самосова С.М., Артемьева Т.И.* Рекультивация нефтезагрязненных земель лесостепной зоны Татарии // Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем: Сб. науч. тр. М.: Наука, 1988.– С. 82–98
7. *Сатубалдин А.Н., Салангинас Л.А.* Биологический этап рекультивации нефтезагрязненного грунта на полигонах АК «Транснефть» // Материалы Международного совещания. 3–7 июня 2002 г. Екатеринбург: УрО РАН, 2003.– С. 440–445.
8. *Игнатьев Л.А.* Эффект воздействия «тяжелой» нефти на почву и состояние растений// Международная научн. конф. «Природно-техногенные комплексы: рекультивация и устойчивое функционирование». Новосибирск-Новокузнецк. 2013. – С. 288–291.

УДК 631.4

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ БУФЕРНАЯ СПОСОБНОСТЬ АГРОСЕРЫХ ПОЧВ ВЛАДИМИРСКОГО ОПОЛЯ ПО ОТНОШЕНИЮ К ФОСФОРУ

Н.А. Колобова

Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Московский Государственный Университет им.
М.В. Ломоносова, Москва

Внесение 2NPK снижает потенциальную буферную способность почв, но позволяет поддерживать на высоком уровне содержание подвижных фосфатов. Внесение 2NPK с навозом приводит к пониженному содержанию «резервных» форм фосфатов, близкому к уровню контроля. В вариантах с «умеренным» внесением удобрений остаются на хорошем уровне и содержание подвижного, и «резервного» фосфора, и РВС^Р. Внесение извести и навоза приводит к оптимизации всех изученных показателей, кроме содержания подвижных фосфатов – оно находится на низком уровне.

ВВЕДЕНИЕ

Фосфор является одним из важнейших макроэлементов для питания растений. Регулирование фосфатного режима почв путем внесения фосфорных удобрений способствует получению богатых урожаев, сохранению почвенного плодородия (Кудяров и др., 1984; Иванов, 1991; Иванов и др., 2000; Кирюшин, Иванов, 2000; Кирпичников, Андрианов, 2007; Иванов и др., 2012). Изучению природы органических фосфатов почвы, закономерностей их аккумуляции и трансформации в разных экологических условиях посвящена монография М.И. Макарова (Макаров, 2009). Существует много работ о сорбции фосфатов почвами, ее механизмах, факторах, влияющих на нее, таких как содержание органического вещества, полуторных оксидов, щелочноземельных катионов, гидроксидов желе-

за и алюминия, состав и содержание глинистых минералов и др. В данной работе рассматривается изменение сорбционной способности агросерых тяжелосуглинистых почв Владимирского ополья по отношению к фосфору под влиянием различных систем удобрений в условиях длительного полевого опыта. Основной целью исследования было изучение особенностей поглощения фосфора агросерыми тяжелосуглинистыми почвами и описание данного процесса путем расчета параметров, таких как равновесная активность фосфат-иона (I); количество фосфатов в твердых фазах, находящееся в равновесии с раствором (Q); потенциальная буферная способность почв (Q/I).

Многие ученые отмечают, что сравнительное изучение и оценка сорбционно-десорбционных характеристик различных почв представляют значительный интерес для понимания закономерностей и моделирования процесса минерального питания растений в почве (Кулаковская и др., 1984; Крейер, Петрова, 2006). Свойство почв поддерживать концентрацию фосфора на постоянном уровне С.М. Драчев назвал фосфатной буферной способностью почв (Драчев, 1928). Аналогичным образом Беккет и Уайт способность почвы поддерживать концентрацию фосфора в почвенном растворе на относительно постоянном уровне определяют как буферную способность почвы по отношению к фосфору (Beckett, White, 1964). Из статей Ю.И. Касицкого с соавторами известно, что чем больше буферность, тем больше требуется удобрений для достижения определенного фосфатного уровня, и тем меньше они будут влиять на интенсивность, т.е. на доступность их растениям (Касицкий и др., 1983).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в условиях полевого опыта на агросерых тяжелосуглинистых почвах Владимирского ополья. Используется следующий севооборот: однолетние травы (вико-овсяная смесь), озимая пшеница, овес с подсевом трав, травы 1 г.п., травы 2 г.п., озимая пшеница, ячмень. Для исследования выбраны 7 вариантов опыта: 1) контроль, 2) известь (фон), 3) ф+NPK, 4) ф+2NPK, 5) ф+навоз, 6) ф+навоз+NPK, 7) ф+навоз+2NPK. Образцы отбирались с глубин 0–20 и 20–40 см методом конверта с помощью бура в 3-х несмежных повторностях. Применяемые удобрения: навоз КРС (60 т/га), двойной суперфосфат (P_2O_5 , одинарная доза 340 кг/га за ротацию, двойная – 680 кг/га), калийная соль (KCl, 360 кг/га и 720 кг/га за ротацию), аммиачная селитра (NH_4NO_3 , 340 кг/га и 680 кг/га за ротацию).

В исследуемых почвах обменная кислотность (pH_{KCl}) определялась потенциометрическим методом по методике ЦИНАО (ГОСТ 26583-85), содержание гумуса – по методу Тюрина в модификации ЦИНАО, с титриметрическим окончанием (ГОСТ 26213-91). Подвижный фосфор определялся по методике Кирсанова (ГОСТ 26207-91). Валовое содержание фосфора анализировалось на энергодисперсионном рентгенофлуоресцентном спектрометре элементного состава веществ (ЭДРФ «Респект») только в поверхностных горизонтах (0–20 см). Коэффициент подвижности фосфора рассчитывался как отношение содержания подвижных форм к валовому содержанию, умноженное на 100 %.

Потенциальная буферная способность почв в отношении фосфора определялась по методике К.Е. Гинзбург (Гинзбург, 1975). Метод изначально был предложен Беквисом (Bekwith, 1965), а затем развит и применен рядом авторов (Moode, 1979; White, 1968; Fox, 1970). Серию навесок почвы по 5 г заливают 50 мл раствора 0.01 М $Ca(NO_3)_2$, содержащего от 0 до $5 \cdot 10^{-4}$ моль/л фосфора в виде монофосфата калия. Нитрат кальция добавляют для моделирования естественных условий и поддержания ионной силы раствора на определенном уровне. Суспензию взбалтывают в течение часа на ротаторе, центрифугируют, а затем в центрифугате определяют pH потенциометрически и фосфор колориметрически (в данной работе использовался спектрофотометр ЮНИКО 1201). С помощью значений pH вычисляют активность иона $H_2PO_4^-$ по формуле, предложенной К.Е. Гинзбург (Гинзбург, 1975). По изменению концентрации фосфора в растворах, после взаимодействия их с почвами, высчитывают количество сорбированных или десорбированных почвами фос-

фатов ($\pm \Delta P$, моль/г почвы). Откладывая на графике по оси ординат найденные значения ΔP , а по оси абсцисс соответствующие им величины активности иона $H_2PO_4^-$, строят кривые, характеризующие фосфатную поглотительную способность почв. Пересечение прямых отрезков изотерм сорбции фосфатов с осью абсцисс дает значение равновесной активности фосфат-иона (I), а с осью ординат – количество фосфатов в твердых фазах, находящееся в равновесии с раствором (Q). Потенциальная буферная способность почв в отношении фосфатов – PBC^P , согласно Бекетту и Уайту (Beckett, White, 1964), рассчитывается как Q/I .

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Наименьшее значение обменной кислотности поверхностного горизонта (табл. 1) наблюдается в вариантах с внесением одинарной (5.36) и двойной (5.18) доз минеральных удобрений, а также в контрольном варианте (5.30). Это объясняется природой самих минеральных удобрений, являющихся солями различных кислот и вызывающих подкисление почвенного раствора, а также обменное замещение ионов H^+ и Al^{3+} из ППК. Наилучшим образом снижается кислотность в вариантах с применением навоза и при сочетании навоза и минеральных удобрений на фоне извести. Вероятно, это связано с повышением интенсивности процесса аммонификации при внесении органических удобрений. В горизонте 20–40 см значения обменной кислотности варьируют аналогичным образом, но в целом значения pH_{KCl} несколько выше, нежели в поверхностном горизонте. Вероятно, это связано с меньшим влиянием удобрений на подповерхностный горизонт.

Среднее содержание гумуса в поверхностном горизонте составило 3.26 %, а в подповерхностном – 2.48 %. Наибольшие содержания гумуса наблюдались в варианте с применением органических удобрений в сочетании с одинарной дозой NPK (3.84 %), а также в варианте «известь» (3.62 %) (табл. 1). Применение минеральных, органических удобрений и их сочетания дает прибавку содержания гумуса в почве, по сравнению с контрольным вариантом, в среднем на 0.65 %. Внесение извести и фосфатов кальция может способствовать аккумуляции гумусовых веществ в горизонтах 0–20 и 20–40 см, по сравнению с контрольным вариантом, из-за снижения подвижности водорастворимых гумусовых веществ вследствие повышения активности ионов Ca^{+} и образования гуматов кальция, что и наблюдается в данных исследованиях.

Таблица 1. Агрохимическая характеристика агросерых тяжелосуглинистых почв полевого опыта Владимирского НИИСХ.

Образец	Глубина, см	Гумус, %	pH_{KCl}	P_2O_5 подвижный, мг/100 г почвы
Контроль	0–20	2.65	5.30	11.6
	20–40	1.74	5.12	12.6
Известь	0–20	3.62	5.44	9.6
	20–40	3.27	5.47	9.4
NPK	0–20	3.06	5.36	20.6
	20–40	2.30	5.44	15.6
2NPK	0–20	3.27	5.18	25.1
	20–40	2.16	5.31	16.8
Навоз	0–20	3.20	5.67	14.3
	20–40	2.23	5.52	14.6
Навоз+NPK	0–20	3.84	5.54	22.1
	20–40	3.48	5.61	17.0
Навоз+2NPK	0–20	3.15	5.48	29.8
	20–40	2.20	5.45	18.5

Наименьшее содержание подвижного фосфора наблюдалось в вариантах «контроль», «известь» и «навоз» (табл. 1). В этих же вариантах содержание подвижных соединений фосфора в поверхностных и подповерхностных горизонтах было на одинаковом уровне (11.6 и 12.6 для варианта контроль, 9.6 и 9.4 для варианта известь и 14.3 и 14.6 для варианта навоз), в то время как в других вариантах содержание подвижного фосфора было дифференцировано – в поверхностных горизонтах выше, чем в подповерхностных, в среднем на 5.05 мг/100 г почвы при внесении одинарной дозы NPK и на 9.8 мг/100 г почвы при внесении двойной дозы NPK. Максимальное содержание подвижного фосфора наблюдалось в поверхностных горизонтах вариантов с внесением двойной дозы минеральных удобрений совместно с навозом и без (29.8 и 25.1 мг/100 г почвы).

Таблица 2. Коэффициент подвижности фосфора агросерых тяжелосуглинистых почв полевого опыта Владимирского НИИСХ.

Образец	P ₂ O ₅ вал., мг/100 г	P ₂ O ₅ подв., мг/100 г	Коэф. подвижности P ₂ O ₅
Контроль	136	11.6	8.53
Известь	171	9.6	5.61
NPK	174	20.6	11.84
2NPK	204	25.1	12.30
Навоз	164	14.3	8.72
Навоз+NPK	185	22.1	11.95
Навоз+2NPK	165	29.8	18.06

Валовое содержание фосфора было максимально в вариантах «2NPK» (204 мг/100 г) и «навоз+NPK» (185 мг/100 г) (табл. 2). Наименьшее валовое содержание фосфора наблюдалось в варианте «контроль» (136 мг/100 г). Коэффициент подвижности фосфора максимальный в вариантах «2NPK» (12.30), «навоз+NPK» (11.95) и «навоз+2NPK» (18.06), наименьший – в вариантах «известь» (5.61), «контроль» (8.53) и «навоз» (8.72).

Если же посмотреть содержание труднодоступного и недоступного фосфора (вычесть из валового содержания содержание подвижных форм), то максимальное содержание «резервного» фосфора наблюдается в вариантах «2NPK» (179 мг/100 г), «навоз+NPK» (163 мг/100 г) и «известь» (161 мг/100 г). Наименьшее содержание труднодоступного и недоступного фосфора наблюдается в вариантах «контроль» (124 мг/100 г) и «навоз+2NPK» (135 мг/100 г). Варианты «NPK» и «навоз» занимают промежуточное положение – 153 и 150 мг/100 г, соответственно.

В слое 0–20 см наименьшей РВС^Р обладают почвы вариантов с внесением 2NPK (с навозом и без) (табл. 3). Чуть лучшей РВС^Р обладают почвы вариантов «навоз» и «навоз+NPK». И, наконец, наилучшей РВС^Р обладают образцы почв «контроль», «NPK» и «известь». Тем не менее, за 20 лет ведения полевого опыта, во всех вариантах применения удобрений произошло снижение РВС^Р. Применение одной дозы NPK снизило РВС^Р в 3 раза, а применение навоза – в 5 раз, по сравнению с контролем. В варианте «навоз+2NPK» показатель Q/I в 7 раз ниже, а в варианте «2NPK» в 14 раз ниже, чем в контроле.

В слое 20–40 см наблюдается похожая картина: наибольшей РВС^Р обладают почвы вариантов «контроль», «известь» и «NPK». Наименьшей – «навоз+2NPK» и «навоз» (в 5 и в 2.5 раза ниже, чем в контрольном варианте, соответственно). Внесение минеральных удобрений больше повлияло на снижение РВС^Р в поверхностном слое, а навоза – в подповерхностном.

Снижение РВС^Р в вариантах с внесением навоза объясняется ростом содержания органического вещества и, как следствие, повышением количества органоминеральных пленок на поверхности минералов, которые служат основным поглотителем фосфатов. То есть органическое вещество и фосфаты являются конкурентами в борьбе за сорбционные

места. Снижение PBC^P в вариантах с внесением NPK объясняется тем, что в почвах, где регулярно вносятся фосфорные удобрения, большинство сорбционных мест уже занято, и почвенный поглощающий комплекс способен удерживать меньшее количество фосфатов, нежели в контрольных вариантах. При этом, чем больше дозы вносимых удобрений, тем меньше в ППК свободных сорбционных мест.

Таблица 3. Потенциальная буферная способность агросерых тяжелосуглинистых почв полевого опыта Владимирского НИИСХ.

Образец	Глубина, см	Равновесная активность H_2PO_4 (I), моль $\cdot 10^{-7}$ /л	Общий запас подвижных фосфатов почвы, Q, моль $\cdot 10^{-7}$ /г	Потенциальная буферная способность (Q/I)
Контроль	0–20	4.3	6.0	1.4
	20–40	15.4	5.0	0.3
Известь	0–20	2.3	0.9	0.4
	20–40	1.2	4.0	3.4
NPK	0–20	2.0	1.0	0.5
	20–40	0.1	0.4	6.8
2NPK	0–20	16.7	2.0	0.1
	20–40	1.6	4.0	2.5
Навоз	0–20	7.3	2.0	0.3
	20–40	1.5	2.0	1.3
Навоз+NPK	0–20	1.2	0.3	0.3
	20–40	1.7	4.0	2.3
Навоз+2NPK	0–20	29.9	5.0	0.2
	20–40	3.0	2.0	0.7

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, во всех вариантах внесения удобрений повышается содержание гумуса. При этом внесение двойной дозы минеральных удобрений совместно с навозом и без, хоть и приводит к снижению потенциальной буферной способности почв по отношению к фосфору, но позволяет почвам поддерживать на высоком уровне содержание подвижных фосфатов. Однако внесение двойной дозы минеральных удобрений совместно с навозом приводит к снижению «резервных» форм фосфатов за счет большего выноса питательных элементов с урожаем. Такое же пониженное содержание труднодоступных и недоступных фосфатов наблюдается и в контрольном варианте. Кроме того, внесение двойной дозы минеральных удобрений без навоза приводит к значительному повышению кислотности почвенного раствора.

В вариантах с «умеренным» внесением удобрений (навоз+NPK, NPK) остаются на хорошем уровне и содержание подвижного, и «резервного» фосфора, и потенциальная буферная способность почв. Правда, при внесении NPK без навоза кислотность почвенного раствора повышается.

Внесение извести и навоза приводит к оптимизации всех изученных показателей, кроме содержания подвижных фосфатов – оно находится на низком уровне.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Beckett P.H.T.* Studies on soil potassium. The intermediate Q/I relation of labile potassium in the soil. Soil science, 1964, vol.15, p.9–23.
2. *Beckett P.H.T., White R.E.* Studies on the phosphate potentials of soils. Part III. The pool of labile inorganic phosphate. Plant and Soil, 1964, № 3, v. 21, p. 253.

3. Гинзбург К.Е. Определение потенциальной буферной способности почв в отношении фосфора. Агрохимические методы исследования почв. М., «Наука», 1975, с. 174–175.
4. Иванов А.Л. Фосфор в земледелии: управление и экология. Казахстан: Алма-Ата, 1991, 350 с.
5. Иванов А.Л., Сычев В.Г., Державин Л.М., Адрианов С.Н., Бражникова Н.В., Карпова Д.В., Карпунин А.И., Кирпичников Н.А., Конончук В.Д., Самойлов Л.Н. Агробιοгеохимический цикл фосфора. М., Россельхозакадемия, 2012, 513 с.
6. Иванов А.Л., Чернов О.С., Карпова Д.В. Приемы окультуривания серых лесных почв Владимирского ополья. Из-во МГУ им. М.В. Ломоносова, 2000, 119 с.
7. Касицкий Ю.И., Мазюк Н.Н., Лупина А.А. Аналитическая оценка доступности фосфатов в почвах Краснодарского края. Агрохимия, 1983, № 5, с. 15.
8. Кирпичников Н.А., Андрианов С.Н. Действие и последствие фосфорных удобрений на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве при различной степени известкования. Агрохимия, 2007, № 10, с. 1–11.
9. Кирюшин В.И., Иванов А.Л., Ненайденко Н.Г., Волощук А.Т., Перевертин К.А. Проблемы химизации в адаптивно-ландшафтном земледелии Владимирского ополья. М., 2000, 128 с.
10. Крейер К.Г., Петрова О.А. Использование параметров сорбции-десорбции ионных форм элементов минерального питания растений для оценки агрохимического состояния дерново-подзолистых почв. Вестник СПбГУ, сер. 3, 2006, вып. 1.
11. Кудеяров В.Н., Башкин В.Н., Кудеярова А.Ю., Бочкарев А.Н. Экологические проблемы применения минеральных удобрений. Под ред. Ковды В.А. М.: Наука, 1984, 213 с.
12. Кулаковская Т.Н., Кнашиц В.Ю., Богдевич И.М. Оптимальные параметры плодородия почв. М., 1984.
13. Макаров М.И. Фосфор органического вещества почв. М.: Геос, 2009, 397 с.

Автор выражает благодарность за помощь, содействие в исследованиях, ценные советы д.с.-х.н. Карповой Дине Вячеславовне, к.б.н. Роговой Ольге Борисовне, д.ф.-м.н. Савичеву Александру Тимофеевичу, д.с.-х.н. Окоркову Владимиру Васильевичу и к.с.-х.н. Феновой Оксане Олеговне.

Работа рекомендована д.с.-х.н., в.н.с. кафедры эрозии и охраны почв МГУ имени М.В. Ломоносова Д.В. Карповой.

УДК 631.41

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЦЕЗИЯ-137 ПО ПРОФИЛЮ ПАХОТНЫХ И ЦЕЛИННЫХ ПОЧВ ЛЕСОСТЕПИ В ПОСТ-ЧЕРНОБЫЛЬСКИЙ ПЕРИОД

О.Л. Комиссарова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,

komissarova-olga93@yandex.ru

Анализируется современная радиоэкологическая обстановка на территории Плавского радиоактивного пятна Тульской области. Средняя плотность загрязнения почв Cs-137 составляет 200 кБк/м². Наибольшую плотность загрязнения Cs-137 имеют целинные почвы, приуроченные к геохимически подчиненным позициям ландшафта, где плотность загрязнения в 1.5 раза больше по сравнению с пахотными почвами водораздельного пространства. Вертикальное распределение Cs-137 по профилю пахотных почв из-за агротурбации практически равномерно до глубины 30 см, в то время как в целинных почвах содержание Cs-137 резко убывает с глубиной.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 14-05-00903.

© О.Л. Комиссарова, 2017

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время загрязнение почв радиоактивными элементами является одной из острых экологических проблем. Так, в результате аварии на Чернобыльской АЭС в 1986 г. пострадали обширные территории Европейской части России – плотность загрязнения почв Cs-137 свыше допустимого уровня, равного 37 кБк/м^2 , отмечалась на 60 млн га, в том числе более 2.3 млн га пораженных земель пришлось на сельскохозяйственные угодья [2]. В пределах черноземной зоны один из наиболее выраженных ореолов поступления Cs-137 в наземные ландшафты с первоначальной плотностью загрязнения почв от 185 до 555 кБк/м^2 образовался в Тульской области и получил название «Плавское радиоактивное пятно» [2].

Исходный состав чернобыльских выпадений был мультикомпонентным, однако в современный период доминирующее радиоэкологическое значение имеет Cs-137, который поступил в наземные экосистемы в массовом количестве, имеет достаточно длительный период полураспада (около 30 лет) и очень прочно закрепляется в твердой фазе почв.

Способность к необменной (специфической) сорбции ионов Cs-137 гидрослюдами, монтмориллонитом и рядом других глинистых минералов, сопровождающаяся вхождением радионуклида в межпакетные пространства кристаллической решетки, является важной геохимической особенностью поведения радиоцезия в почвах [1]. Соответственно, черноземы, как почвы среднего и тяжелого гранулометрического состава, обогащены глинистыми минералами и обладают выраженным свойством необменного поглощения Cs-137. При этом до 70 % поглощенного черноземами Cs-137 ассоциировано в составе их илистой фракции [1].

В этой связи, при поступлении Cs-137 в наземные экосистемы аэральным путем его закрепление в составе твердой фазы черноземов и накопление происходят в поверхностных горизонтах и слоях почв, а с глубиной содержание радионуклида резко убывает, что отмечается многими исследователями [3, 4]. Вертикальная миграция Cs-137 в почве осуществляется с помощью конвективного переноса, диффузии свободных и адсорбированных ионов, лессиважа, роющей деятельности почвенных животных, но основное заглубление радионуклидов в естественных биогеоценозах происходит по корневым системам растений, а в агроценозах, наряду с указанными выше факторами, большой вклад в миграцию радиоцезия вносит хозяйственная деятельность человека [1].

От скорости вертикальной миграции Cs-137 в почве и локализации его запасов относительно ризосферы зависят темпы распространения радионуклида в системе «почва-растение». В свою очередь, при потреблении корнями радиоактивные вещества поступают в части растений, представляющих пищевую или кормовую ценность, поэтому изучение накопления, миграции и распределения радионуклидов по профилю загрязненных почв является актуальной проблемой.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Исследование современных особенностей аккумуляции и профильного распределения Cs-137 в пахотных и целинных почвах лесостепной зоны проводилось в центральной части Плавского радиоактивного пятна Тульской области (рис.1).

Объектами исследования были почвы, занятые агроценозами (пшеница, ячмень, люцерно-кострецовая травосмесь, козлятник, амарант), а также почвы естественных биогеоценозов (суходольного и влажного лугов). В совокупности они составляют катену косвенного геохимического сопряжения, так как на возвышенной части водораздела расположены фитоценозы, занятые пшеницей, ячменем, козлятником, люцерно-кострецовой травосмесью; на средней выположенной части склона водораздела выращивается амарант, суходольный луг приурочен к нижней присклоновой части водораздела, а влажный луг расположен в гетерономной позиции поймы р. Локна.

Агрогенные фитоценозы располагаются на агрочерноземах глинисто-иллювиальных, суходольный луг – на целинном типичном черноземе глинисто-иллювиальном, пойменный влажный луг – на аллювиальных темногумусовых почвах [5].

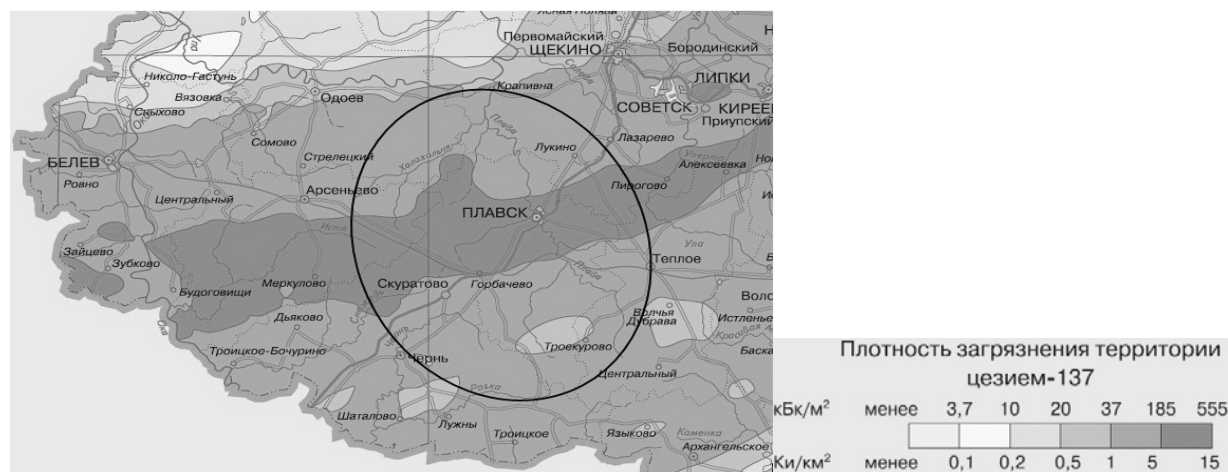


Рисунок 1. Карта плотности загрязнения почв Плавского радиоактивного пятна Cs-137 в 1986 г. [2].

На каждом участке из представленных фитоценозов выбиралось по три площадки. Пробоотбор монолитов почв ненарушенного сложения производился с помощью кольцевого пробоотборника ПГ-450, с площади 300 см^2 , послойно с шагом по 10 см до глубины 30 см. В отобранных образцах почв определялись влажность, плотность сложения и величины удельной активности Cs-137. Исследования М.М. Иванова с соавторами, проведенные в пределах ореола Плавского радиоактивного пятна, показали, что, трехкратная повторность пробоотбора почв с плотностью загрязнения более 100 kBq/m^2 является достаточной для оценки содержания Cs-137 со значением погрешности 25 % и степенью достоверности более 95 % [6].

В лабораторных условиях образцы почвы высушивались до воздушно-сухого состояния, в целях гомогенизации размельчались и просеивались через сито с ячейкой диаметром 1 мм. Измерение содержания Cs-137 в почве проводилось с помощью гамма-спектрометра «Мультирад» с блоком детектирования БДКС-63-01А и использованием программы обработки спектров «Прогресс 5.1».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В результате исследования было установлено, что средняя плотность загрязнения на всем массиве опробования составляет $524 \pm 66 \text{ Бк/кг}$ ($194 \pm 21 \text{ kBq/m}^2$). Наибольшие величины удельной активности и запасов Cs-137 в верхнем 30-см слое имеют целинные почвы, занятые суходольным и влажным лугами, которые приурочены к геохимически подчиненным позициям ландшафта, в то время как параметры аккумуляции Cs-137 в черноземах агроценозов на водоразделах составляют $454 \pm 52 \text{ Бк/кг}$ ($169 \pm 35 \text{ kBq/m}^2$) (табл. 1).,

Почвы водораздела, занятые пшеницей, ячменем, козлятником, люцерно-кострецовой травосмесью, имеют среднюю плотность загрязнения $166 \pm 17.5 \text{ kBq/m}^2$, минимальный запас радионуклида составляет 125 kBq/m^2 , максимальный – 214 kBq/m^2 . Средняя выположенная часть склона водораздела, на которой выращивается амарант, имеет более высокую плотность загрязнения почв Cs-137. Суходольный и пойменный луга, занимающие подчиненные позиции в ландшафте, имеют плотность загрязнения почв Cs-137 на 30 % больше, чем пахотные почвы (рис. 2). Таким образом, плотность загрязнения Cs-137 увеличивается от элювиальных до аккумулятивных ландшафтов, что свидетельствует о латеральной миграции нуклидов при эрозионном переносе, при которой происходит вторичное загрязнение почв.

Таблица 1. Параметры загрязнения почв биогеоценозов и агроценозов Плавского радиоактивного пятна Cs-137.

Биогеоценоз/ агрофитоценоз	Тип почвы	Удельная активность, Бк/кг	Плотность загрязнения почвы, кБк/м ²
Пшеница	Агрочерноземы глинисто- иллювиальные	470±76	176±28
Ячмень		389±73	160±30
Люцерно-кострецовая травосмесь		353±39	137±14
Козлятник		493±85	193±39
Амарант		568±148	200±51
Суходольный луг	Чернозем глинисто- иллювиальный	706±189	256±71
Влажный луг	Аллювиальные темногумусовые почвы	691±91	235±24

При оценке глубины массового проникновения Cs-137 в пахотных и целинных почвах Плавского радиоактивного пятна выявляется существенная разница. Распределение Cs-137 по профилю черноземов агроценозов в пределах пахотного (0–20 см) и старопахотного (20–30 см) горизонтов практически равномерно: в слое 0–10 см содержится 34 % интегральных запасов 30-см толщи, на глубине 10–20 см – 37 %, а в слое 20–30 см – 29 %. В целинных почвах суходольного и пойменного лугов профильное распределение Cs-137 имеет регрессивно-аккумулятивный характер, при этом четко выражено убывание содержания Cs-137 за пределами корнеобитаемого слоя: в верхнем слое плотность загрязнения почв максимальна и составляет 63 %, в слое 10–20 см запасы составляют 29 % пула, а на глубине 20–30 см – всего 8 % (рис.3). Отметим, что опробование почвенных горизонтов пахотных и целинных почв территории за пределами 30-см толщи, которое было проведено в 2011 г., показало, что интенсивность проникновения радиоцезия на большие глубины пренебрежительно мала [4].

Таким образом, практически через 30 лет после чернобыльской аварии в природных биогеоценозах наибольшее накопление Cs-137 обнаруживается в поверхностном 20-см слое почвы, так как основное заглубление радионуклида в данном случае осуществляется его переносом по корневым системам растений, развитым в пределах дерновых горизонтов мощностью 14–18 см. В агроценозах распределение радионуклида в 30-см толще черноземов более равномерно из-за дополнительного механического перемешивания почвы при вспашке. Кроме этого, на равномерное распределение радионуклида до глубины 30 см оказала влияние глубокая вспашка, проведенная в первый год после чернобыльских выпадений в качестве контрмеры по реабилитации сельскохозяйственных угодий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на ежегодное снижение концентрации Cs-137 в почвах, они продолжают оставаться загрязненными: средняя плотность загрязнения почв Cs-137 составляет 200 кБк/м² (при максимально допустимом показателе 37 кБк/м²), что подтверждает долговременность радиоактивного загрязнения почв.

В пределах наземных ландшафтов Плавского радиоактивного пятна наибольшую плотность поверхностного загрязнения Cs-137 имеют целинные почвы геохимически подчиненных позиций, в то время как пахотные почвы водоразделов и их склонов накапливают Cs-137 на 30 % меньше. При этом распределение Cs-137 по профилю пахотных почв практически равномерно за счет процессов агротурбации, а в целинных почвах содержание Cs-137 заметно убывает с глубиной, коррелируя со снижением биомассы корней.

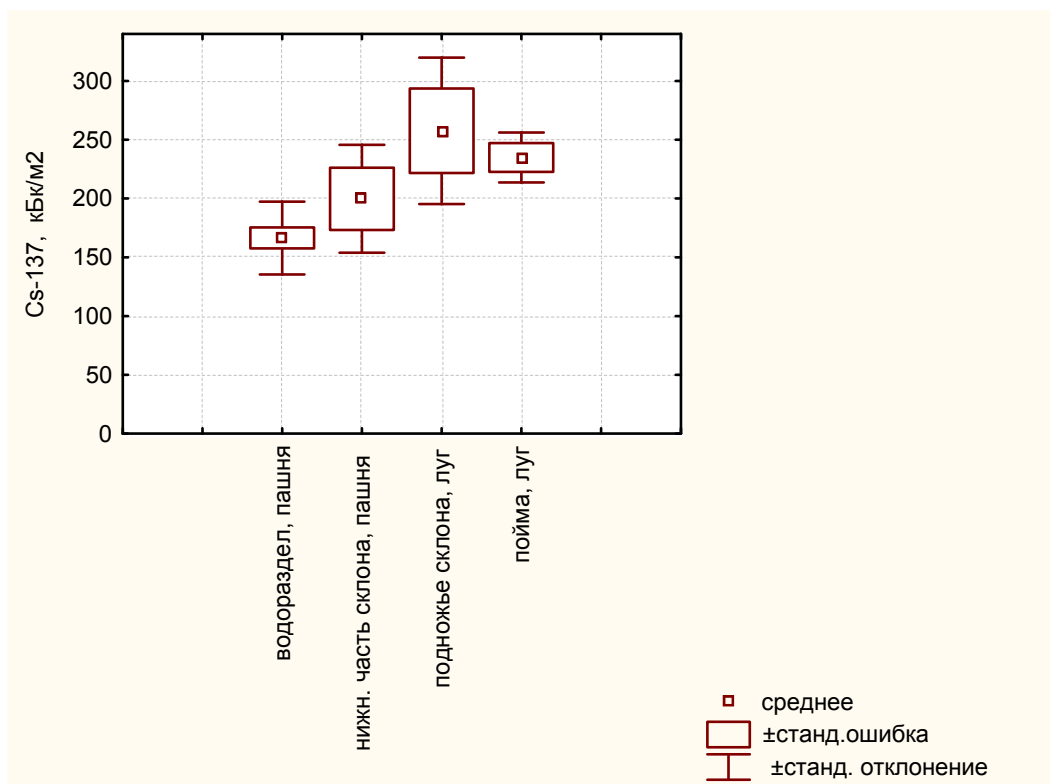


Рисунок 2. Плотность загрязнения Cs-137 пахотных и целинных почв Плавского радиоактивного пятна, приуроченных к различным элементам рельефа, кБк/м^2 .

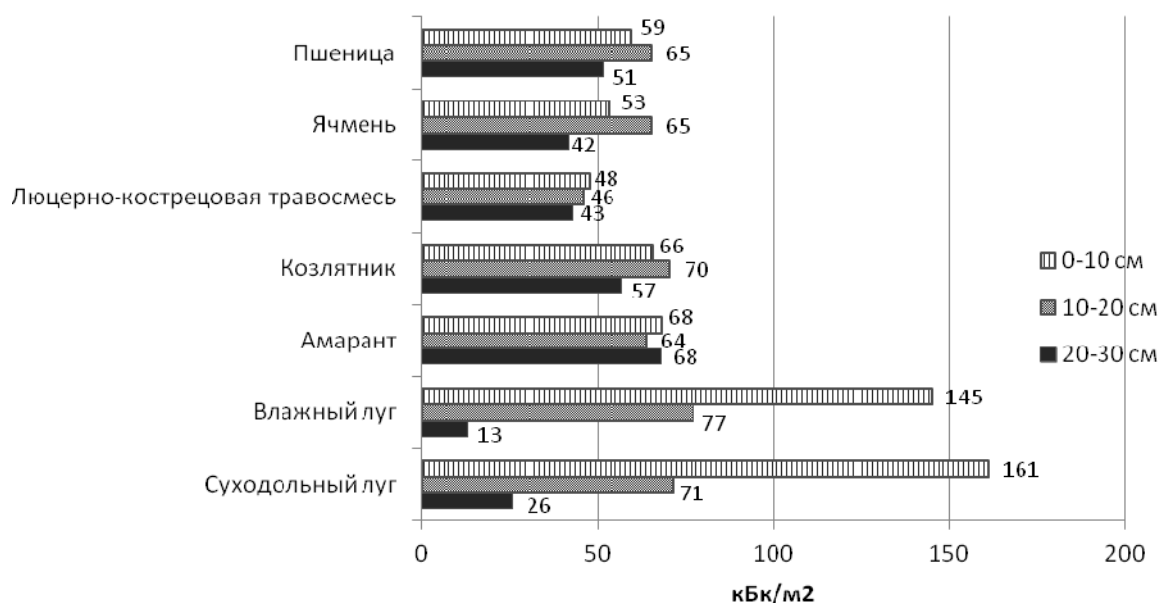


Рисунок 3. Распределение запасов Cs-137 по профилю пахотных и целинных почв Плавского радиоактивного пятна Тульской области, кБк/м^2 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексахин Р.М., Васильев А.В., Дикарев В.Г. и др. Сельскохозяйственная радиологи // Под ред. Алексахина Р.М., Корнеева Н.А. – М.:Экология,1992. – 400 с.
2. Атлас современных и прогнозных аспектов Последствий аварий на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси. – Минск, 2009. – 136 с.
3. Липатов Д., Манахов Д., Вежливцева Л. Миграция ^{137}Cs в залежных и пахотных почвах агроландшафтов Тульской области // Вестник Московского университета. Серия 17. Почвоведение. – 2003. – № 3. – С. 42–48.

4. Романцова Н.А., Парамонова Т.А., Семенихин А.И. Особенности загрязнения почв Плавского радиоактивного пятна Тульской области цезием-137 // Актуальные проблемы экологии и природопользования. М., 2011, Вып.13, Ч.2, С. 172–178.
5. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация почв и диагностика почв России 2004 // Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
6. M. Ivanov at al. Evalution of optimal number of soil samples for detail reconstruction field of 137 Cs fallout in Chernobyl affected areas // Eurasian Journal of Soil Science 4, 2015

Работа рекомендована к.б.н., старшим преподавателем Т.А. Парамоновой.

УДК 631.41

СОВРЕМЕННЫЕ ПАРАМЕТРЫ НАКОПЛЕНИЯ ЦЕЗИЯ-137 В АГРОЧЕРНОЗЕМАХ И РАСТИТЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТАХ БОБОВО-ЗЛАКОВОЙ ТРАВОСМЕСИ НА ТЕРРИТОРИИ ПЛАВСКОГО РАДИОАКТИВНОГО ПЯТНА

О.Л. Комиссарова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
komissarova-olga93@yandex.ru

Исследовалось биогеохимическое поведение Cs-137 в агрочерноземах и компонентах козлятничково-костречовой травосмеси на территории Плавского радиоактивного пятна Тульской области в отдаленный период после аварии на ЧАЭС. Показано, что при плотности радиоактивного загрязнения почв Cs-137 138 ± 32 кБк/м² накопление Cs-137 в растительности (14 ± 8 Бк/кг) соответствовало установленным нормам. Выявлены различия в биологических особенностях корневого потребления и транслокации Cs-137 растениями козлятника (сем. Бобовые) и костреча (сем. Злаки), и показано преимущественная аккумуляция радиоцезия в надземных органах первого и подземных органах последнего.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время изучение поведения радиоактивных элементов в наземных экосистемах является одним из приоритетных направлений в радиоэкологии. Так, в результате аварии, произошедшей на Чернобыльской АЭС в 1986 г., пострадали обширные территории Европейской части России. В пределах черноземной зоны один из наиболее выраженных ореолов радиоактивного загрязнения образовался в Тульской области и получил название «Плавское радиоактивное пятно» с плотностью радиоактивного загрязнения почв Cs-137 в 1986–87 гг. $185–555$ кБк/м² (Атлас современных и прогнозных аспектов, 2009).

В отдаленный период после аварии на ЧАЭС на данной территории остается актуальной проблема миграции Cs-137 в наземных экосистемах (в особенности агрогенных), так как радиоцезий является долгоживущим радионуклидом ($T_{1/2} \sim 30$ лет). Поскольку плодородные черноземные почвы Плавского радиоактивного пятна продолжают интенсивно использоваться в сельском хозяйстве, происходит распространение Cs-137 по пищевым цепочкам, конечным потребителем которых является человек.

На интенсивность перехода Cs-137 в растительность оказывают влияние такие факторы, как физико-химическая форма радионуклида, свойства почвы, плотность радиоактивного загрязнения почвы, климатические условия, положение участка в рельефе, соотношение Cs-137 и калия в почве, микробиологическая активность и т.д. (Сельскохозяйственная радиоэкология, 1992; Greger, 2004; Фокин, 2011 и др.). При одних и тех же вышеуказанных условиях на первый план в процессе формирования корневого потребления радионуклида выходят биологические особенности растений, принадлежащих к различным классам, семействам, видам (Технологические приёмы, обеспечивающие повыше-

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ № 14-05-00903.

© О.Л. Комиссарова, 2017

ние устойчивости агроценозов..., 2010). По обобщенным данным, сельскохозяйственные культуры по накоплению Cs-137 можно ранжировать следующим образом: клубни картофеля < корнеплоды < бобовые < листовные овощи < злаковые (стебли и зерно) (Санжарова и др., 2009; IAEA, 2010).

Большинство исследований миграции Cs-137 в системе «почва-растение» направлено на изучение его поведения в надземной части, тогда как накопление радионуклида в корневой системе остается малоизученным. Однако, в ряде работ показаны различия в аккумуляции Cs-137 между надземной и подземной фракциями растений: установлено, что в корнях злаков содержание Cs-137 в 2–3 раза выше, чем в стеблях и зерне, а для представителей других семейств основное количество Cs-137 сосредоточено в надземной части растений (Юдинцева и др., 1968; Show et al., 1992; Smolders et al., 1993; Soudek et al., 2000; Abu-Khadra et al., 2008; Кожуханов и др., 2011; Paramonova et al., 2015). Таким образом, однодольные растения, имеющие мочковатую корневую систему, вероятно, способны к повышенному накоплению Cs-137 в корнях, в отличие от представителей класса двудольных со стержневой корневой системой.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Для изучения биогеохимического поведения Cs-137 в системе «почва-растение» культур с различными типами корневых систем, а также для выявления влияния биологических особенностей растений агрофитоценозов на его корневое потребление была выбрана площадка в пределах пахотного угодья центральной части Плавского радиоактивного пятна (рис.1) на агрочерноземах глинисто-иллювиальных. На данной площадке выращивалась бобово-злаковая травосмесь из козлятника восточного (*Galega orientalis*, сем. бобовые) и костреца безостого (*Bromus inermis*, сем. злаковые).

Был проведен послойный пробоотбор образцов почв с помощью кольцевого пробоотборника ПГ-450 с шагом 10 см до глубины 30 см в трехкратной повторности. Исследования М.М. Иванова с соавторами (2014), проведенные в пределах ореола Плавского радиоактивного пятна, показали, что трехкратная повторность отбора почв с плотностью загрязнения более 100 кБк/м² является достаточной для оценки содержания Cs-137 со значением погрешности 25 % и степенью достоверности более 95 %.

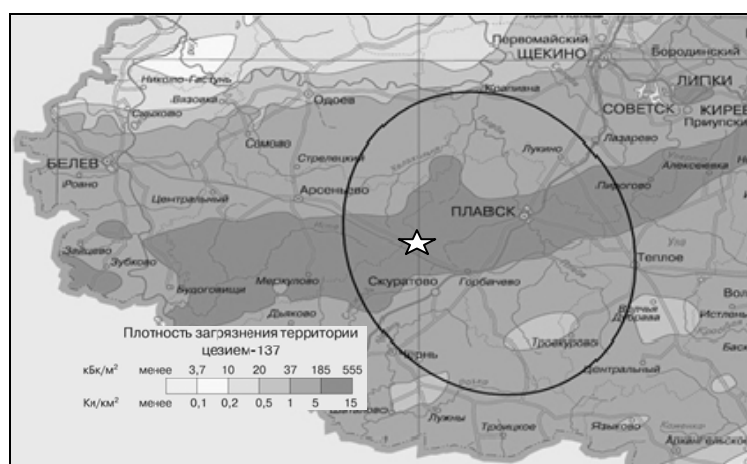


Рисунок 1. Положение участка исследования в пределах Плавского радиоактивного пятна Тульской области (по: Атлас радиоактивного загрязнения..., 1992).

Образцы надземной части растительности отбирались в конце вегетационного сезона 2015 г. методом сплошного укоса с площади 2500 см². Пробоотбор подземной части растений осуществлялся также с помощью кольцевого пробоотборника послойно с шагом в 10 см до глубины 30 см в трехкратной повторности. Компоненты как надземной, так и подземной частей растений разделялись по видам на побеги и корни козлятника и костреца.

В лабораторных условиях образцы почвы и растительности высушивались до воздушно-сухого состояния. В целях гомогенизации почва размельчалась и просеивалась через сито с ячейкой диаметром 1 мм, образцы растений размалывались на лабораторной мельнице. Измерение содержания Cs-137 в почвенных и растительных образцах проводилось с помощью гамма-спектрометра «Мультирад» с блоком детектирования БДКС-63-01А и использованием программы обработки спектров «Прогресс 5.1».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования установлено, что в настоящее время средняя плотность радиоактивного загрязнения Cs-137 пахотного агрочернозема, приуроченного к водораздельной поверхности центральной части Плавского радиоактивного пятна, составила 138 ± 32 кБк/м² (372 ± 79 Бк/кг), что превысило предельно допустимый уровень радиоактивного загрязнения, равный 37 кБк/м², в 4 раза (О социальной защите граждан..., 1992).

В то же время, удельная активность Cs-137 в надземной фитомассе козлятниково-кострецовой травосмеси, которая составляет продуктивную часть агроценоза, удовлетворяла нормам для многолетних трав (100 Бк/кг), установленным СанПиН 2.3.2.1078-01 (2001), и оценивалась как 14 ± 8 Бк/кг. При этом средневзвешенное значение удельной активности Cs-137 в общей фитомассе травосмеси (с учетом её надземных и подземных частей) составляло 9 ± 4 Бк/кг.

Однако компоненты травосмеси обладали различным характером корневого потребления и транслокации Cs-137 между надземными и подземными органами. В целом, содержание Cs-137 в общей фитомассе козлятника было в 5.5 раз меньше, чем в фитомассе костреца (табл. 1).

Таблица 1. Удельная активность Cs-137 в компонентах и фракциях фитомассы бобово-злаковой травосмеси, Бк/кг

Растение/ Фракция фитомассы	Общая фитомасса	Надземная часть	Подземная часть
Козлятник	6 ± 3	8 ± 5	3 ± 2
Кострец	35 ± 9	18 ± 8	42 ± 11

Раздельный учет подземной и надземной фракций растений позволил выявить причину относительно повышенной аккумуляции Cs-137 в растениях костреца. Оказалось, что удельная активность радиоцезия в корнях костреца $\approx$ в 2.5 раза выше, чем в его надземной части, в то время как для козлятника наблюдалась обратная картина. Следовательно, накопление Cs-137 в корнях злаков является их ярко выраженной биологической особенностью.

Для оценки сравнительной интенсивности корневого потребления Cs-137 козлятником и кострецом из радиоактивно загрязненных почв использовался коэффициент накопления (КН), рассчитывающийся как соотношение величин удельной активности радионуклида в растительности и в почве. Для всех компонентов и органов растительности значения КН составляли <1 , что свидетельствовало о низком потреблении Cs-137 растениями из почвы (рис. 2). При этом численные значения КН для растений козлятника и костреца в целом соответствовали референтным показателям КН, рекомендованным МАГАТЭ (Санжарова и др., 2009; IAEA, 2010), для бобовых и злаковых культур соответственно. Согласно полученным значениям КН, аккумуляция Cs-137 в корнях злаков с мочковатой корневой системой выше, чем в их надземной части, тогда как для бобовых культур со стержневой корневой системой отмечается обратный тренд.

С учетом показателей биологической продуктивности бобово-злаковой травосмеси было установлено, что параметры аккумуляции Cs-137 в надземной части как козлятника, так и костреца низкие по сравнению с его накоплением в подземной части растений (табл. 2), что связано с преобладанием фитомассы корней над фитомассой побегов.

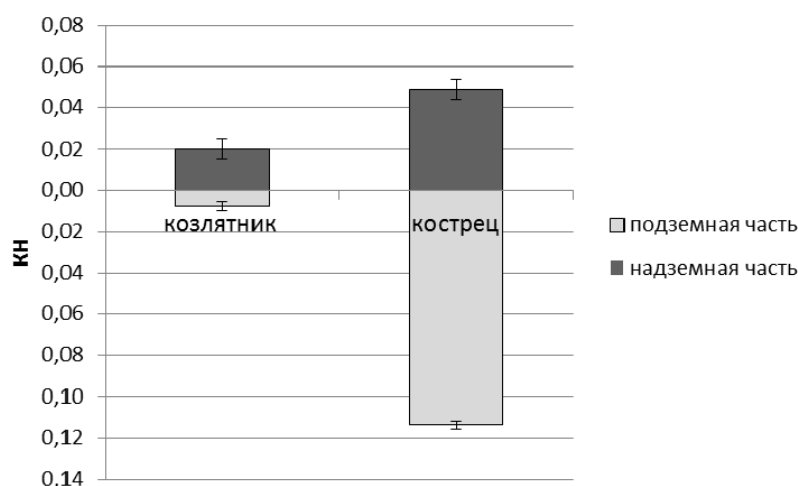


Рисунок 2. Коэффициент накопления Cs-137 в компонентах и фракциях фитомассы бобово-злаковой травосмеси.

Таблица 2. Запасы Cs-137 в фитомассе компонентов бобово-злаковой травосмеси, Бк/м².

Растение/ Фракция фитомассы	Общая фитомасса	Надземная часть	Подземная часть
Козлятник	4±2	2±0.7	6±3
Кострец	8±3	1±0.5	16±5

Анализ общего распределения Cs-137 в системе «почва-растение» показал, что основной запас радиоцезия сосредоточен в почве, а в фитомассу травосмеси переходит не более 0.01 % от общего пула радионуклида, что свидетельствует о прочности фиксации Cs-137 в почве и низком потреблении его растительностью вне зависимости от принадлежности к определенной систематической группе (табл. 3).

Таблица 3. Распределение запасов Cs-137 в системе «почва-растение» бобово-злаковой травосмеси.

Компонент	Запас Cs-137 в растении, кБк/м ² , %	Запас Cs-137 в почве, кБк/м ² , %
Козлятник	0.004 (0.003)	138 (99.994)
Кострец	0.005 (0.004)	
Травосмесь	0.009 (0.006)	

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на ежегодное снижение концентрации Cs-137 в почвах вследствие радиоактивного распада и практически 30-летний период, прошедший с момента аварии на Чернобыльской АЭС, плотность загрязнения агрочерноземов Плавского пятна Cs-137 в настоящее время продолжает превышать предельно допустимый уровень радиоактивного загрязнения в 4 раза. Однако переход Cs-137 в травянистую растительность низкий, содержание радионуклида в укосе бобово-злаковой травосмеси соответствует санитарно-гигиеническим нормам для кормовых трав. Среди компонентов травосмеси относительно более высокие параметры аккумуляции Cs-137 характерны для злаков: величина удельной активности радионуклида в общей биомассе костреца в 5.5 раз больше, чем в общей биомассе козлятника.

Биологической особенностью распределения Cs-137 между надземной и подземной частями костреца – представителя класса однодольных культур с мочковатой корневой системой – является преимущественное накопление радионуклида в корнях. Для козлятника – представителя класса двудольных культур со стержневой корневой системой – более высокие значения удельной активности и запасов Cs-137 отмечаются побегах. Однако

с учетом распределения фитомассы между корнями и побегами запасы Cs-137 в подземной части и костреца, и козлятника превышают его запасы в надземной фракции.

В распределении Cs-137 в системе «почва-растение» бобово-злаковой травосмеси Плавского радиоактивного пятна >99.99 % пула радионуклида сосредоточено в пахотном горизонте агрочерноземов, что свидетельствует о прочности фиксации Cs-137 в почве и низкой биологической доступности для растений.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Атлас современных и прогнозных аспектов* последствий аварий на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси. – Минск, 2009. – 136 с.
2. *Кожыханов Т.Е. и др.* Особенности накопления техногенных радионуклидов сельскохозяйственными культурами в районе проведения наземных ядерных испытаний (пл. «Опытное поле») // Актуальные вопросы радиозэкологии Казахстана. Сборник трудов Национального ядерного центра Республики Казахстан, 2011 г. – С. 59–84.
3. *Санжарова Н.И. и др.* Пересмотр параметров миграции радионуклидов в агроэкосистемах // Радиационная биология. Радиозэкология, 2009. – Т. 49, № 3. С. 268–276.
4. *СанПиН 2.3.2.1078-01.* Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов.
5. *Технологические приёмы*, обеспечивающие повышение устойчивости агроценозов, восстановление нарушенных земель, оптимизацию ведения земледелия и получение соответствующей нормативам сельскохозяйственной продукции товаропроизводителями различной специализации // Под ред. Санжаровой Н.И. – Обнинск: ВНИИСХРАЭ, 2010. – 180 с.
6. *Фокин А.Д., Лурье А.А., Торшин С.П.* Сельскохозяйственная радиология. – М.: Дрофа, 2005. – 367 с.
7. *ФЗ N 3061-1 «О социальной защите граждан, подвергшихся воздействию радиации вследствие катастрофы на Чернобыльской АЭС»* (в редакции Закона РФ от 18.06.1992, с изменениями на 29. 06.2015 г.)
8. *Юдинцева Е.В., Гулякин И.В.* Агрохимия радиоактивных изотопов стронция и цезия. – М.: Атомиздат, 1968.
9. *Abu-Khadra et al.* Transfer Factor of Radioactive Cs and Sr from Egyptian Soils to Roots and Leafs of Wheat Plant // IX Radiation Physics & Protection Conference, 2008. – P. 185–196.
10. *Greger M.* Uptake of nuclides by plants // Swedish Nuclear Fuel and Waste Management Co, 2004. – 66 P.
11. *Ivanov M. et al.* Evaluation of optimal number of soil samples for detail reconstruction of initial field of Cs-137 fallout in Chernobyl affected areas // Eurasian Journal of Soil Science, 2015. – Vol. 4, № 4 – P. 227–233.
12. *Paramonova T., Machaeva E., Belyaev V.* Modern parameters of caesium-137 root uptake in natural and agricultural grass ecosystems of contaminated post-Chernobyl landscape, Russia // Eurasian Journal of Soil Science, 2015 – Vol. 4, № 1 – P. 30–37.
13. *Shaw G. et al.* Radiocaesium Uptake and Translocation in Wheat with Reference to the Transfer Factor Concept and Ion Competition Effects Environmental Radioactivity, 1992. – P. 167–180.
14. *Smolders E. et al.* Analysis of the genotypic variation in radiocaesium uptake from soil Plant and Soil, 1993. – P. 431–434.
15. *Soudek P. et al.* Cs-137 and Sr-90 uptake by sunflower cultivated under hydroponic conditions // Journal of Environmental Radioactivity No 88, 2006. – P. 236–250.

Работа рекомендована к.б.н., старшим преподавателем Т.А. Парамоновой.

ПРИМЕНЕНИЕ ФИТОТЕСТА С *ALLIUM SERA* ДЛЯ ОЦЕНКИ ФИТО- И ГЕНОТОКСИЧНОСТИ ПОЧВ

А.Д. Котельникова

ФГБНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва

Показана эффективность применения тест-системы с *Allium sera* для оценки фито- и генотоксичности почв, на примере образцов, загрязненных фоновыми концентрациями группы полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). Выявлена достоверная корреляция между показателями фитотоксичности и рядом почвенных свойств.

ВВЕДЕНИЕ

Современная деятельность человека приводит к деградации почвенного покрова под действием различных загрязняющих агентов. Часто они имеют невыясненные характеристики и, помимо изменений почвенных свойств, приводящих к негативным эффектам, способны оказывать влияние на живые организмы, взаимодействующие с почвой напрямую и опосредованно. Помимо токсикантов, оказывающих общий токсический эффект на растения, произрастающие на загрязненной почве, в настоящее время в окружающей среде находится большое количество факторов, способных влиять на генетический аппарат организмов. Воздействие таковых может приводить к серьезным негативным последствиям, вплоть до вырождения и вымирания видов.

Способность ряда химических соединений вызывать генетические повреждения (так называемый химический мутагенез) известна достаточно давно. Кроме того, известно, что некоторые вещества, не проявляющие общую токсичность, обладают ярко выраженной активностью по отношению к генетическому аппарату. Под генетической активностью понимают способность воздействовать на структурно-функциональное состояние генетического аппарата у организмов всех уровней (от прокариот до человека).

Для выявления генетически активных загрязнителей и оценки их опасности предложен ряд биотестов, одним из которых является фитотест с луком репчатым *Allium sera* (Fiskesjö, 1985). Тест зарекомендовал себя как эффективный инструмент для быстрого выявления фитотоксичности по сдерживанию корневого прироста и генотоксичности по различным аномалиям митоза (Tedesco et al., 2012). Метод рекомендован организациями по охране окружающей среды и здравоохранения ряда европейских стран и ВОЗ (World Health Organization monographs on selected medicinal plants, 1999), позволяет оценить нарушение митотической активности и выявить различные типы aberrаций хромосом.

В настоящее время метод адаптирован для измерения физических факторов (радиация, шумы, вибрация) и химических веществ в водных растворах. Данные по использованию метода для почв ограничены (Mišík et al., 2014). Имеются работы последних лет, где показана перспективность метода с *Allium sera* для оценки техногенного загрязнения почв (Удалова, 2011). Основной проблемой является неадаптированность метода для оценки генотоксичности непосредственно почв.

ОБЪКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужили образцы почв, отобранные на различных участках в районе города Электроугли Московской области. Длительное время город Электроугли развивался как промышленный центр. Это привело к загрязнению местности отходами углеродного, электроугольного, керамического и других производств. Количество загрязняющих веществ, выбрасываемых на единицу площади на территории города, превышает средние показатели по территории Москвы и Московской области (Акимова и др., 1994).

В составе выбросов присутствуют вещества первого класса опасности: 3,4-бенз(а)пирен, свинец, а также медь, фенол, пыль технического углерода (сажа). В почвах города выявлено значительное техногенное накопление 3,4-бенз(а)пирена, меди, свинца, никеля, цинка. Приоритетными загрязнителями для данной территории являются полициклические ароматические углеводороды (ПАУ).

Для тестирования отбирались индивидуальные образцы почв слоя 0–25 см. На каждом участке ландшафта было отобрано по три индивидуальных образца. Участок «Лес» располагался на плакоре, на левобережье р. Малиновки. Согласно данным работы (Геннадиев и др., 2004) почвы данного участка могут быть охарактеризованы как болотно-подзолистые супесчаные под сосновыми с примесью березы разнотравно-вейниковыми лесами. Также на плакоре на правобережье р. Малиновки находился участок «Пашня» с болотно-подзолистыми пахотными супесчаными почвами. На участке «Пойма», расположенном у уреза воды правого берега р. Малиновки, – аллювиальные слаборазвитые супесчано-песчаные почвы.

Участки «Пашня» и «Пойма» геохимически сопряжены. Все точки отбора проб находятся приблизительно на равном расстоянии от железной дороги и автодороги «Москва-Ногинск» (1550–1600 м). Основные промышленные предприятия города Электроугли находятся на удалении от участков: «Пашня» – 1500–2600 м; «Пойма» – 2000–3000 м; «Лес» – 2200–3200 м.

Контролем для исследования послужил почвогрунт фирмы «TERRA VITA Живая земля».

Данные образцы почв подвергались фитотестированию на генотоксичность с *Allium sera*. Обычно при тестировании луковицы помещают в исследуемый раствор. Адаптируя тест для исследования почвы, мы подобрали разведение почвенной суспензии 1:2.5 (6 г почвы и 15 мл воды). На этой суспензии проращивались луковицы в двукратной повторности в течение 5 суток. Проводилось измерение длины пророщенных корешков.

Для проведения анализа отбирали по 5 корешков с каждой луковицы, отрезая кончик длиной около 1 см. Отобранный материал фиксировался в фиксаторе Кларка, затем через 3 дня переводился на долговременное хранение в 70 % спиртовой раствор.

Перед окраской корешки отмывали от спирта в воде. Материал переносили в тигли, которые на 2/3 заполнялись красителем – 2 % ацетоорсеином. Тигель накрывали предметным стеклом. Нагревали над пламенем горелки до тайного кипения (запотевание покровного стекла). Тигель с материалом оставляли на некоторое время для прокрашивания хромосом (30 минут). Затем корешки отмывали от красителя в 45 % уксусной кислоте 10–15 минут. Готовили давленные препараты корневых меристем. Корешок извлекали из уксусной кислоты и помещали на предметное стекло. Лезвием отрезали кончик корешка длиной 2–3 мм. На стекло капали каплю 45 % уксусной кислоты и накрывали корешок покровным стеклом. Далее, придерживая покровное стекло, аккуратно раздавливали корешок спичкой до получения монослоя клеток.

Препараты анализировались под микроскопом. Для этого при малом увеличении находили участок, где расположены мелкие почти квадратной формы клетки. Это молодые, активно делящиеся клетки. Рассматривали весь участок, где есть делящиеся клетки, последовательно на соседних полях зрения. Чтобы не учесть дважды один и тот же участок, рассматривали препарат, передвигая справа налево, затем следующий ряд слева направо. Анализировалось от 2500 до 5000 и более клеток на тестируемый образец с хорошо прокрашенными ядрами, неповрежденными клеточными стенками. Подсчитывали общее количество проанализированных клеток и отдельно по стадиям митоза: в профазе, метафазе, анафазе, телофазе. Затем по полученным данным рассчитывались митотические индексы (МИ) и фазные индексы (ПИ – профазный индекс, МИ – метафазный индекс, АИ – анафазный индекс, ТИ – телофазный индекс) по следующим формулам (Love, Love, 1975):

$$MI, \% = \frac{(П + М + А + Т)}{N} \cdot 100,$$

где MI – митотический индекс, $(П + М + А + Т)$ – сумма клеток, находящихся на стадии профазы, метафазы, анафазы и телофазы соответственно, N – общее количество клеток.

$$ПИ, \% = \frac{П}{(П + М + А + Т)} \cdot 100, \quad МИ, \% = \frac{М}{(П + М + А + Т)} \cdot 100,$$

где $П, М$ – количество клеток, находящихся на стадии профазы, метафазы и т.д.

А также митотоксический ($МЭ$) и фитотоксический эффект ($ФЭ$), вычисляемые на основании отношения к контролю MI и длины корней соответственно по формулам:

$$ФЭ, \% = \frac{(L_c - L_s)}{L_c} \cdot 100, \quad МЭ, \% = \frac{(MI_c - MI_s)}{MI_c} \cdot 100,$$

где L_c – длина корня в контроле, L_s – длина корня в образце, MI_c – митотический индекс в контроле, MI_s – митотический индекс в образце.

В образцах были определены почвенные свойства: рН, содержание углерода (по Тюрину с титриметрическим окончанием), фракции физической глины и ила (методом лазерной дифракции на приборе «Analysette 22»). Количественное определение содержания индивидуальных ПАУ (флуорен, нафталин, гомологи нафталина, фенантрен, хризен, пирен, антрацен, тетрафен, 3,4-бензпирен, 1,12-бензпирен, ретен, 1,2-бензпирен, коронен) осуществлялось после экстрагирования n -гексаном методом спектроскопии Шпольского с применением спектрофлуориметра «Флуорикорд».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

По результатам тестирования показано статистически достоверное ($p=0.95$) снижение длины корешков и митотической активности клеток апикальной меристемы лука по сравнению с контрольным опытом. Значения доверительного интервала $ФЭ$ составили от 7–15 до 68.4–100.4 %, $МЭ$ – от 37.5–42.8 до 75.5–78.5 % ($p=0.95$) (рис. 1). Полученные данные говорят о высокой чувствительности метода, способного фиксировать снижение корневого прироста и изменения в активности деления клеток даже при фоновых уровнях загрязнения.

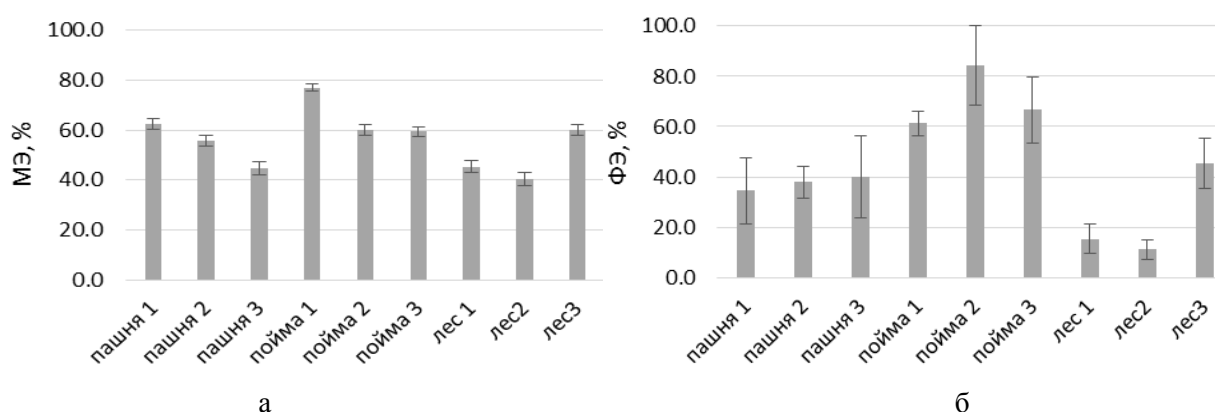


Рисунок 1. Величина митотоксического (а) и фитотоксического (б) эффекта в клетках меристемы проростков корешков *Allium cepa* для индивидуальных образцов.

Для объяснения причин изменения MI было необходимо провести анализ продолжительности фаз митоза, для этого используются фазные индексы ($ПИ, МИ, АИ, ТИ$). Этот анализ позволил предположительно охарактеризовать специфичность митотоксического действия тестируемых факторов в изучаемых почвах. На диаграмме (рис. 2) представлены ранжированные значения MI и относительные значения фазных индексов. В целом можно отметить, что с уменьшением MI происходит увеличение нарушения длительности фаз митоза относительно контрольного опыта. При этом нельзя отметить единой

тенденции изменения продолжительности фаз, следовательно, воздействие, которое оказывается на митотический аппарат, различается.

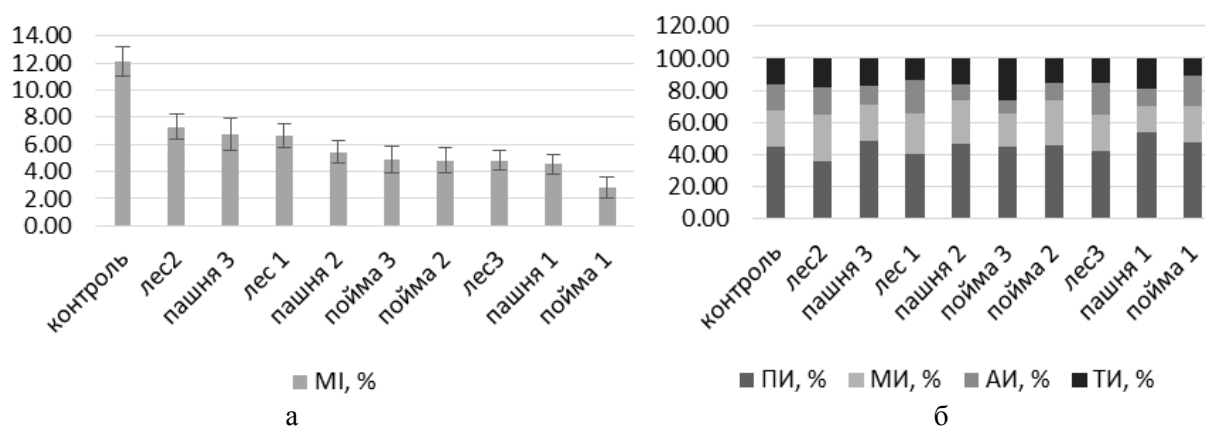


Рисунок 2. Ранжированные значения МИ (а) и относительные значения фазных индексов (б) в клетках меристемы проростков корешков *Allium cepa*.

Увеличение МИ на фоне общего снижения МИ для большинства образцов говорит о влиянии генотоксичных факторов на митотический аппарат клетки. Сходный эффект увеличения МИ и снижения АИ на фоне общего уменьшения МИ для образцов 2.3 с участка «Пашня» и 1, 2 с участка «Пойма» позволяет предположить повреждение митотического аппарата по типу К-митоза. Несколько иное соотношение фазных индексов в основном в образцах с участка «Лес» с увеличением АИ свидетельствует о нарушении цитотомии.

Была выявлена статистически достоверная ($p=0.95$) прямая корреляционная зависимость ФЭ с суммарным содержанием группы ПАУ ($r=0.90$), а также в отдельности для фенантрена ($r=0.95$), пирена ($r=0.90$), антрацена ($r=0.97$) и тетрафена ($r=0.90$), что говорит о возможном значительном вкладе этих загрязнителей в фитотоксичность изучаемых почвенных образцов. Положительная корреляция ФЭ с содержанием углерода ($r=0.78$), фракции физической глины ($r=0.73$) и ила ($r=0.85$) говорит о возможной роли этих активных почвенных фракций в качестве носителей токсичных факторов и способности модифицировать их фитотоксическое действие в почве, что требует дальнейшего изучения. Для МЭ подобных статистически достоверных зависимостей показано не было. Возможно, тестируемое снижение митотической активности обусловлено иными факторами и/или их совместным действием с изученными показателями, определившим митотоксический эффект.

Для выяснения вклада в фито- и генотоксичность исследуемых факторов необходимо продолжение работы, возможно модельные эксперименты, с четко фиксированными характеристиками тестируемых почвенных образцов.

ВЫВОДЫ

1. Уровни загрязнения химическими мутагенами (1–15 нг/г 3,4-бензпирена и 91–297 нг/г суммарного содержания группы ПАУ) почв исследованных участков в районе г. Электроугли Московской области согласно имеющимся санитарно-гигиеническим критериям могут быть охарактеризованы как фоновые.

2. По результатам биотестирования с *Allium cepa* для исследованных образцов почв регистрируется достоверный МЭ (по снижению митотического индекса) и ФЭ (по изменению ростовых показателей фитотестера).

3. Анализ длительности фаз митоза по величинам фазных индексов позволил охарактеризовать особенности митотоксического действия генетически активных факторов в почвах изученных участков. Не отмечено единой тенденции изменения фазных индексов

в ранжированном по митотоксичности ряду образцов, что свидетельствует о различных механизмах митотоксического действия в ряду тестируемых почв.

4. В условиях фонового загрязнения почв мутагенами химической природы выявляются достоверные корреляции между загрязнителями и показателем фитотоксического эффекта. Однако, обосновать фито- и генотоксичность непосредственным влиянием загрязнителей по результатам проведенных биотестов не представляется возможным из-за маскирующего влияния почвенных характеристик, существенно различающихся для ряда тестируемых образцов.

5. Выявляются достоверные корреляции между рядом почвенных свойств и показателем фитотоксичности. Показана достоверная взаимосвязь величины ФЭ и содержанием $C_{орг}$ и фракций физической глины и ила, возможно играющих роль носителей токсичных факторов.

Так, фитотест позволил выявить и количественно оценить фито- и генотоксичность почвенных образцов при фоновых уровнях загрязнения, что говорит о высокой эффективности использованной тест-системы с *Allium cepa*. Результаты исследования показали, что оценка экологического риска для почв только по содержанию загрязнителей является недостаточной. Более глубокая оценка, учитывающая воздействие на живые организмы, требует применения высокочувствительных биотестов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимова Т.А., Хаскин В.В., Батоян В.В., Моисеенков О.В. Сравнительный анализ и оценка экологического состояния районов Московской области // М.: Аслан, 1994. 48 с.
2. Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И., Чернявский С.С., Алексеева Т.А., Ковач Р.Г. Формы и факторы накопления полициклических ароматических углеводородов в почвах при техногенном загрязнении (Московская область) // Почвоведение, № 7, 2004. с. 804–818.
3. Удалова А.А. Биологический контроль радиационно-химического воздействия на окружающую среду и экологического нормирование ионизирующих излучений // Автореф. дисс. д-ра биол. наук. Обнинск: ВНИИ сельскохозяйственной радиологии и агроэкологии. – 2011.
4. Fiskesjo G. The Allium test as a standard in environmental monitoring // Hereditas. – 1985. – V. 102. – № 1. – P. 99–112.
5. Love A., Love D. Plant chromosomes. – Vaduz: J. Cramer, 1975.
6. Mišík M., Burke I.T., Reismüller M., Pichler C., Rainer B., Mišíková K., Mayes W.M., Knasmueller S. Red mud a byproduct of aluminum production contains soluble vanadium that causes genotoxic and cytotoxic effects in higher plants // Science of the Total Environment. – 2014. – V. 493. – P. 883–890.
7. Tedesco S.B., Laughinghouse IV H.D. Bioindicator of genotoxicity: the Allium cepa test. – INTECH Open Access Publisher, 2012.
8. World Health Organization monographs on selected medicinal plants // World Health Organization. – Geneva, 1999. – V. 1.

Выражаем благодарность за аналитические работы по определению содержания ПАУ в образцах сотрудникам лаборатории углеродистых веществ биосферы географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Работа рекомендована к.б.н., старшим преподавателем кафедры радиоэкологии и экотоксикологии факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова В.В. Столбовой.

ПИТАТЕЛЬНЫЙ СТАТУС ПОДЗОЛОВ ЛОКАЛЬНОЙ ЗОНЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОМБИНАТА «СЕВЕРОНИКЕЛЬ»

А.Н. Кубрак

Полярно-альпийский ботанический сад-институт им. Н.А. Аврорина КНЦ РАН, г.
Апатиты

В данной статье представлены результаты многолетних исследований воздействия комбината «Североникель» на питательный статус подзолов локальной зоны. Проведено сравнение распределения концентраций доступных форм элементов питания в подзолах локальной зоны воздействия комбината «Североникель» и в ненарушенных подзолах Кольского полуострова, оцененных на основе компилированных данных предшествующих исследований.

ВВЕДЕНИЕ

Медно-никелевый комбинат «Североникель» на Кольском полуострове является одним из крупнейших источников выбросов SO_2 и тяжелых металлов на Севере Европы. Длительное воздействие этого предприятия привело к экстремально высокому уровню химического загрязнения почв большим спектром элементов (Ag, Al, As, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Tl, V, Zn и др.) и масштабному повреждению экосистем (Кашулина, 2002).

Максимальные объемы выбросов SO_2 пришлось на 70–80-е гг. В соответствии с требованиями международной конвенции 1979 г. и в результате частичной реконструкции комбината (<http://www.kolagmk.ru>), выбросы SO_2 за последние 20 лет снизились до 30 тыс. т. Общий объем выбросов SO_2 за весь период деятельности этого предприятия к настоящему времени уже превысил 20 млн т.

Цели данной работы: 1) охарактеризовать питательный статус подзолов локальной зоны воздействия комбината «Североникель» после 70-летнего воздействия выбросов этого предприятия, основным компонентом которых является закисляющий газ – SO_2 ; 2) выявить основные факторы влияния длительного загрязнения на питательный статус эродующих подзолов локальной зоны.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В 2001 г. на территории водосборного бассейна оз. Мончезеро для организации комплексного почвенного-геоботанического мониторинга было заложено 6 катен (римские цифры I, II, III, IV, V). Каждая катена представлена 3–4 площадками, расположенными на сопряженных элементах рельефа (вершинах холмов/верхние части склонов, у подножия склонов и в локальных депрессиях, арабские цифры 1–4, начиная с верхних элементов рельефа). В данной статье представлены данные по подзолам, площадки: I-1, II-1, III-2, IV-1 и IV-2 (табл. 1).

При организации почвенного геоботанического мониторинга в 2001 г. в центре каждой стационарной площадки были сделаны почвенные разрезы и отобраны образцы основных генетических горизонтов. Смешанные пробы верхнего слоя 0–3 см верхнего генетического горизонта почв (топсойл) основных парцелл отбирались в конце вегетационного периода 2001, 2002, 2005–2012 гг.

Все подзолы локальной зоны комбината находятся в разной степени деградации (Кашулина и др., 2010). Характеристика питательных элементов в исследуемых разрезах эродующих подзолов представлена в табл. 2. Для оценки изменений концентраций доступных элементов питания (P, K, Ca, Mg) в подзолах локальной зоны ориентировались на варьирование концентраций элементов питания в аналогичных горизонтах ненарушенных подзолов Кольского полуострова. Варьирование содержания питательных элементов в естественных условиях было оценено на основе компиляции данных предшествующих

исследователей (*Переверзев, 2004*). Естественное варьирование доступных для растений форм фосфора, калия, кальция и магния подзолов (преобладающий тип почв в регионе) оценено на основе данных с 17-ти разрезов.

Таблица 1. Расположение площадок относительно источника выбросов.

Площадка	Расположение относительно комбината		Абсолютная отметка, м
	Расстояние, км	Направление	
I-1	17.2	ССВ	157
II-1	7.9	С	158
III-2	7.6	ССЗ	157
IV-1	3.2	ССЗ	178
IV-2	3.3	ССЗ	154

Доступные для растений формы Са, Mg, К и Р извлекали лактатно-ацетатно-аммонийной смесью – А – L: 0.1 Н по лактату аммония и 0.4 Н по уксусной кислоте. Доступный для растений фосфор определяли по методу Эгнера-Рима-Доминго, калий – пламенно-фотометрическим методом, доступные для растений кальций и магний определяли комплексонометрическим методом с трилоном Б.

Обработка данных включала определение основных статистических параметров (минимума, максимума, медианы, 5-го и 95-го перцентилей) распределения показателей питательного статуса подзолов, а также построение кривых кумулятивного распределения этих показателей и диаграмм с использованием Microsoft Excel 2003. Для оценки достоверности различий между наборами данных использовали *U*-критерий Манна-Уитни (<http://www.psychol-ok.ru/statistics/mann-whitney>).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Все обследованные подзолы находятся в различной степени деградации (*Кашулина и др., 2010*). Разрезы I-1, II-1, II-1А, III-2 и IV-2 представляют собой эродированные подзолы с остатками органогенного горизонта O_{ог} на поверхности. Разрез IV-1 представляет крайнюю степень деградации подзола – абразем альфегумусовый, в котором эрозией полностью разрушены верхние горизонты О и Е (табл. 2).

В локальной зоне воздействия комбината «Североникель», как и в фоновых условиях, доступный для растений *фосфор* аккумулируется в верхнем эродирующем органогенном горизонте O_{ог}. В большинстве минеральных горизонтов эродирующих подзолов локальной зоны концентрация доступного фосфора – ниже предела обнаружения (табл. 2). Низкие концентрации доступного фосфора в минеральных горизонтах свойственны и ненарушенным подзолам Кольского полуострова. Наибольшее количество доступного для растений фосфора содержится в эродирующем органогенном горизонте O_{ог} наименее нарушенной и наиболее удаленной площадки I-1– 5.2 мг/100 г почвы. Интересное распределение фосфора наблюдается в разрезе площадки IV-2 (подзол эродированный остаточного оруденелый), где концентрация доступного фосфора возрастает вниз по профилю от 0 мг/100 г (ниже предела обнаружения) почвы в подзолистом горизонте Е до 1.78 мг/100 г (область высоких значений естественного варьирования) почвы в переходном горизонте ЗВСЗ (табл. 2).

Концентрации доступного для растений *калия* в эродирующих органогенных горизонтах O_{ог} исследуемых разрезов находятся в области низких значений природного варьирования (табл. 2). Концентрации калия в минеральных горизонтах исследуемых разрезов находятся в области экстремально высоких значений природного варьирования (табл. 2). Наиболее высокая концентрация принадлежит площадке I-1, горизонт O_{ог} – 38.7 мг/100 г почвы, наименьшая – площадке IV-2, подзолистый горизонт Е – 5 мг/100 г почвы.

Концентраций доступного для растений *кальция* находятся в области низких и средних значений природного варьирования (табл. 2).

Концентрации доступного для растений *магния* по профилю эродировующих подзолов снижаются от горизонта O_{er} до горизонта BC и C. Практически во всех разрезах концентрации магния как в органогенных, так и в минеральных горизонтах находятся в области высоких и экстремально высоких значений природного варьирования (табл. 2).

Таблица 2. Распределение основных элементов питания в основных горизонтах техногенно трансформированных подзолов локальной зоны воздействия комбината «Североникель», мг/100 г почвы.

Горизонт	Глубина, см	P	K	Ca	Mg
Разр. I-1. Подзол иллювиально-железистый эродированный					
O _{1er}	0–1	5.2	38.7	70.3	74.6
O _{2er}	1–4	2.9	33.4	88.8	64.9
BF	5–14	0	10.2	3.3	2
BC1	14–20	0	9.9	9.8	4
C	50–60	0	9.2	4.9	3
Разр. IV-2. Подзол эродированный остаточно оруденелый					
O _{er}	0–4	3.7	19.4	17	319.9
E	4–7	0	5	4.8	12.7
BF	7–11	0	8.5	6.6	6
2BF _{fn}	11–26	0	8.5	6.6	6.3
3BC _{fn1}	26–43	0.31	8.4	11.3	6.9
3BC2	43–60	1.36	8.4	8	8.8
3BC3	60–70	1.78	8.4	12.9	7.8

Примечание: обычный шрифт – величина находится в области средних значений (между 25 и 75 перцентилями) распределения показателей в естественных почвах; *курсив* – величина в области низких значений естественного варьирования этого параметра (между 25 перцентилями и минимальным значением); *курсив с подчеркиванием* – величина опускается ниже минимального значения варьирования этого параметра в естественных почвах; **жирный шрифт** – величина находится в области высоких значений естественного варьирования этого параметра (между 75 перцентилями и максимумом); **жирный с подчеркиванием** – величина выше максимального значения естественного природного варьирования этого параметра.

За годы наблюдения содержание доступного для растений *фосфора* в остатках верхнего эродировующего органогенного горизонта (топsoил «пустошь») в локальной зоне варьировало от 0 (площадка III-2, 2001 год) до 25 мг/100 г, медиана 6.4 (площадка IV-2, 2011 год) (табл. 3). Согласно U-критерию Манна-Уитни концентрация доступного для растений фосфора в остатках эродировующего органогенного горизонта O_{er} в локальной зоне достоверно ниже по сравнению с горизонтом O ненарушенных подзолов ($U_{\text{эпм}} = 188 > U_{\text{кр}0.05} = 185$). Недостоверность различий обусловлена появлением двух высоких значений концентраций доступного фосфора на площадке IV-2 – 25 мг/100 г почвы (2011 год) и 18.7 мг/100 г почвы (2010 год).

Содержание доступного *калия* в образцах топsoила «пустошь» за годы наблюдений варьировало от 6 (площадка III-2 2012 год) до 48.9 мг/100 г почвы (площадка I-1 2008 год), медиана 16.5. В фоновых условиях диапазон варьирования элементов в горизонте O составил: для фосфора 1.6 – 24.1 мг/100 г, медиана 9.8 и для калия 4.1 – 105 мг/100 г почвы, медиана 60.4 (таблица 3). Согласно U-критерию Манна-Уитни снижение концентрации доступного для растений калия в остатках эродировующего органогенного горизонта O_{er} в локальной зоне по сравнению с горизонтом O ненарушенных подзолов значимо ($U_{\text{эпм}} = 46 < U_{\text{кр}0.05} = 185$).

Содержание доступного *кальция* в образцах топsoил «пустошь» варьировало от 10.4 до 69.2 мг/100 г почвы, медиана 16.5, в естественных условиях варьирование концентрации кальция от 13 до 301 мг/100 г почвы, медиана 146 (таблица 3). Согласно U-критерию Манна-Уитни концентрация доступного для растений кальция в остатках эродировующего

органогенного горизонта Оег в локальной зоне достоверно ниже по сравнению с горизонтом О ненарушенных подзолов ($U_{\text{эпм}} = 6 < U_{\text{кр}0.05} = 28$).

Таблица 3. Основные статистические параметры (минимум, медиана и максимум, а также значения 5-го и 95-го перцентилей) распределения показателей питательного статуса смешанных образцов топsoйла «пустошь» в локальной зоне (ЛЗ) и фоновых условиях (фон), мг/100 г почвы.

	мин	5 %-le	медиана	95 %-le	макс
Р А-L вытяжка мг/100 г почвы					
Фон	1.6	3.4	9.8	18.9	24.1
ЛЗ	0	0.8	6.4	17.0	25.0
К А-L вытяжка мг/100 г почвы					
Фон	4.1	16.2	60.4	96.7	105.0
ЛЗ	6	6.1	16.5	44.1	48.9
Са А-L вытяжка мг/100 г почвы					
Фон	13.0	60.2	146.0	255.4	301.0
ЛЗ	10.0	11.6	16.5	60.5	69.1
Mg А-L вытяжка мг/100 г почвы					
Фон	1.9	7.84	40.5	83.1	108
ЛЗ	0	2.5	15.6	80.9	87.6

Содержание доступного магния в остатках органогенного горизонта подзолов (топsoил «пустошь» локальной зоны варьировало от 0 до 87.6 мг/100 г почвы медиана 15.6, то есть, в близком к естественному диапазону варьирования: от 1.9 до 108 мг/100 г почвы, медиана 40.5 (табл. 3). Согласно U -критерию Манна-Уитни концентрация доступного для растений магния в остатках эродирующего органогенного горизонта Оег в локальной зоне недостоверно ниже по сравнению с горизонтом О ненарушенных подзолов ($U_{\text{эпм}} = 38 > U_{\text{кр}0.05} = 28$). Это так же связано с появлением единичных высоких значений: 87.5 мг/100 г почвы на площадке II-1 в 2001 году, 60.9 мг/100 г почвы на площадке IV-2 в 2001 г.

Сравнение концентраций фосфора и калия в смешанных образцах топsoил «пустошь» и в органогенных О горизонтах ненарушенных подзолов свидетельствуют о снижении доступных элементов питания в подзолах локальной зоны. Одним из факторов, влияющих на концентрации доступных для растений элементов питания является количество органического вещества, оцененного при потере при прокаливании (ППП) (рис. 1). Площадки по содержанию органического вещества и доступных для растений фосфора и калия распределяются согласно степени их повреждения.

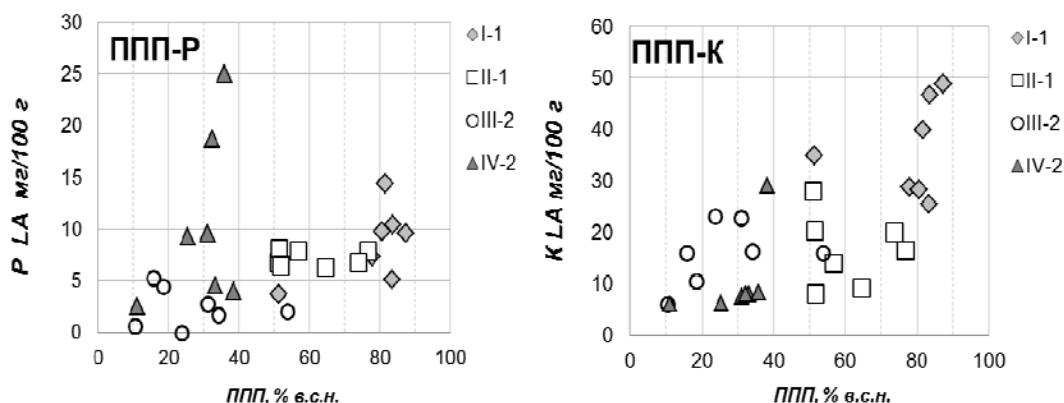


Рисунок. ХУ-диаграммы распределения фосфора, калия (мг/100 г а.с.н.) и ППП (% а.с.н.) в смешанных образцах остатков верхнего органогенного горизонта (топsoил «пустошь») подзолов локальной зоны воздействия комбината «Североникель»

Наиболее высокие концентрации доступного для растений фосфора и калия свойственны наименее загрязненной и более удаленной от комбината площадке I-1 и более загрязненной площадке II-1 из-за большой исходной мощности органогенного горизонта

(рис. 1). В 2010 и 2011 году на площадке IV-2 концентрации фосфора были экстремально высокими – 18.7 и 25 мг/100 г почвы, соответственно (рис.). В остальные годы (2001, 2007–2009, 2012) концентрации фосфора на площадке IV-2 были низкими и принадлежали области низких значений природного варьирования.

Низкие концентрации фосфора и калия свойственны площадке IV-2 – наиболее поврежденной и близко расположенной к источнику, а также площадке III-2 из-за небольшой исходной мощности органогенного горизонта.

ВЫВОДЫ

Подзолы локальной зоны в различной степени являются эродирующими. Концентрации доступных для растений фосфора, калия, кальция и магния в остатках верхнего эродирующего органогенного горизонта O_{ог} (топsoил «пустошь») снижены, но не выходят за рамки природного варьирования. Основное воздействие на питательный статус подзолов локальной зоны комбинат «Североникель» выбросы оказывают посредством косвенного воздействия через разрушение растительности и прекращение поступления свежего растительного опада. Чем ниже содержание в почве органического вещества, тем ниже содержание доступных для растений элементов питания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кашулина Г.М. Аэротехногенная трансформация почв Европейского субарктического региона. Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2002. Ч. 1. 158 с. Ч. 2. 234 с.
2. Кашулина Г.М., Переверзев В.Н., Литвинова Т.И. Трансформация органического вещества почв в условиях экстремального загрязнения выбросами комбината «Североникель»// Почвоведение, 2010, № 10, с. 1265–1275.
3. Переверзев В.Н. Лесные почвы Кольского полуострова. М.: Наука, 2004, 232 с.
4. Интернет-ресурсы: <http://www.kolagmk.ru>, <http://www.psychol-ok.ru/statistics/mann-whitney>

Работа рекомендована д.б.н. Г.М. Кашулиной.

УДК 631.4

НЕКОТОРЫЕ МЕХАНИЗМЫ ФОРМИРОВАНИЯ МОРФОНОВ В ПОДЗОЛАХ СЕВЕРНОЙ ТАЙГИ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Д.М. Кузьмина

Томский государственный университет, г. Томск, kuzmina-dashulya@inbox.ru

В северной тайге Западной Сибири широко распространены подзолы, в которых граница горизонтов Е и В_г имеет языковатую и/или карманистую формы. Проведено критическое рассмотрение гипотез формирования этих форм. На основе исследования, проведенного в бассейне р. Пякупур, предлагаются наиболее вероятные механизмы формирования «языков» и «карманов». Языки являются полигенетическими образованиями, а «карманы» образуются в результате ветровалов. На основании подсчета площади, приходящейся на современные ветровальные почвенные комплексы, показано, что за 9 тысяч лет не менее 30 % площади почвенного покрова могло быть пройдено через стадию ветровала.

ВВЕДЕНИЕ

В таежной зоне Западно-Сибирской равнины на песчаных почвообразующих породах в условиях хорошего дренажа формируются подзолы иллювиально-железистые, значительно реже иллювиально-гумусовые в полугидроморфных позициях, а также подзолы с ортзандом. По особенностям морфологии нижней границы горизонта Е и морфонно-

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ (№ МК-6317.2015.4).

© Д.М. Кузьмина, 2017

горизонтного строения срединного горизонта выделяют подтипы подзолов языковатых и криотурбированных соответственно (Полевой..., 2008). На вертикальном срезе подзолов языковатые участки со слабоволнистой границей E/BF перемежаются с отходящими вглубь белесыми языками. Для криотурбированных подзолов характерны вихревые мозаики различных морфонов: материал горизонтов E, BF, O, C, угли и участки сцементированные оксидами и гидроксидами железа и марганца. Кроме таксономически значимых педоузоров встречаются ещё минимум два, несущих генетическую нагрузку: карманы, образуемые границей E/BF и парцеллярные мозаики в пределах горизонта BF, составными элементами которых являются морфоны E, угли, материал BF с различной насыщенностью цвета, а также стяжения железа и марганца.

До сих пор отсутствует единая точка зрения на происхождение языков, карманов и парцеллярных мозаик. Поэтому целью нашей работы было рассмотреть механизмы формирования вышеназванных морфонов, установить вклад в их формирование ветровалов.

РАЙОН, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве района исследований выбран ключевой полигон, расположенный в бассейне реки Пякупур (северные отроги Сибирских увалов Западно-Сибирской равнины), где развиваются типичные северотаяжные ландшафты на песчаных отложениях.

Объектами изучения стали различные подтипы подзолов. Всего заложено 18 разрезов, 2 траншеи и 5 раскопов современных ветровальных почвенных комплексов (ВПК). Изучались почвы двух геоморфологических форм.

К первой форме относилась первая надпойменная террасы реки Пякупур, рельеф которой представлен древними палеокриогенными формами: полигоны (ширина > 20 м) с подзолами иллювиально-железистыми глееватыми и ортзандовыми глеевыми (ортзанд замещает гор. BF). В межполигональных трещинах (ширина = 2–3 м) встречались подзолы иллювиально-железистые криотурбированные, а на склонах трещин иногда и подбуры.

Ко второй геоморфологической форме относились хорошо дренированные окраины междуречий, прилегающие к низким террасам реки Пякупур и его притоку Харучейяха, либо непосредственно к их пойме. В этих условиях формировались подзолы иллювиально-железистые, а на глубине более 60–70 см в глееватых подтипах появлялась слоистость. Гранулометрический состав слоев варьировал от песчаного до легкосуглинистого и имел признаки конвективных складчатых деформаций. Все подзолы междуречья имели карманистую форму границы гор. E/BF. Бурение на глубину в 10 м показало отсутствие многолетнемерзлых пород.

Производили морфологическое описание почв, детальное фотографирование, зарисовки морфонно-горизонтных мозаик с дальнейшей камеральной обработкой этих материалов. На одном ключевом участке провели исследование параметров современных ВПК с фиксацией их пространственного расположения.

Для различения карманов и языков между собой, использовали следующие морфологические критерии. Так, языки имели вытянутую форму, медленно сужались книзу и были округлы на горизонтальном срезе. Глубина их доходила до 130–160 см, ширина в средней части составляла 5–7 см. Отношение длины к ширине лежало в диапазоне 20–30. У карманов отношение длины к ширине было меньше 10, глубина составляла до 60 см, ширина в средней части – больше 7 см.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для объяснения происхождения языков и карманов предложены следующие гипотезы. Приведем их ниже, сопровождая комментариями о применимости к изученным нами почвам.

1. Засыпка горизонта E по ходам корней деревьев. Встреченные нами и описанные в литературе языки не соответствовали корням деревьев по соотношению длины и ширины.

2. Языки – псевдоморфозы по повторно-жильным льдам, имеющие реликтовый характер (Величко и др., 1996; Кошелева, 2000, 2014; Матышак, 2009) и образовавшиеся после вытаивания плейстоценовых ледяных жил. Доказательством является полигональный характер распределения языков на горизонтальных срезах (Кошелева, 2000, 2014). Однако на выполненных нами горизонтальных срезах, а также опубликованных схемах (Гаврилова, Долгова, 1972; Кошелева, 2000, 2014), полигональный рисунок угадывался лишь в верхней части гор. ВФ и был образован слившимися языками и карманами. На срезах ниже они приобретали изолированные конусовидные окончания. Отметим, что в современных песчаных тундрах повторно-жильные льды (в пределах 1 м от поверхности почвы), образующие решетку с разрешением в несколько десятков сантиметров, явление не характерное, хотя бы из-за довольно значительной мощности деятельного слоя. Отмечаемая Е.А. Кошелевой (2014) приуроченность языков и карманов к понижениям нанорельефа объяснима формированием их и при ветровалах – понижения на месте западин вывалов могут сохраняться несколько тысяч лет (Šamonil et al, 2015). Заметим также, что рассматриваемые западносибирские подзолы были сформированы на отложениях, испытавших существенное переувлажнение в плейстоцене (Земцов, 1962), местами продолжающееся до сих пор, что должно было привести к «стиранию» признаков нанополлигональной сетки жил. В современном почвенном покрове северной тайги сохранилась сеть рельефа, связанная с полигональным рельефом, однако относится она к микроформам с шириной трещин более метра и размером полигонов первые десятки метров в поперечнике (Васильевская и др., 1986).

3. Языки и карманы как результат криоконвективных деформаций (Гаврилова, Долгова, 1972; Матышак, 2009; Смоленцев, 2002), механизм протекания которых предложен Е.В. Артюшковым (1965). Для их появления необходимо, чтобы более плотная порода залегала над менее плотной (разница в плотности сложения не менее $0.1\text{--}0.3\text{ см}^3$). Во влажном состоянии происходит инверсия плотности сложения и более плотная порода под действием силы тяжести вытесняет менее плотную, формируя инволюции различной формы. В изучаемых почвах такой разницы в плотности нет, хотя горизонт Е иногда на 0.1 г/см^3 плотнее, чем ВФ. Условия увлажнения профиля также неблагоприятны. В весенний период, когда происходит водонасыщение верхней части гор. Е, ниже располагается слой сезонной мерзлоты, препятствующей конвекции. Ко времени оттаивания избыток влаги уже успевает стечь. Конвективные деформации в изученных подзолах встречались, но только в горизонте ВС и всегда сопровождаются вихревыми текстурами (текстуры вязкого течения). Е.В. Артюшков (1965) указывает, что формирующиеся по его механизму текстуры имеют вид текстур вязкого течения. Языки и карманы в автоморфных подзолах таких текстур не имели. По механизму, описанному Е.В. Артюшковым (1965), формировались криотурбированные глеевые подзолы в понижениях рельефа. В этих подзолах встречались извилистые белесые языки, окаймленные текстурами деформации вязкого течения. Следовательно, данный механизм протекал в полугидроморфных подзолах.

4. Вывалы деревьев и последующее нивелирование ветровальных западин и бугров. В исследуемом районе корни деревьев располагались неглубоко и были приурочены к иллювиальным горизонтам. Карманы в иллювиальных горизонтах ВФ формировались за счет осыпания материала гор. Е в полости, образованные древесными корнями.

5. Формирование языков в результате отмыwania коллоидных железистых пленок с поверхности песчаных частиц при просачивании растворов вдоль якорных корней сосны. На изученной площади был встречен лишь один ареал языковатого подзола. Располагался он на северном склоне гривы. Просачивание воды по корням может происходить весной, когда по ледяной корочке влага доходит до ствола дерева, окруженного протаявшим кольцом и просачивается вглубь. Возникшие за жизнь одного дерева неоднородности в путях миграции могут воспроизводиться уже после смерти дерева, приводя к росту языков. Изученные нами языки пересекали тонкие прослойки с несколько иным гранулометрическим составом, без следов разрушения. Аналогичное строение имел язык, приведенный на фотографии О.С. Сизова (2015). Это подтверждает версию об инситном происхождении оподзоливания внутри языков, а не в результате вывалов или конвективных деформаций.

Вполне возможно, что существует несколько путей формирования языков. Очевидно, что все перечисленные механизмы принимали участие в формировании профилей северо-таежных подзолов, но разделялись в соответствии с геоморфологическими условиями. Встреченные текстуры и морфоны, формирующиеся в результате протекания перечисленных механизмов, разделялись на криогенно-конвективные, биогенные и остаточные. К первым относились вихревые мозаики, смятые складки слоистых пород, извилистые языки. К биогенным – часть языков, карманы и парцеллярные мозаики. К остаточным – те языки, которые сформировались на месте повторно-жильного льда. Хотя правильнее было бы их называть не языками, а клиновидными псевдоморфозами, так как в 3D они имеют иную форму, чем языки. Но для этого требуется отдельное исследование.

Подробнее остановимся на оценке вклада корневых систем и ветровалов в формирование карманов и парцеллярных мозаик в гор. BF.

В зависимости от глубины ветровала после нивелирования нанорельефа ВПК в почвах формируются три основных морфонно-горизонтных рисунка. Мелкие ветровалы, в которых дно западины залегает целиком в пределах гор. Е, не оказывали заметного влияния на морфологию подзола. Границы западины могут фиксироваться по распределению углей. В ветровалах средней глубины происходит выворачивание подзолистого горизонта целиком, а альфегумусовый горизонт выносился отдельными блоками на корнях деревьев. В образовавшиеся полости засыпался материал гор. Е, а также гор. BF. Так, по нашему мнению, формировался подзол с карманными затеками.

На 1-й надпойменной террасе Пякупура ниже гор. Е залегал ортзанд. Корни сосны были приурочены лишь к самой верхней его части, поэтому на месте вывала верхняя граница ортзанда приобретала мелкокарманную форму. Глубокие вывалы, формировавшиеся на вершинах и склонах эловых гряд, затрагивали значительную часть альфегумусового горизонта, поднимая его сплошным блоком. В западину происходила совместная отсыпка гор. Е и BF. В результате формировался парцеллярно-мозаичный горизонт BF, а мощность гор. Е могла сокращаться.

Для различных геоморфологических условий характерны свои формы границы горизонтов Е и BF. И.П. Гаврилова и Л.С. Долгова (1972) отмечали, что при более глубоком залегании грунтовых вод лучше развиты языки, что связано, по мнению авторов, с различиями в возрасте геоморфологических уровней и условий для осуществления конвекции, которая зависит от условий увлажнения. На наш же взгляд, эту закономерность логичнее связывать с регулированием водного режима почв, обусловленного глубиной проникновения корней, которая является определяющей величиной для первого, четвертого и пятого механизмов. В изученных нами почвах также была отмечена зависимость между формой границы Е–BF и геоморфологическими условиями. Так, подзол языковатый встречался в одном из наиболее дренированных местоположений – на склоне дюны. По окраинам плоских междуречий преобладали подзолы с карманной границей, иногда встречались подзолы, имеющие парцеллярно-мозаичную верхнюю часть гор. BF. Мелкокарманную форму граница приобретала в подзолах глеевых с горизонтами BF или Ort на 1-й надпойменной террасе с близким залеганием грунтовых вод.

На ключевом участке в сосняке кустарничково-лишайниково-зеленомошном были измерены параметры ВПК, а также определены их плановые координаты. Оказалось, что глубины карманов, измеренные от минеральной поверхности почвы, сопоставимы с глубинами современных западин (рис. 1). В наиболее дренированных позициях (склоны и вершина эловой гряды) были встречены парцеллярно-мозаичные профили, в которых «читались» полиморфоны, маркирующие индивидуальные западины. В траншее было определено, что нижняя граница мозаичного полиморфона (гор. BF + Е + угли) имела форму дна западины и её глубина составила около 1 м. Измерение современных вывалов показало, что этим максимальным глубинам следов вывалов имелись соответствия. В более, чем 10 % случаев корни деревьев отдельными блоками затронули почвенный материал на глу-

бинах более 1 м (рис. 2). Максимальные глубины, с которых корни выносят материал горизонта BF достигают 100–120 см.

Средние глубины измеренных современных западин составляли 38 см. Эта цифра соответствовала максимальным глубинам границы Е/BF фоновых почв, в случае расположения её между карманами. Средняя глубина выноса материала гор. BF выдернутыми корнями у современных вывалов составляла 65 см и соотносится с глубинами карманов в фоновых почвах.

ВПК на ключевом участке занимали 0.65 % площади. Встречались ВПК всех стадий зарастания, от самых свежих, до тех, от которых остались лишь формы нанорельефа, без ствола. Нами были учтены лишь ВПК с сохранившимся стволом дерева, либо обгоревшим комлем и корнем. Изучаемые экосистемы часто подвергались пожарам, поэтому деревья чаще сгорали, чем успевали разложиться. Поэтому сложно было определить возраст изученных ВПК. Условно приняли, что все учтенные ВПК имели возраст, укладывающийся в интервал 0–200 лет, вполне возможно, что некоторые стволы деревьев этого временного интервала сгорели полностью и оказались не учтенными. Из чего следует, что при установленной площади ВПК за 9 тысяч лет не менее 30 % территории пройдено вывалами.

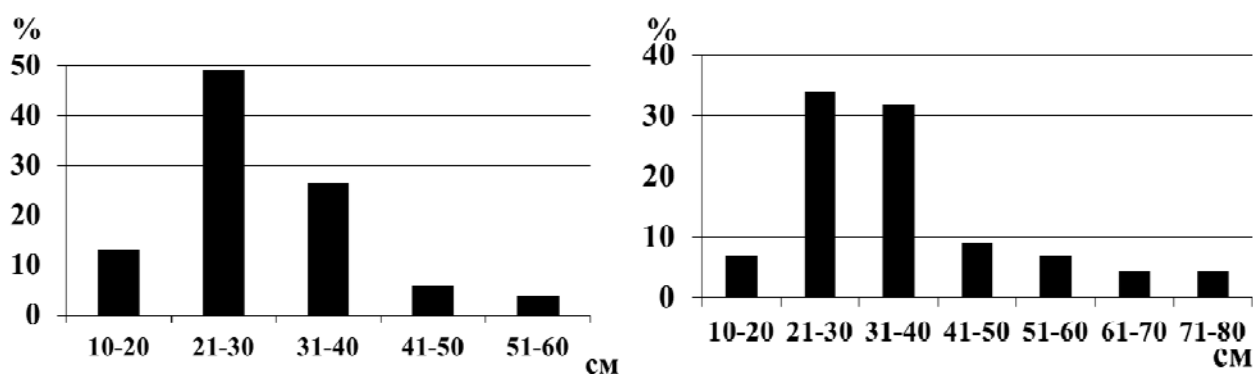


Рисунок 1. Распределение глубин карманов в фоновых почвах (А) и западин в современных ВПК (Б).

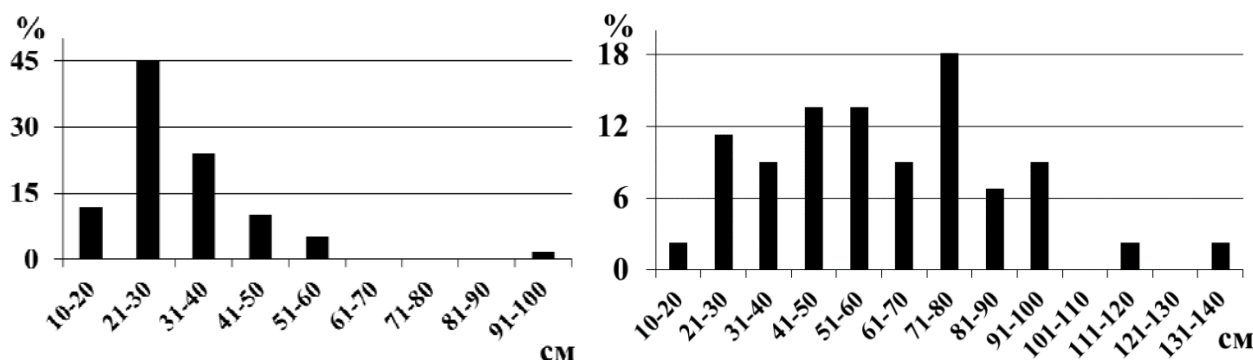


Рисунок 2. Распределение глубин признаков ветровалов в фоновых почвах (А) и отдельных корней современных ВПК с налипшим материалом гор. BF (Б).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Северная тайга представляет собой природную подзону, где эдификаторная роль древесных пород ослабляется, снижаются высоты и сомкнутость древостоев. На песчаных почвообразующих породах часто встречаются редины и медленно зарастающие раздувы. Проведенное исследование показало, что даже в таких суровых для древостоев условиях, они оказывают значительное морфогенетическое влияние на строение профилей подзолов не только через контроль химических и физико-химических процессов, но и механического перемешивания при ветровале. Основными ограничивающими ветровальный морфогенез факторами в северной тайге являются пожары и гидроморфизм почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Артюшков Е.В.* Образование конвективных деформаций в слабо литифицированных осадочных породах // Известия АН СССР. 1965. Сер. геол. № 12. С. 79–101.
2. *Васильевская В.Д., Иванов В.В., Богатырев Л.Г.* Почвы севера Западной Сибири. М.: Изд-во Моск. Ун-та, 1986. 227 с.
3. *Величко А.А., Морозова Т.Д., Нечаев В.П., Порожнякова О.М.* Палеокриогенез, почвенный покров и земледелие. М.: Наука, 1996. 148 с.
4. *Гаврилова И.П., Долгова Л.С.* Песчаные почвы среднетаежной подзоны Западной Сибири // Природные условия Западной Сибири. М.: Изд-во МГУ. Вып. 2. 1972. С. 34–50.
5. *Земцов А.А.* Развевание песков на севере Западно-Сибирской низменности // Вопросы географии Сибири. 1962. № 4. С. 81–91.
6. *Кошелева Е.А.* Изучение и 3-D моделирование псевдоморфоз по повторно-жильным льдам в подзолах Al-Fe-гумусовых // Материалы Всероссийской научной конференции по археологическому почвоведению. Пущино: 2014. С. 126–129.
7. *Кошелева Е.А.* Пространственно-временная организация ландшафтов юга Ленинградской области: дис. канд. геогр. наук. СПб., 2000. 198 с.
8. *Матышаков Г.В.* Особенности формирования почв Севера Западной Сибири в условиях криогенеза: дис. канд. биол. наук. М., 2009. 157 с.
9. *Полевой определитель почв России.* М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева. М., 2008. 182 с.
10. *Сизов О.С.* Геоэкологические аспекты современных эоловых процессов северотаежной подзоны Западной Сибири. Новосибирск: Академическое изд-во «Гео». 2015. 124 с.
11. *Смоленцев Б.А.* Структура почвенного покрова Сибирских Увалов (северотаежная подзона Западной Сибири). Новосибирск: Изд-во СО РАН. 2002. 118 с.
12. *Šamonil P, Danek P., Schaetzl R.J., Vašíčková I., Valtera M.* Soil mixing and genesis as affected by tree uprooting in three temperate forests // European Journal of Soil Science. 2015 doi:10.1111/ejss.12245.

Работа рекомендована к.б.н., ст. науч. сотр. С.В. Лойко.

УДК 631.4

МЕТОДИКА СОЗДАНИЯ СРЕДНЕМАСШТАБНОЙ ПОЧВЕННОЙ КАРТЫ КАРЕЛЬСКОГО ПЕРЕШЕЙКА

М.А. Лазарева

ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, Санкт-Петербург,
margoflams@mail.ru

Разработана методика создания цифровой среднемасштабной почвенной карты для территории Карельского перешейка. Методика разработана с учетом современных цифровых технологий; новых почвенных форм и структур почвенного покрова, появившихся в результате антропогенного воздействия на Карельском перешейке за последние десятилетия; современной почвенной классификации [6]; новых научных знаний о почвах региона, полученных в результате почвенных исследований за последние 50 лет. По разработанной методике создана цифровая почвенная карта масштаба 1:200 000 для территории Карельского перешейка.

ВВЕДЕНИЕ

Почвенные карты традиционно применяют для учебных и научных целей, а также для прикладного анализа почвенных ресурсов. Карта фиксирует накопленные знания о географии почв региона на момент ее составления, служит для приобретения новых знаний.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-04-04606.

© М.А. Лазарева, 2017

Большое значение имеет масштаб составляемой карты, с помощью которого почвовед-картограф отражает особенности почвенного покрова на заданном уровне обобщения. Без применения среднемасштабных почвенных карт невозможно решить такие важные задачи, как оптимизация размещения отраслей производства, оценка производственного и лесохозяйственного ресурсного потенциала земель, районирование сортов сельскохозяйственных культур [3, 4, 8, 11, 14].

За последние десятилетия в почвах и почвенном покрове Карельского перешейка произошли существенные изменения. На значительной территории появились новые антропогенные почвы и формы организации почвенного покрова, не имеющие естественных аналогов, а также резко увеличились площади антропогенно измененных почв [9].

Крайне необходима почвенная карта, отражающая современное состояние почвенного покрова и информацию о составе и свойствах почв [10].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Было проведено картирование территорий сельгового ландшафта, моренной возвышенности, террасированной равнины с ледниковыми и водно-ледниковыми отложениями, озерной равнины, районов с высокой степенью сельскохозяйственного освоения и густонаселенных районов Карельского перешейка в границах Ленинградской области.

При составлении карты использовались следующие материалы:

1. Финские карты территории Карельского перешейка масштаба 1:100 000, 1930–1940-х годов
2. Финские карты территории Карельского перешейка масштаба 1: 20 000, 1930–1940-х годов
3. Почвенная карта Ленинградской области масштаба 1:300 000, 1967 года
4. Топографическая карта Карельского перешейка масштаба 1:100 000, 1997 года
5. Аэрофотоснимки (Google и Yandex)
6. Цифровые топографические карты Карельского перешейка масштаба 1:50 000, 1:100 000, 1:200 000, 1:500 000, 1:1000 000, 1970–1980-х годов

Карта составлялась с применением методов традиционного (прямого и косвенного) и цифрового почвенного картографирования (автоматическое и полуавтоматическое дешифрирование по космическим снимкам) [1, 2, 5, 7, 12, 13].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Разработана методика создания цифровой среднемасштабной почвенной карты для территории Карельского перешейка.

Методика разработана с учетом:

- современных цифровых технологий.
- новых почвенных форм и структур почвенного покрова, появившихся в результате антропогенного воздействия на Карельском перешейке за последние десятилетия
- современной почвенной классификации [6].
- новых научных знаний о почвах региона, полученных в результате почвенных исследований за последние 50 лет.

Согласно разработанной методике в создании почвенной карты можно выделить следующие этапы.

1 этап – подготовка картографической основы.

Для этого в системах Google и Yandex выбираются фотографии, имеющие наибольшее разрешение и сделанные в весенне-летний период времени. Затем в поисковой системе выставляется масштаб в 1.5–2 раза крупнее заданного, т.е. для создания карты в масштабе 1:200 000 на экране масштаб должен быть приблизительно 1:100 000 или 1:150 000. Фотография переводится в черно-белый вариант. Корректируются ее яркость и контрастность, задается размер формата A4, меняется разрешение изображения. Затем фотография распечатывается на обычной бумаге.

2 этап – последовательное «поднятие» границ почвенных контуров на подготовленной основе.

Картинка на экране монитора идентифицируется с картинкой на бумажной основе. Осуществляется «привязка» к какой-либо начальной точке, за которую целесообразно принять небольшой населенный пункт, водоем, верховое болото, изгиб или пресечение дорог. Снимок на экране увеличивается и дешифрируется.

Использование спутниковых данных позволяет повысить детальность карт. По ним можно достоверно выделить реально существующие границы застроенных территорий, сельскохозяйственных угодий, антропогенно-нарушенных и залежных земель, участков с различными типами растительности. На снимках хорошо видны различные системы осушительной мелиорации.

По фотографиям в поисковых системах Google и Yandex на подготовленной основе были выделены контуры:

- почв и почвенных комбинаций, характерных для населенных пунктов, садоводств
- непочвенных образований и почв первичного ствола почвообразования (карьеры, газонефтепроводы)
- антропогенно-нарушенных почв (турбированные – на территории военных полигонов, торфоземы)
- агропочв в современных границах сельскохозяйственных угодий
- залежных земель.

Непочвенные образования дешифрировались на фотоснимках по светлому цвету, форме и характерному рисунку.

Контуры торфоземов имели правильную геометрическую форму, темно-бурый с красным оттенком цвет и ячеистый или линейный рисунок, характерный исключительно для торфоразработок.

Турбированные почвы были выделены на территориях военных полигонов в Приозерском районе (поселок Ромашка) и Выборгском районе (поселок Каменка) по бурому цвету и необычному пятнистому рисунку.

Ареалы агроземов и агропочв были приурочены к границам сельскохозяйственных угодий. Контуры выделялись на основании фотоснимка (цвет, рисунок, наличие или отсутствие дренажной сети, ровные границы), информации о породе (почвенная карта Ленинградской области) и положении в рельефе (топографическая карта Карельского перешейка). В центре контуров часто находились населенные пункты с различными комбинациями почв с непочвенными образованиями и интродуцированными почвами.

Контуры агроземов альфегумусовых отличались светло зеленым цветом, неярким пятнистым рисунком и отсутствием регулярной осушительной сети.

Агроземы альфегумусовые окисленно-глеевые имели ярко-зеленый, светло-зеленый или коричневато-серый цвет, а также хорошо видимую регулярную дренажную сеть канав.

Агродерново-элювиально-метаморфические почвы были приурочены к межсельговым понижениям, формировались на ленточных глинах. На фотоснимке контуры дешифрировались по светло зеленому цвету.

Комбинации непочвенных образований с агроземами, агропочвами выделялись в поселках и садоводствах по контрастному мелкоточечному рисунку (фотоснимок), информации о породе и положению в рельефе.

Комбинации непочвенных образований и интродуцированных почв встречались на территориях с многоэтажной застройкой. Контуры имели ровные правильные геометрические формы и контрастный рисунок.

Для уточнения границ залежных земель использовались Финские карты территории Карельского перешейка, на которых детально показаны все сельскохозяйственные угодья на период 1930–1940-х годов 20 века.

Материалами для выделения контуров естественных почв и почвенных комбинаций служили Почвенная карта Ленинградской области и Топографическая карта Карельского перешейка масштаба.

Информация о факторах почвообразования, полученная с Почвенной карты Ленинградской области, Топографической карты Карельского перешейка, фотографий Google и Yandex анализировалась и сопоставлялась. После чего на подготовленной основе выделялись соответствующие контуры почв.

Названия почв приводились в соответствии с современной почвенной классификацией [6].

Для уточнения диагностики почв и границ почвенных контуров проводилось выборочное полевое обследование.

3 этап – перевод полученной карты в геоинформационный формат, связывающий ее с базой данных, хранящей информацию о контурах почвенной карты.

Изображение почвенной карты совмещается с космическим изображением и цифровой моделью рельефа. Контуры вручную перерисовываются в векторном формате. После чего к полученным выделам привязывается атрибутивная информация.

Геоинформационный формат открывает широкие возможности для сопряженного анализа почвенных данных с другими картографическими сведениями (рельеф, растительность, специфика использования земель, социально-географическая информация и др.), для организации мониторинга почв. Использование современных геоинформационных технологий позволяет осуществить корректировку среднемасштабных почвенных карт путем уточнения границ почвенно-картографических выделов и их содержания. Причем эти работы могут быть выполнены при сравнительно небольших временных и трудовых затратах.

В соответствии с разработанной методикой была создана цифровая почвенная карта масштаба 1:200 000 на территорию Карельского перешейка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработана методика создания цифровой среднемасштабной почвенной карты для территорий Карельского перешейка в границах Ленинградской области.

В создании почвенной карты можно выделить следующие этапы:

1 этап – подготовка картографической основы.

2 этап – последовательное «поднятие» границ почвенных контуров на подготовленной основе.

3 этап – перевод полученной карты в геоинформационный формат

Создана цифровая почвенная карта масштаба 1:200 000 для территорий Карельского перешейка.

На карте, помимо контуров естественных почв и почвенных комбинаций, выделены контуры:

- почв и почвенных комбинаций, характерных для населенных пунктов, садоводств
- непочвенных образований и почв первичного ствола почвообразования (карьеры, газонефтепроводы)
- антропогенно-нарушенных почв (турбированные – на территории военных полигонов, торфоземы)
- агропочв в современных границах сельскохозяйственных угодий
- залежных земель.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андроников В.Л. Аэрокосмические методы изучения почв – М.: Колос, 1979. – 280 с.
2. Афанасьева Т.В. Использование аэрометодов при картировании и исследовании почв. – М.: Изд-во Московского университета, 1965. – 160 с.

3. *Благовидов Н.Л., Селль-Бекман И.Я.* Почвенная карта и ее использование. – М., Л.: Сельхозгиз, 1954. – 120 с.
4. *Гаврилюк Ф.Я.* Полевое исследование и картирование почв. – М.: Высшая школа, 1963. – 235 с.
5. *Евдокимова Т.И.* Почвенная съемка. – М.: Изд-во Московского университета, 1981. – 264 с.
6. *Классификация и диагностика почв России.* – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.
7. *Лисицкий Д.В.* Основные принципы цифрового картографирования местности. – М.: Недра, 1988. – 261 с.
8. *Постников А.В.* Развитие картографии и вопросы использования старых карт. – М.: Наука, 1985. – 216 с.
9. *Рожнова Т.А.* Почвенный покров Карельского перешейка. – М.: Изд-во АН СССР, 1963.
10. *Савин И.Ю., Овечкин С.В.* Об обновлении среднемасштабных почвенных карт // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1184–1192.
11. *Садовников И.Ф.* Почвенная картография. – М.: Географгиз, 1952. – 128 с.
12. *Садовников И.Ф.* Почвенные исследования и составление почвенных карт. – М.: Сельхозгиз, 1953. – 160 с.
13. *Смирнов Л.Е.* Теоретические основы и методы географического дешифрирования аэроснимков. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1967. – 215 с.
14. *Цыганенко А.Ф.* Почвенное картирование. – Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1967. – 129 с.

Работа рекомендована к.б.н., доцентом кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ, зам. директором по науке ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева Е.Ю. Сухачевой.

УДК 631.48

ДИАГНОСТИКА ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ПАЛЕВЫХ ПОЧВАХ И СОЛОДЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

М.М. Лебедева

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
mmlebedeva2403@yandex.ru

Цель данной работы заключается в том, чтобы понять процессы почвообразования в ряду почв: палевые – палевые осолоделые – солоды. Проблема состоит в том, что они образуются в сходных ландшафтах, в близких условиях и на одинаковых породах, и неясно, почему в одном месте образовались палевые осолоделые почвы, а в другом солоды. Общими для всех почв процессами были криотурбации, метаморфизм (трансформация минеральной части *in situ*), иллювиирование карбонатов. В палевой осолоделой почве и в солоды также развились процессы иллювиирования глины.

ВВЕДЕНИЕ

Почвенный покров России изучен неравномерно. Обширные территории Сибири и Дальнего Востока со своеобразными условиями почвообразования дают возможность встретить целый ряд почвенных групп, генезис, география и классификация которых требуют уточнения. Уникальное сочетание факторов почвообразования Республики Саха (Якутия) даёт возможности для формирования таких почв, как палевые. Почвообразование в зоне вечной мерзлоты происходит в холодных ультра-континентальных климатических условиях, которые значительно отличаются от развивающихся в более гумидных условиях на вечной мерзлоте (Kimble, 2004, цит. по Lessovaia et al., 2013).

Цель данной работы заключается в том, чтобы понять процессы почвообразования в ряду почв: палевые – палевые осолоделые – солоды. Проблема состоит в том, что они образуются в сходных ландшафтах, в близких условиях и на одинаковых породах, и неясно, почему в одном месте образовались палевые осолоделые почвы, а в другом – солоды. В этой работе мы попытались выявить основные почвообразовательные процессы в генетическом ряду почв палевые – палевые осолоделые – солоды и их связь с современными факторами почвообразования. В рамках указанной выше цели мы ставим перед собой следующие задачи:

Дать характеристику химических свойств и минералогии илистой фракции изучаемого ряда почв

Охарактеризовать основные элементарные почвенные процессы (ЭПП) в исследованном ряду почв

Проанализировать литературные и картографические материалы для выявления взаимосвязи изучаемых почв с факторами почвообразования

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Нами исследовались три почвенных разреза на территории Центральной Якутии, Республика Саха, предварительно диагностированные как палевая, палевая осолоделая почвы и солодь. Разрезы были заложены на второй и третьей надпойменных террасах реки Лена, почвообразующими породами во всех случаях служили суглинистые древнеаллювиальные отложения.

В исследованиях нами использовались следующие *методы*.

Полевое морфологическое описание почвенных разрезов проводилось на основании отечественного руководства (Розанов, 2004), а также руководства по описанию почв, изданного ФАО (2012). Из почвенных разрезов были отобраны образцы ненарушенного строения для изготовления плоско-параллельных шлифов и образцы нарушенного строения для проведения анализов химических и физических свойств и минералогического состава почв.

Химические методы включали определение значений pH в водной и солевой суспензиях потенциометрически, углерода карбонатов – газовольметрическим методом, при помощи кальциметра, *общего* углерода – сухим окислением с помощью анализатора углерода TOC-VCN (Shimadzu, Япония), органического углерода – методом мокрого окисления по Тюрину (Аринишкина, 1970). Также использовались некоторые данные из путевода научной экскурсии в Центральной Якутии (Desyatkin, 2013).

Сепарирование почвенных образцов для выделения фракций ила (<1 мкм), тонкой (1–5 мкм), средней пыли (5–10 мкм) для определения минералогического состава проводилось по методике Н.И. Горбунова (1971). Ориентированные препараты фракций ила, тонкой и средней пыли исследованы рентгендифрактометрическим методом на аппаратуре фирмы Карл Цейс Йенна (Германия). Режим работы универсального дифрактометра марки XZG-4A: напряжение на трубке 30 кВ, анодный ток 30 мА, скорость вращения гониометра 20° в мин. излучение медное, фильтрованное никелем. Рентгендифрактограммы получены для воздушно-сухих образцов, насыщенных этиленгликолем и прокаленных при температуре 550 °С в течение 2 часов. Расшифровку рентгенограмм проводили по общепринятым руководствам (Соколова и др., 2006).

Почвы классифицировались в соответствии с новой российской почвенной классификацией (Классификация почв России, 2004) а также по международной классификации – Мировой реферативной базе почвенных ресурсов (IUSS Working Group WRB, 2006). Названия почв уточнялись после проведения химических анализов в лаборатории.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Ниже приводятся химические и физические свойства изученных почв.

Разрез № 1. Вторая терраса р. Лена. Располагается под смешанным лесом (лиственница и берёза) с подростом (лиственница и берёза), кустарничковым ярусом и разнотравными травами.

Солодь темногумусовая глееватая средне мелкая сверхглубокоосолодевшая средне-выщелоченная сильногумусированная легкосуглинистая на аллювиальных суглинках – 2004 г.

Solodic Planosol (Albic, Gelic) – WRB

Таблица 1. Химические свойства солоди темногумусовой глееватой.

Горизонт	Глубина, см	pH водный	pH солевой	Собщ, %	Сорг, %	Карбонаты, %	Фракция <0.001, %
AU	5–15	5.37	5.09	4.01	4.01	0	17.44
AEL	15–30	6.19	5.40	1.73	1.73	0	18.89
EL	30–50	8.10	5.95	0.50	0.50	0	7.44
BT	50–80(90)	8.45	7.70	0.60	0.53	0.69	24.15
BCA	80(90)–90(100)	9.57	8.31	1.62	1.00	5.49	22.93
BCg	100–130	9.05	7.76	0.91	0.75	1.48	20.64
Cg	130–150	8.86	8.0	0.75	0.62	1.125	19.62

Реакция в верхних горизонтах слабо кислая или близка к нейтральной, но постепенно увеличивается до среднещелочной к карбонатному горизонту и опять понижается до слабо щелочной к породе. Содержание общего и органического углерода максимально в верхнем дерновом горизонте, а затем наблюдается резкое уменьшение вниз по профилю. Карбонатный максимум наблюдается в середине профиля (BCA горизонт), а в верхней и нижней части – либо полное отсутствие, либо малое содержание карбонатов. Ниже 150 см – вечная мерзлота.

Разрез № 2. Вилуйский тракт. Смешанный лес (берёза и лиственница) на 63.5 км дороги, с правой стороны, с признаками гари (обгорелые стволы и пни), с подростом (берёза и лиственница), кустарничковым ярусом (шиповник), и разнотравно-осоковым ярусом (иван-чай, грибы, брусника, осока).

Палевая темногумусовая типичная мелкая тяжелосуглинистая на аллювиальных суглинках – 2004 г.

Cambic Turbic Cryosol (Episiltic, Hypereutric) – WRB.

Таблица 2. Химические свойства палевой темногумусовой почвы.

Горизонт	Глубина, см	pH водный	pH солевой	Собщ, %	Сорг, %	Карбонаты, %	Фракция <0.002
AU	5–15	6.85	6.57	2.21	2.20	0.16	24.34
AB	15–40	8.08	7.41	0.55	0.48	0.56	24.62
BCA(1)	40–70	8.53	7.95	1.83	1.37	4.83	14.72
BCA(2)	40–70	8.20	7.60	1.06	0.70	3.15	
2BC	70–85(90)	8.45	7.86	3.41	3.34	0.56	5.16
D(1)	85(90)–135	8.10	7.58	0.51	0.46	0.41	2.74
D(2)	85(90)–135	7.97	6.40	0.12	следы	0.45	

В данной почве реакция среды в верхнем горизонте близка к нейтральной, ниже слабощелочная и в нижнем горизонте опять приближается к нейтральной. Реакция характерна для сухих регионов. Содержание углерода, и общего и органического, неравномерно и максимально в переходном горизонте к породе. Карбонаты – максимум в горизонте с

карбонатными новообразованиями и мало в верхней и нижней части профиля. Ниже 135 см залегает вечная мерзлота.

Разрез № 3. Правый берег р. Лена, окрестности деревни Майа. Типичная тайга. Лиственный лес с моховым покровом, брусникой, подростом, с признаками гари (обгорелые стволы и пни).

Палевая мелкоосолодевая среднесуглинистая на аллювиальных суглинках – 2004 г.
Haplic Cryosol (Calcaric, Siltic, Albic, Luvic, Sodic) – WRB.

Таблица 3. Химические свойства палевой мелкоосолодевой почвы.

Горизонт	Глубина, см	pH водный	pH солевой	Собщ, %	Сорг, %	Карбонаты, %	Фракция <0.002
EL	5–12	6.75	5.58	9.59	0.59	0	7.18
BPLt	12–20	8.42	7.31	0.88	0.84	0.375	36.06
BCA	20–45	8.35	7.91	2.49	2.19	2.67	17.08
C _{Ca}	45–80	8.45	7.79	0.94	0.73	1.125	15.52

По данным таблицы видно, что в верхнем горизонте реакция почвы близкая к нейтральной, а ниже по профилю – слабо-щелочная. Такая реакция характерна для сухих регионов. Что интересно, так это содержание углерода – резкое увеличение и общего и органического углерода в горизонте с карбонатными новообразованиями. В других же горизонтах его почти нет. Содержание карбонатов закономерно – нет или мало в верхней части профиля, резкое увеличение в BPLca и уменьшение в нижней части профиля. Вечная мерзлота залегает с 80 см.

Ниже рассматривается минералогический состав илистых фракций изученных почв.

Таблица 4. Минералогический состав илистой фракции темногумусовой солоди.

Горизонт	Глубина, см	Среднее содержание, пересчет на фракцию		
		Каолинит+хлорит (0.7 нм)	Гидролюда (1 нм)	Смектитовая фаза (0.7 нм)
A	5–15	28.20	18.56	53.24
AE	15–30	14.62	34.82	50.56
E	30–50	13.18	21.93	64.89
Bt	50(75)–80–(90)	70.54	3.55	25.90
BCca	80(90)–90(100)	57.23	12.14	30.64
BC	100–130	53.69	10.86	35.45
C	130–150	21.03	30.04	48.93

Характер профильного распределения фракции менее 1 мкм элювиально-иллювиальный. Наименьшее количество илистой фракции фиксируется в горизонте EL, а наибольшее в горизонте BT на глубине 50–80 см.

Основным компонентом фракции является индивидуальный смектит, наличие которого фиксируется по рефлексу в области 8.6 Å образца сольватирования этиленгликолем. Присутствует также хлорит, каолинит, гидролюда. Из кластогенных минералов – кварц, полевые шпаты, плагиоклазы. Наличие широкого рефлекса в области 4.4 Å доказывает присутствие рентгеноаморфных веществ.

По характеру распределения фракций менее 1 мкм профиль относится к элювиально-иллювиальному типу. Верхняя часть профиля существенно обеднена фракцией менее 1 мкм (табл.1). В органическом горизонте количество ила составляет всего 1.26 %. На глубине 40–70 см этот показатель увеличивается до 7.6 %. Далее к низу снижается до 1 % в подстилающей породе. В пределах профиля наблюдается существенное перераспределение основных минеральных фаз илистой фракции. Однако доминирующей фазой остаётся смектитовая.

Таблица 5. Минералогический состав илистой фракции палевой темногумусовой.

Горизонт	Глубина, см	Среднее содержание, пересчёт на фракцию		
		Каолинит+хлорит (0.7 нм)	Гидролюда (1 нм)	Смектитовая фаза (0.7 нм)
AU	5–15	54.23	35.61	10.16
AB	15–40	50.52	39.73	9.75
BCA(1)	40–70	57.34	26.96	15.70
BCA(2)	40–70	72.93	18.55	8.52
2BC	70–85(90)	71.91	21.20	6.89
D(1)	85(90)–135	74.40	17.79	7.81
D(2)	85(90)–135	50.49	41.12	8.39

Таблица 6. Минералогический состав илистой фракции палевой мелкоосолоделой.

Горизонт	Глубина, см	Среднее содержание, пересчёт на фракцию		
		Каолинит+хлорит (0.7 нм)	Гидролюда (1 нм)	Смектитовая фаза (0.7 нм)
EL	5–12	11.57	59.22	29.21
BPLt	12–20	38.12	46.97	14.91
BCA	20–45	48.23	31.89	19.88
C _{Ca}	45–80	27.60	60.93	11.47

Существенно отличается по составу компонентов от солоди темногумусовой глееватой (разрез 1) и палевой темногумусовой типичной (разрез 2). Основной фазой становится хлорит и хлорит-смектитовое смешаннослойное образование.

Нами было установлено, что географические и климатические условия для почв одинаковы: все почвы расположены на террасах реки Лены в условиях ультраконтинентального климата на аллювии под лиственнично-берёзовыми лесами. Мерзлота начинается с глубины 80–150 см. Карбонаты появляются в В горизонте и линия вскипания с глубины 20–30 см. Для всех почв характерно малое количество или отсутствие карбонатов в верхней части профиля, затем максимум содержания карбонатов в горизонте ВСА и постепенное уменьшение в нижележащих горизонтах. Поэтому можно сказать, что прямой зависимости между содержанием карбонатов и степенью осолодения нет. С другой стороны, физические свойства почв различаются, что можно проследить по гранулометрическому составу.

Таблица 7. Физические свойства солоди темногумусовой пылевой.

Горизонт	Глубина, см	Песчаная фракция 1–0.05 мм	Пылевая фракция 0.001–0.005 мм	Илистая фракция <0.001 мм
AU	5–15	43.51	39.05	17.44
AEL	15–30	43.77	37.34	18.89
EL	30–50	53.86	38.65	7.44
BT	50–80(90)	50.42	25.43	24.15
BCA	80(90)–90(100)	38.27	38.8	22.93
BCg	100–130	35.43	44.02	20.64
Cg	130–150	46.97	33.41	19.62

В солоди пылевая и глинистые фракции активно вымываются вниз по профилю. В палевой типичной почве в верхней части профиля накапливается пылевая и глинистая фракции, в нижней же части преобладает песчаная фракция. Для палевой осолоделой почвы наблюдается минимальное содержание илистой фракции в горизонте EL, в самом верхнем горизонте, а затем идёт резкое увеличение её содержания. Это показывает, что в

почвах с признаками осолодения происходит иллювиирование ила по профилю. В то же время разброс в содержании песчаной и пылевой фракций указывает на исходную неоднородность аллювиальных отложений. Таким образом, разница в почвах может заключаться в исходной неоднородности отложений на разных террасах реки. Наблюдается закономерность утяжеления гранулометрического состава почв: легкосуглинистая (солodь) – среднесуглинистая (палевая осолоделая) – тяжелосуглинистая (палевая).

Таблица 8. Физические свойства палевой типичной почвы.

Горизонт	Глубина, см	Песчаная фракция >0.063 мм	Пылевая фракция 0.063–0.002 мм	Илистая фракция <0.002 мм
AU	5–15	14.24	61.42	24.34
AB	15–40	19.87	55.51	24.62
BCA	40–70	31.83	53.45	14.72
2BC	70–85(90)	66.42	28.42	5.16
D	85(90)–135	95.03	2.23	2.74

Таблица 9. Физические свойства палевой мелкоосолоделой почвы.

Горизонт	Глубина, см	Песчаная фракция >0.063 мм	Пылевая фракция 0.063–0.002 мм	Илистая фракция <0.002 мм
EL	5–12	4.22	88.60	7.18
BPLt	12–20	3.88	60.06	36.06
BCA	20–45	3.38	79.54	17.08
C _{Ca}	45–80	3.85	80.63	15.52

В связи с вышеперечисленным, можно предположить, что на степень осолодения влияет гранулометрический состав и то, на какой террасе находится почва, что влияет на мезо- и микрорельеф. Однако нельзя не учитывать, что разница в гранулометрическом составе может наоборот объясняться степенью осолодения, т.е. чем менее осолоделая почва, тем тяжелее гранулометрический состав верхнего горизонта. Исследовав почвы, можно с уверенностью заявить, что в палевых почвах наблюдаются такие элементарные почвенные процессы: как иллювиирование карбонатов, метаморфические и криотурбационные процессы. В некоторых палевых почвах идут гумусо-аккумулятивные процессы. В палевых осолоделых почвах также идут процессы иллювиирования карбонатов, метаморфические и криотурбационные, и ещё идёт процесс иллювиирования глины; гумусо-аккумулятивные процессы же подавляются и сильно не проявляются. В солоди темногумусовой гумусо-аккумулятивные процессы снова проявляются и идут очень интенсивно на фоне иллювиирования глины.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нами было проведено исследование морфологического строения, химических свойств и минералогии илистой фракции ряда почв: палевые – палевые осолоделые – солоди. Охарактеризованы ЭПП и сделаны выводы для того, чтобы картографировать разницу между рядом почв.

В этой работе мы попытались выявить основные почвообразовательные процессы в генетическом ряду почв: палевые – палевые осолоделые – солоди и их связь с современными факторами почвообразования.

Было установлено, что по большинству свойств исследованные почвы были близки. Они характеризовались суглинистым гранулометрическим составом, слабокислой и нейтральной реакцией среды, выраженным элювиально-иллювиальным распределением карбонатов. В палевой осолоделой почве и особенно в солоди явно выражено элювиально-

иллювиальное распределение илистой фракции. В палевой типичной почве гумусовый горизонт развит слабо, в палевой осолоделой вовсе отсутствует, а в солоди развит хорошо.

Общими для всех почв процессами были криотурбации, метаморфизм (трансформация минеральной части *in situ*), иллювиирование карбонатов. В палевой осолоделой почве и в солоди также развились процессы иллювиирования глины.

Связь различий в свойствах и процессах между исследованными почвами с внешними факторами почвообразования требует дополнительных исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.
2. *Классификация и диагностика почв России.* – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342
3. *Розанов Б.Г.* Морфология почв. Изд-во МГУ, 2004.
4. *Соколова Т.А., Дронова Т.Е., Толпешина И.И.* Глинистые минералы в почвах. Тула: Гриф и К, 2006. 336 с.
5. *Desyatkin R.V. et al.* // Diversity of soils of cold ultra-continental climate. Guidebook-monograph for the «Mammoth» ultra-continental WRB field workshop. Sakha (Yakutia), 2013.
6. *Lessovaia S.N., Goryachkin S.V., Desyatkin R.V., Okoneshnikova M.V.* Pedoweathering and mineralogical change in cryosols in an ultra-continental climate (Central Yakutia, Russia) // *Acta Geodynamic Geomaterial*, 2013. Vol. 10, № 4, 465–473.
7. *IUSS Working Group WRB.* World Reference Base for Soil Resources. Rome: FAO, 2006. World Soil Resources Report No. 103.

Работа рекомендована д.б.н., профессором П.В. Красильниковым.

УДК 631.4

ПОЧВЫ ВОРОНО-ЦНИНСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ ПРИВОЛЖСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Е.А. Левченко

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева

Представлены результаты изучения почвенного покрова Вороно-Цнинского междуречья. Доминантными почвами являются луговато-, лугово-черноземные и луговые с выраженными признаками оглеения и оподзоленности. Широкому развитию гидроморфизма способствуют небольшие уклоны и тяжелосуглинистый состав лессовидных суглинков с водоупором на контакте с донской мореной и озерными глинами. Установлена зависимость пространственного распределения почв от микрорельефа на уровне элементарных почвенных ареалов, что является первым этапом на пути разработки региональной модели почвенно-ландшафтных связей.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение почвенно-ландшафтных связей составляет основу сравнительно-географического метода В.В. Докучаева и широко используется для целей почвенной картографии, изучения динамики почвенного покрова, почвенной диагностики. Региональные почвенно-ландшафтные исследования направлены на установление систематизированных представлений о связях в почвенном покрове территории, как внутрпочвенных, так и между почвой и другими компонентами ландшафта. Модели почвенно-ландшафтных связей разработаны для дерново-подзолистых почв Клинско-Дмитровской гряды, серых лесных почв Владимирского ополья, черноземов Среднерусской возвышен-

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16-35-00539.

© Е.А. Левченко, 2017

ности, лугово-черноземных почв Окско-Донской низменности и других регионов [1, 2]. Вместе с тем, почвенный покров многих регионов остается малоизученным.

Одним из таких регионов является Вороно-Цнинское междуречье Приволжской возвышенности. На существующих почвенных картах его почвенный покров показан преимущественно черноземами выщелоченными с участками типичных [3, 4], что существенно искажает действительность. В ходе почвенного обследования нами не встречено ни одного разреза без признаков оглеения в пределах почвенного профиля; – здесь распространены лугово-черноземные почвы с выраженными признаками оглеения и оподзоленности в зависимости от микрорельефа.

Доминирующая роль черноземных почв возрастающего ряда гидроморфизма показана ранее для почвенного покрова Окско-Донского плоскоместья работами Е.Н. Ивановой, А.Б. Ахтырцева, П.Г. Адерикина и др. Новым стимулом к изучению этих почв в последние десятилетия стал рост площадей переувлажненных сельскохозяйственных угодий, – мочаризация ранее благополучных «сухих» полей лесостепной и степной зон (Калиниченко и др., 1997; Хитров, 2000; Воробьева и др., 2002). В результате систематических исследований охарактеризованы морфология, водный режим, физические и химические свойства почв черноземного ряда с застойно-промывным водным режимом [5, 6, 7]. Однако почвенный покров Вороно-Цнинского междуречья Приволжской возвышенности как область широкого распространения гидроморфных и полугидроморфных почв прежде не изучался.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Широкому развитию гидроморфизма междуречья Приволжской возвышенности способствуют небольшие уклоны мезорельефа, тяжелосуглинистый состав лессовидных суглинков с водоупором на контакте с мореной и озерными глинами раннечетвертичного возраста при среднегодовой норме осадков 500 мм и гидротермическом коэффициенте увлажнения Селянинова, равного 1. Атмосферное увлажнение носит циклический характер – во влажные годы выпадает до 800 мм осадков, в сухие – менее 400 мм.

Вершинные поверхности (210–214 м) с уклоном до 2° не затронуты эрозионной сетью и обособляются в виде междуречных недренированных типов местностей. Для них характерна развитая пятнистая сеть неглубоких западин термокарстового и суффозионного происхождения. Застой влаги в таких депрессиях после снеготаяния может сохраняться от нескольких недель до 1.5 месяцев. Среднеминерализованные грунтовые воды гидрокарбонатно-кальциевого состава залегают на глубине от 1.5 до 4 м.

По мере удаления от водораздела междуречный недренированный тип местности сменяется плакорным – наклонными равнинами, расчлененными густой сетью ложбин, балок и долин малых рек. Несмотря на более интенсивный поверхностный сток и залегание постоянного уровня грунтовых вод глубже 5 м, в почвенном профиле ежегодно застаивается верховодка на контакте тяжелосуглинистых и глинистых лессовидных суглинков с донской мореной и озерными глинами.

Небольшие по площади участки пашни в пределах коротких прибалочных склонов имеют уклон до 5°, из-за чего на них развиваются эрозионные процессы.

С целью изучения закономерностей организации почвенного покрова в 2014–2015 гг. проведено детальное почвенно-топографическое обследование пяти полей сельскохозяйственного предприятия ФГУП «Тамбовское» ФСИН России, контрастных по степени развития почвенного гидроморфизма (общая площадь ключевых участков составляет 400 га). Топографическая съемка выполнялась с использованием дифференцированной системы спутникового позиционирования с шагом 15 м. Построена цифровая модель рельефа, получены горизонталы с сечением 0.5 м и рассчитаны относительные превышения микрорельефа. Данный материал позволил рационально спланировать размещение точек почвенного опробования (16 разрезов, 42 прикопки и 53 буровых скважины), в которых проводилась морфологическая и физико-химическая характеристика почв раз-

личных элементов мезо- и микрорельефа, наблюдения за почвенно-грунтовыми водами и учет урожайности озимой пшеницы, ржи, ячменя, кукурузы и подсолнечника. Названия почв и почвенных горизонтов приводятся по «Классификации и диагностике почв СССР» (1977). Для каждого ключевого участка построены карты элементарных почвенных ареалов на уровне родов почв.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Зональная почва для лесостепи Приволжской возвышенности – чернозем выщелоченный. Его основными чертами являются: зернистая структура гумусового горизонта мощностью 60–70 см, проявление карбонатов в горизонте В, капиллярная кайма грунтовых вод за пределами почвенного профиля, хорошая водопроницаемость и отсутствие верховодки вне зависимости от влажности года. Такие почвы в ходе обследования не встречены. Наиболее приближены к чернозему выщелоченному по своим морфологическим свойствам луговато-черноземные выщелоченные почвы, формирующиеся при уровне грунтовых вод 4–5 м и глубже. В отличие от черноземов у этих почв повышенная гумусность, большая глубина гумусовых затеков в горизонте В. С глубины 120–140 см многочисленны марганцевые примазки, образующиеся при застое верховодки от нескольких недель до 1.5 месяцев.

Застой верховодки в гумусовом горизонте способствует развитию анаэробных условий и формированию в почвенном профиле светлых кислых элювиальных горизонтов [8]. При непродолжительном переувлажнении (до 1.5 месяцев) на поверхности педов нижней части гумусового горизонта появляются скелетаны, а в верхней части иллювиального горизонта – кутаны. Следы оглеения – марганцевые и железо-марганцевые примазки в луговато-черноземных оподзоленных почвах встречаются по всему профилю, ортштейны – в горизонте Вg. При застое верховодки более 1.5 месяцев в почвенном профиле формируется самостоятельный подзолистый горизонт, обилие и размер ортштейнов в иллювиальном горизонте возрастает.

При залегании грунтовых вод близко к поверхности промывной режим становится невозможным – формируются лугово-черноземные (грунтовые воды 3–5 м, капиллярная кайма в пределах почвенного профиля) и луговые (грунтовые воды в пределах почвенного профиля) почвы с застойным водным режимом. Для них характерна сокращенная мощность гумусового горизонта, железо-марганцевые примазки и конкреции распространены по всему профилю, в горизонте В обильны карбонатные конкреции и глинистые кутаны. В годы с пониженными осадками и снижением уровня грунтовых вод застойный водный режим сменяется застойно-промывным, что сопровождается развитием элювиального процесса и формированием маломощного или фрагментарного горизонта A1A2. Такие почвы диагностировались нами как лугово-черноземные и луговые оподзоленные.

Установленные морфологические и аналитические признаки обследованных почв возрастающего ряда гидроморфизма сведены в таблицу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Главенствующая роль в дифференциации структуры почвенного покрова Вороно-Цнинского междуречья Приволжской возвышенности принадлежит рельефу. В пределах дренируемых междуречных равнин с уклонами 1–3°, рассеченных глубокими балками, уровень постоянных грунтовых вод опущен глубже 5 м. Фоновые почвы здесь – луговато-черноземные. В отдельных водосборных понижениях при дополнительном натежном увлажнении встречаются луговато-черноземные выщелоченные и оподзоленные почвы. На склонах крутизной 3–5° формируются эродированные почвы. В приводораздельной части этих равнин, замедленно дренируемых неглубокой сетью верховий балок, в многочисленных водосборных понижениях и ложбинах, в условиях водозастойно-промывного водного режима преобладают луговато-черноземные подзолистые и оподзоленные почвы разной степени оглеения. Для плоских субгоризонтальных междуречий с капиллярной

каймой в пределах почвенного профиля характерны лугово-черноземные почвы. По днищам западин и ложбин с грунтовыми водами 1–3 м располагаются пятна луговых, луговых выщелоченных и луговых оподзоленных почв разной степени оглеения.

Установленные почвенно-ландшафтные связи характеризуют зависимость пространственного распределения почв от микрорельефа на уровне элементарных почвенных ареалов, что является только первым этапом на пути разработки региональной модели почвенно-ландшафтных связей. Следующим шагом станет установление связи «элементарные почвенные структуры – мезорельеф» и их агроэкологическая оценка.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сорокина Н.П.* Региональная модель почвенно-ландшафтных связей (на примере Клинско-Дмитровской гряды) // Почвоведение. 1998. № 4. С. 389–398.
2. *Арнольд Р.В.* Детальная почвенная съемка США // Почвоведение. 1990. № 3. С. 21–29.
3. *Берест А.В.* Тамбовская лесостепь: почвы, растительность, ландшафты Тамбов: Издательство Першина Р.В., 2011. – 338 с.
4. *Тамбовская лесостепь: природа и общество: монография* / науч. ред. Н.И. Дудник, отв. ред. Е.Е. Инякина, С.В. Панков; М-во обр. и науки РФ [и др.]. Тамбов: Издательский дом ТГУ имени Г.Р. Державина, 2013. 320 с.
5. *Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С. Степанцова Л.В.* Химические свойства автоморфных и гидроморфных почв севера лесостепи // Вестн. Моск ун-та. Сер 17. Почвоведение. 2006. № 1. С. 18–26.
6. *Красина Т.В.* Агрофизические свойства, гидрологический режим, продуктивность и диагностика черноземовидных оглеенных почв юга Тамбовской низменности. Автореф. дис. на соискание учён. степ. канд. биол. Наук. М., 2014. – 31 с.
7. *Степанцова Л.В.* Агрофизические свойства, гидрологический режим и диагностика черноземовидных почв севера Тамбовской низменности. Автореферат дисс. на соиск. уч. ст. док. биол. наук. М., 2012. 47 с.
8. *Зайдельман Ф.Р., Степанцова Л.В. [и др.]* Генезис и деградация черноземов Европейской России под влиянием переувлажнения – М.: Изд-во МГУ, 2013. – 352 с.

Работа рекомендована к.г.н., доц. Д.Н. Козловым.

Таблица. Диагностические признаки почв возрастающего ряда гидроморфизма.

Почва	Водный режим	Характерные признаки				
		Гумусовый горизонт	Оподзоленный горизонт	Оглеение	Проявления карбонатов	Другие
Чернозем выщелоченный (на исследуемой территории не обнаружен)*	промывной без застоя влаги, грунтовые воды глубже 6 м	темно-серый, зернистый, 60–70 см	нет	нет (кроме рода глубинно-глееватых)	в горизонте В, налеты, прожилки, «плесень», округлые однородные конкреции	нет
Луговато-черноземная	застой влаги 1–2 недели во влажные годы, грунтовые воды глубже 5 м	темно-серый, среднезернистый, 90–110 см	нет	мелкие Мп вкрапления в горизонте Vca	налеты, выпоты, прожилки, «плесень», двуслойные «журавчики»	нет
Луговато-черноземная выщелоченная	застой влаги от 2 недель до 1.5 месяцев, грунтовые воды глубже 5 м	темно-серый, среднезернистый, 70–100 см	нет	редкие бурые и черные конкреции в горизонте Bg	ниже гумусового горизонта	глинистые кутаны в горизонте Vcag
Луговато-черноземная оподзоленная	застой влаги в средние и влажные годы до 1.5–2 месяцев, грунтовые воды глубже 5 м	темно-серый, комковато-зернистый, 50–70 см	горизонт A2B мощностью 10–30 см	горизонт Bg и Ccag, бурые и черные округлые конкреции 1–3 мм и Мп вкрапления	нет	скелетаны, гумусовые кутаны
Луговато-черноземная подзолистая	длительный сезонный застой влаги при положении грунтовых вод глубже 5 м	светло-серый, при высыхании белесый, комковато-пылеватый, 25–35 см	самостоятельный горизонт A2fs,g, 5–30 см	в горизонтах Bg и Cg, угловатые бурые конкреции до 1 мм	нет	скелетаны, сизовато-серые гумусовые кутаны
Лугово-черноземная	застой влаги 1.5–2 недели во влажные годы, грунтовые воды 3–5 м	темно-серый, среднезернистый, 80–120 см	нет	оливковые пятна со 120 см, Fe-Mn вкрапления в гумусовом горизонте	в горизонте ABg пропитка, прожилки, твердые карбонатные конкреции со 100 см	глинистые кутаны в горизонте Vcag
Луговая	застой влаги от 2.5 недель до 1.5 месяцев, грунтовые воды 1.5–3 м	темно-серый, среднезернистый, 70–100 см	нет	оливковые пятна с 90 см, Fe-Mn вкрапления в гумусовом горизонте	пропитка в нижней части гумусового горизонта	глинистые кутаны в горизонте Vcag
Луговая выщелоченная	застой влаги в средние и влажные годы до 2 месяцев, грунтовые воды 1.5–3 м	темно-серый, комковато-зернистый, 60–70 см	нет	горизонт ABg, бурые и черные округлые конкреции 1–3 мм и Мп вкрапления, оливковые пятна со 110 см	ниже гумусового горизонта	сизовато-серые гумусовые кутаны в горизонте Vcag
Луговая оподзоленная	длительный сезонный застой влаги дольше 2 месяцев при грунтовых водах до 3 м	светло-серый, комковато-зернистый, 30–50 см	горизонт A2Bg мощностью 10–20 см	оглеен весь профиль, самостоятельный глеевый горизонт	нет	скелетаны, сизовато-серые гумусовые кутаны

* – Зайдельман Ф.Р., Степанцова Л.В. [и др.] Генезис и деградация черноземов Европейской России под влиянием переувлажнения.

ДЕГРАДАЦИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ЗАГРЯЗНЕННЫХ НЕФТЬЮ ВЕРХОВЫХ ТОРФАХ В УСЛОВИЯХ МОДЕЛЬНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

А.М. Лобаненков

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
lobanenkov@gmail.com

В работе рассматривается влияние pH и окислительно-восстановительного потенциала (Eh) на биодegradацию нефтезагрязненных верховых торфов. Для создания оптимальных условий в различные варианты опыта вносится карбонат кальция, удобрения N:P:K, бентонит. Инкубация образцов проводилась в течение 2,5–3 месяцев. В процессе инкубирования измерялись величины pH, Eh и температура. В начале и конце опыта в образцах измерялось содержание нефтепродуктов. В условиях модельного эксперимента значимое снижение содержания нефтепродуктов произошло в вариантах с внесением удобрений.

ВВЕДЕНИЕ

В районах добычи и транспортировки нефти возникают очаги загрязнения почвенного покрова (Пиковский и др., 2003). На территории Ханты-Мансийского автономного округа площадь загрязненных нефтью и нефтепродуктами территорий составляет десятки тысяч гектаров (Трофимов, 2007). Обширные площади нефтяных разливов приходится на торфа и торфяные почвы, развитые в пределах верховых болот. Деструкция нефти микроорганизмами в гидроморфных почвах изучена хуже, по сравнению с автоморфными почвами (Солнцева, 1998). Биоремедиация с использованием специальных биопрепаратов и сорбентов, активирующих работу аборигенных микроорганизмов, является одним из наиболее эффективных приемов ремедиации нефтезагрязненных вод и земель (Calabrese, Kostecki, 1993). Успех биоремедиации зависит от вида сорбента и от правильности подобранных условий для работы внесенных или аборигенных микроорганизмов-деструкторов нефти – pH и Eh. Для успешной биоремедиации микроорганизмы должны быть снабжены элементами питания, а в анаэробных условиях – акцепторами электронов.

Целью работы является оценка изменения содержания нефтепродуктов при использовании довольно частых приемов ремедиации (внесении карбонатов, удобрений N:P:K, сорбента) в процессе инкубации. Был заложен модельный эксперимент продолжительностью 2,5–3 месяца, в ходе которого измерялись величины pH, Eh, температура. В начале и конце опыта в образцах измерялось содержание нефтепродуктов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования были чистый и загрязненный нефтью торф верхового болота. Образцы отобраны из олиготрофного болота в районе трубопровода Суторминского месторождения в Ямало-Ненецком автономном округе. Загрязненный торф взят с территории куста 183–184. Загрязнение торфа нефтью произошло в результате повреждения трубопровода. Возраст нефтяного загрязнения – около 8 лет. В образце чистого торфа были определены актуальная, обменная и гидролитическая кислотность стандартными методами (Воробьева, 1998). Титрование обменной и гидролитической кислотности проводили на приборе Mettler Toledo DL-58, использовали стеклянный электрод DG-111.

Бентонит, предоставленный компанией BentoGroupMinerals, добыт на Саригюхском месторождении (Тавушская область, Республики Армения). По своим свойствам она приближается к глинам штата Вайоминг (США). Содержание в Саригюхской глине монтмориллонита составляет около 90 %. Разработка месторождения ведется открытым способом. Бентонит представляет собой гранулы размера 0,5–2 мм (по данным BentoGroupMinerals).

Модельный лабораторный эксперимент был заложен в трех повторностях и проводился в течение 2.5–3 месяцев. В емкости помещали по 145 г влажного загрязненного нефтью торфа. Влажный торф в сосудах заливали водой таким образом, чтобы поверхность торфа была в воде (около 250 мл). Для уменьшения испарения сосуды закрывали сверху пленкой. В разные варианты опыта вносили:

1. Воду (контроль);
2. CaCO_3 ;
3. CaCO_3 , бентонит;
4. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, K_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$;
5. CaCO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, K_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$;
6. CaCO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, K_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, бентонит.

Карбонат кальция и удобрения в начале эксперимента вносили в виде порошков, тщательно перемешивая с торфом, прежде чем заполнить сосуд для инкубирования. Дозы внесенных удобрений: $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ – 0.35 г, K_2SO_4 – 0.29 г, $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ – 0.35 г. $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ дополнительно вносился дважды в процессе инкубирования в жидкой форме по 0.35 г в 30 мл воды на образец. Бентонит вносился в твердом виде из расчета 5 % от массы влажного торфа.

Сосуды с торфом выдерживали при температуре от 20 до 25 °C для создания оптимальных условий для микроорганизмов-деструкторов нефти. В течение эксперимента в образцах проводили измерение Eh, pH и температуры *in situ* в пятикратной повторности. Электроды для измерения Eh помещали в каждый сосуд для инкубирования. Измерительный электрод погружали на глубину около 7 см и не вынимали из торфа до окончания опыта. Измерение pH проводили во всех сосудах в каждой серии эксперимента. Измерительный электрод погружали в торф только на время измерения на глубину около 7 см. Величины pH измеряли комбинированным стеклянным электродом ЭСК-10601/7 на иономере И-510. Величину Eh определяли с помощью платинового электрода ЭПВ-I на потенциометре И-500. В качестве электрода сравнения использовали хлорсеребряный электрод ЭВЛ-1М1. Температура измерялась термодатчиком ионометра И-510.

Нефтепродукты в образцах определяли по «Методике выполнения измерений массовой доли НП в почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии» ПНД Ф 16.1:2.2.22-98 (1998). Из-за высокого содержания нефтепродуктов в образцах был использован метод исчерпывающей экстракции. Экстракция проводилась до обесцвечивания вытяжки четыреххлористого углерода. Измерения проводили на приборе КН-2М. В качестве стандарта был использован ГСО № 7554-99 (ГСО – трехкомпонентная смесь (состоящая из нормального алкана, изоалкана, ароматического углеводорода бензола в определенном соотношении) нефтепродуктов в четыреххлористом углероде). Было измерено содержание нефтепродуктов в торфе до инкубации, а так же содержание нефтепродуктов в образцах после инкубации. Поскольку в эксперименте использовался влажный торф, то для расчетов в торфе была определена влажность торфа до воздушно-сухого и до абсолютно сухого состояния (ГОСТ 11305-83).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

pH водной вытяжки из незагрязненного (фонового) торфа составляет 3.71, pH солевой вытяжки – 2.43. Величина обменной кислотности незагрязненного торфа – 10.19 ммоль(+)/100 г, величина гидролитический кислотности – 107.21 ммоль(+)/100 г.

Влажность торфа составляла 70 % при высушивании до воздушно-сухого и 82 % до абсолютно сухого состояния. Расчеты производились согласно ГОСТ 11305-83. Однако для абсолютно сухого торфа вклад в потерю массы могли внести летучие фракции нефтепродуктов.

Величина pH загрязненного торфа колеблется в пределах 4.6–5.1. Более высокое значение pH загрязненного торфа относительно значения pH чистых торфов связано с блокировкой кислотных позиций нефтепродуктами. В торф, загрязненный НП, вносили

карбонаты и бентонит, для повышения значения рН. Поскольку в вариантах опыта с бентонитом и удобрениями величина рН была ниже, чем в варианте с бентонитом, то в эти сосуды вносили дополнительные количества карбоната кальция, для того чтобы обеспечить равные условия для функционирования микроорганизмов в разных вариантах опыта. На протяжении всего эксперимента отмечается устойчивое повышение рН. В конце эксперимента удалось достигнуть величин рН 7.3–7.4.

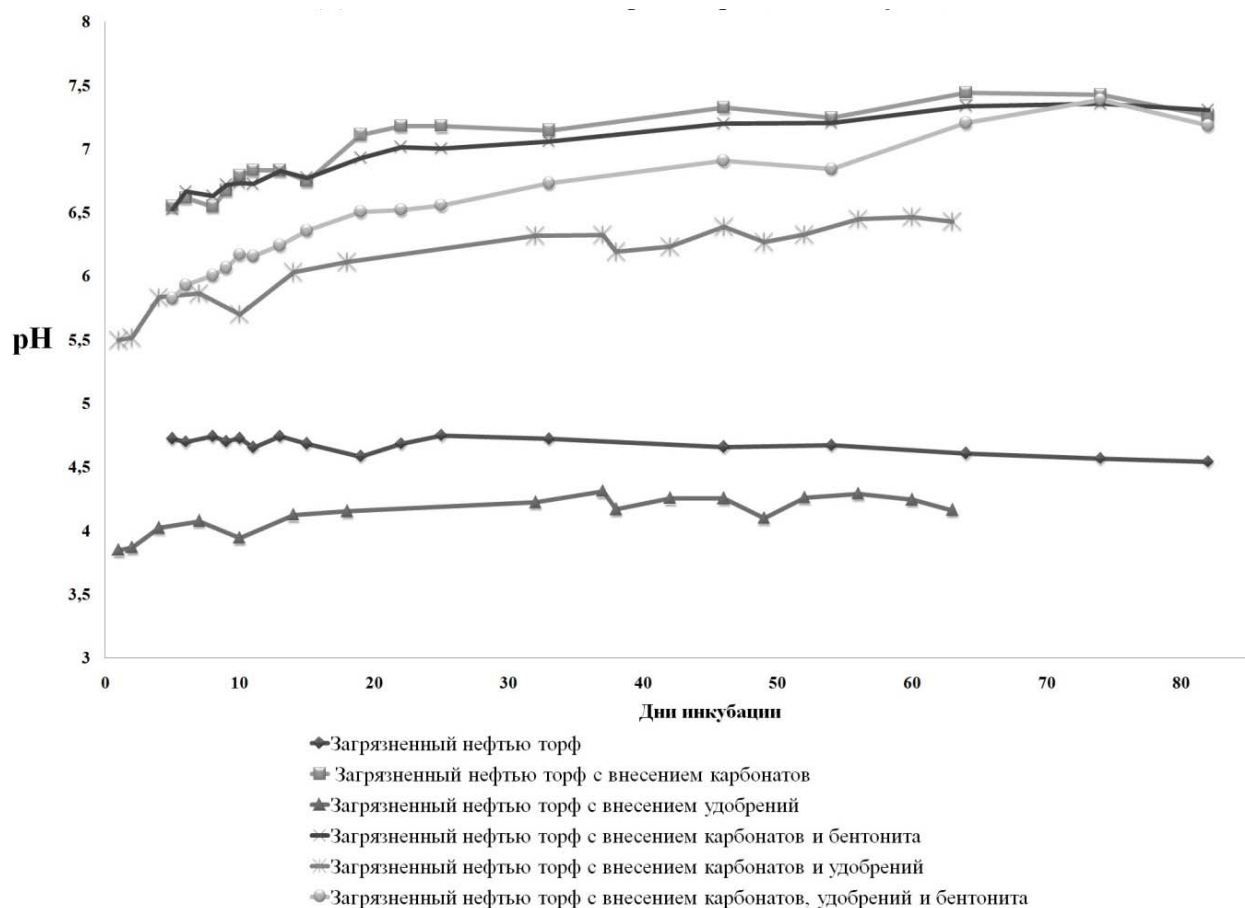


Рисунок 1. Динамика изменения рН в процессе инкубации.

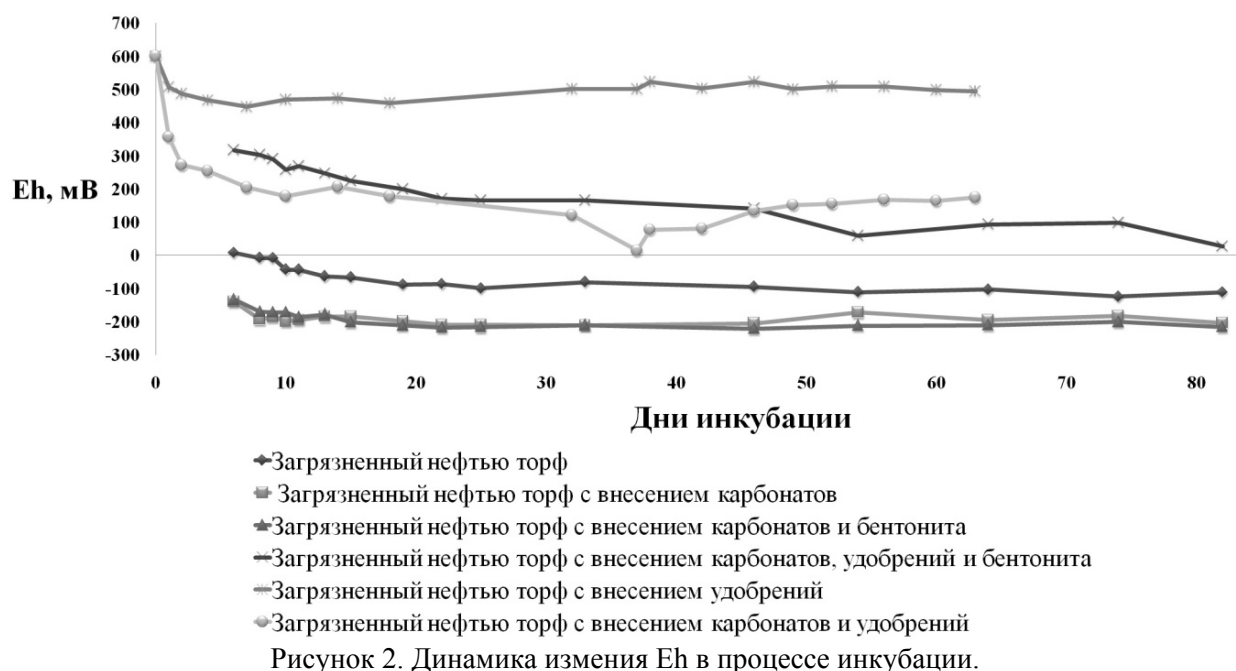
В первые дни инкубации окислительно-восстановительный потенциал снижается во всех образцах (рис. 1). Это связано с уменьшением парциального давления кислорода в воде, который расходуется на дыхание микроорганизмов.

В вариантах опыта с внесением солей, содержащих азот и серу в высокой степени окисления (NO_3^- , SO_4^{2-}), Eh системы более высокий. В этом случае термодинамическое равновесие обеспечивается не только парциальным давлением кислорода, растворенного в воде, но и активностью анионов солей. Эти анионы служат в качестве питательного субстрата и в качестве акцептора электронов для факультативных анаэробов. В процессе дыхания концентрация этих солей снижается, и закономерно снижается окислительно-восстановительный потенциал (Толпешта, Трофимов и др., 2015). По мере снижения Eh начинают действовать различные группы микроорганизмов (Rolle et al., 2008).

Разница Eh между контролем с водой и вариантами опыта с карбонатами и с карбонатами и бентонитом составляет около 200 мВ, а разница рН – около 3.5 единиц. Сравнение этих значений (при полном затоплении) с диаграммой Гаррелса и Крайста (Орлов, 1985) позволяет говорить, что парциальные давления кислорода и газов-восстановителей в системе неизменны: согласно уравнению Нернста в изобарной системе повышение рН на единицу снижает потенциал на 58.1 мВ. Можно предположить, что подобные значения рН-Eh находятся в критической зоне, в которых скорость биохимических процессов

(в том числе дыхание, которое привело бы к отклонению Eh от локального равновесия) микроорганизмов сильно замедляется.

При повторном внесении удобрений в процессе эксперимента окислительно-восстановительный потенциал незначительно повышался.



Содержание нефтепродуктов приведено табл. 1. Для вариантов опыта с внесением бентонита концентрация нефтепродуктов пересчитана на загрязненный нефтью торф, что бы выявить изменение концентрации, связанное с деятельностью микроорганизмов. Значительное (по критерию Вилкоксона и знаков) снижение нефтепродуктов замечено во всех вариантах опыта с внесением удобрений. Это связано с использованием удобрений в качестве акцепторов электронов, и для увеличения биомассы, поскольку верховой торф сильно обеднен элементами минерального питания. Значительного снижения концентрации нефтепродуктов в остальных вариантах по сравнению с образцом до инкубации не замечено. Это может быть связано с довольно коротким периодом инкубации, а так же с тем, что загрязнение весьма старое и наиболее выгодные для разложения углеводороды уже были разложены.

Таблица 1. Содержание нефтепродуктов воздушно-сухого торфа в разных вариантах опыта, мг/г.

Статистический показатель	Вариант опыта						
	До инкубации	1	2	3	4	5	6
Количество определений	8	7	6	7	6	6	9
Среднее	474.3	455.2	394.2	465.3	308.4	306.5	335.2
Медиана	475.3	498.8	377.3	466.5	306.3	301.2	323.7
Минимум	328.8	279.4	347.0	384.9	276.2	288.8	300.3
Максимум	611.3	590.2	463.1	521.6	345.5	332.7	397.4
Нижний квартиль	400.9	351.5	359.5	442.8	282.1	294.4	315.0
Верхний квартиль	550.9	540.7	440.8	495.3	334.3	320.5	336.6
Стандартное отклонение	99.2	110.0	47.3	43.7	28.4	17.1	32.9

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате эксперимента установлено, что значимое снижение содержания нефтепродуктов происходит в вариантах опыта:

- $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, K_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$
- CaCO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, K_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$
- CaCO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, K_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$, бентонит

Это связано с использованием удобрений ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, K_2SO_4 , $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$), выступающих в качестве акцепторов электронов и как источников необходимых элементов в условиях бедной минеральными элементами питания среде.

Основным препятствием для биodeградации нефтепродуктов в условиях затопления является критически низкий окислительно-восстановительный потенциал.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 271 с.
2. ГОСТ 11305-83 Торф. Методы определения влаги.
3. Орлов Д.С. Химия почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. – 376 с.
4. Пиковский Ю.И., Геннадиев А.Н., Чернянский С.С., Сахаров Г.Н. Проблема диагностики и нормирования загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами // Почвоведение. 2003. № 9. С. 1132–1140.
5. ПНД Ф 16.1:2.2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли НП в почвах и донных отложениях методом ИК-спектроскопии.
6. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. М.: Издательство Московского Университета, 1998 – 376 с.
7. Толпешта И.И., Трофимов С.Я., Эркенова М.И., Соколова Т.А., Степанов А.Л., Лысак Л.В., Лобаненков А.М. Лабораторное моделирование последовательного аэробного и анаэробного разложения нефтепродуктов в загрязненном нефтью верховом торфе. // Почвоведение, 2015, № 3, с. 360–372
8. Трофимов С.Я. Актуальные проблемы рекультивации нефтезагрязненных почв таежной зоны Западной Сибири // Современные проблемы загрязнения почв. Сб. материалов II Межд. научн. конф. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2007. Т. 1. С. 36–37.
9. BentoGroupMinerals [Официальный сайт]. URL: <http://www.bentogroup.ru> (дата обращения: 28.03.2015).
10. Calabrese E.J., Kostecki P.T., Principles and practices for petroleum contaminated soils. Lewis Publishers, 1992–658 p.
11. Rolle M., Clement T. P., Sethi R., Di Molfetta A. A kinetic approach for simulating redox-controlled fringe and core biodegradation processes in groundwater: model development and application to a landfill site in Piedmont, Italy. // Hydrol. Process., 2008, 22: 4905–4921

Работа рекомендована д.б.н., заведующим кафедрой И.И. Толпешта.

АГРОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЛЕСОСТЕПИ СРЕДНЕРУССКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ

Н.И. Лозбенев

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, nlozbenev@mail.ru

В работе представлены результаты детальной почвенно-топографической съемки целинных и пахотных междуречных и склоновых ландшафтных аналогов в Курской области. Показаны тенденции трансформации микрорельефа и почвенного покрова. Выявлено сохранение исходного варьирования почвенных свойств под пахотным горизонтом, учет которого необходим при мониторинге агродеградации. Подтверждены известные ранее процессы дегумификации и переуплотнения почвенных профилей.

ВВЕДЕНИЕ

К настоящему моменту почти половина естественных ландшафтов преобразована хозяйственной деятельностью человека, из них около 10 % занимают пахотные земли [Elis et al., 2010]. Ландшафты, подвергшиеся агрогенной трансформации, страдают от усиления эрозии, дефляции, дегумификации и переуплотнения почв, упрощением микроструктуры рельефа [Козловский, Чаплин, 1994].

Значительному агрогенному воздействию подвергаются лесостепные ландшафты Среднерусской возвышенности. Изучение агрогенной деградации почвенного покрова проводится уже десятки лет и в большинстве работ приводится точечное сравнение целинных и пахотных почв без учета их пространственного варьирования. Однако, в некоторых работах по лесостепной области [Афанасьева, 1966], отмечается, что почвенный покров крайне неоднороден даже на локальном уровне. Поэтому для корректного выявления агрогенных изменений в ландшафте необходимо сравнивать не точечные разрезы, а площадки, расположенные в идентичных ландшафтных условиях.

Исходя из вышесказанного, целью работы было выявление закономерностей агрогенной трансформации почвенного покрова ландшафтов-аналогов на водоразделах и склонах в Курской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для проведения сравнительного анализа целинных и пахотных ландшафтов-аналогов были выбраны территории в Стрелецком участке Центрально-Чернозёмного государственного природного биосферного заповедника имени В.В. Алёхина, в качестве целинного и в Курском НИИ Агропромышленного производства, в качестве антропогенно-модифицированного.

Климат района умеренно-континентальный, среднегодовое количество осадков около 590 мм, коэффициент увлажнения 0.9–1.0. Почвообразующие породы – лессовидные суглинки мощностью 2–8 метров.

Наибольшее распространение в пределах изучаемых участков имеют черноземы типичные и черноземы выщелоченные. На микроповышениях с ослабленным промывом формируются черноземы типичные карбонатные. К суффозионным западинам приурочены лугово-черноземные почвы, к ложбинам – черноземы выщелоченные.

Заметную роль в формировании современного рельефа и структуры почвенного покрова сыграла деятельность сурков. Сурчины имеют высоту до 30 см и диаметр до 6 метров, к ним приурочены черноземы типичные карбонатные.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

Выбор ландшафтно-позиционных аналогов для исследования

Выбор площадок для детального картографирования проводился на основании цифровой модели рельефа (ЦМР) с размером ячейки 25 метров. По ЦМР рассчитаны морфометрические величины, наиболее информативными из которых являются: крутизна и экспозиция склонов, относительные превышения в окрестности 500 метров. В качестве эталонов для поиска задавались пиксели целинных участков и для них в пространстве признаков (значений морфометрических величин) путем расчета дистанции Махаланобиса находились полные топографические аналоги, имеющие сходные почвообразующие породы и гидрогеологические условия.

МЕТОДИКА ПОЧВЕННО-ТОПОГРАФИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ И ОТБОРА ОБРАЗЦОВ

Основой работы является детальная топографическая съемка. На её основе построены цифровые модели рельефа всех участков и рассчитано порядка 20 морфометрических величин в программе SAGA GIS. Точки описания почв и растительности выбирались по методу профилей и экспертно в разных позициях микрорельефа. Отбор проб для определения объемного веса почв производился по стандартным глубинам (0–10 см, 10–20 см, 30–40 см, 50–60 см, 70–80 см, 90–100 см) либо кольцами Качинского из разрезов или монолитов, пробуренных мотобуром, либо из ручного бура с пробоотборником фиксированного объема. Определение содержания гумуса проводилось в Почвенном институте им. В.В. Докучаева по методу И.В. Тюрина.

Цифровое картографирование почвенных свойств (глубины вскипания вторичных карбонатов, запасов гумуса) проводилось методом пошаговой линейной регрессии. Построение почвенной карты – методом дискриминантного анализа. В работе также использовались статистические тесты для определения достоверности различий показателей (t-test) и другие статистические методы.

Основой для классификации почв в данной работе выбран Единый государственный реестр почвенных ресурсов России [Единый..., 2014], утвержденный министерством сельского хозяйства России в 2014 году. Он очень удобен в использовании, поскольку опирается на широко используемую классификацию почв 1977 года.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Целинный водораздельный участок площадью 32 га располагается в пределах междуречья и приводораздельного склона. Микрорельеф исследуемого участка ложбинно-западинный с шириной ложбин в среднем 3 метра, глубиной 30 см. На выположенных субгоризонтальных междуречьях распространены бессточные замкнутые понижения глубиной до 2 м.

Поскольку известно, что для Среднерусской возвышенности рельеф (детально описанный системой GNSS) является ведущим фактором дифференциации почв и почвенных свойств, то на его основании с использованием полевых данных (117 точек описания) удалось построить карту глубины вскипания вторичных карбонатов с высокой точностью ($R^2=0.83$, стандартная ошибка – 63 см), описав значительное пространственное варьирование показателя (от 20 см до 600 см).

Отобранные и проанализированные образцы на содержание гумуса и объемный вес (всего – 109 точек) позволили обнаружить значительную вариабельность запаса гумуса в метровом слое (450–810 т/га). Была составлена модель пространственного распределения запасов гумуса в связи с микрорельефом. Точность этой модели заметно ниже ($R^2=0.54$), однако на уровне тенденции можно заметить увеличение запаса в микроложбинах и суффузионных западинах.

Моделирование структуры почвенного покрова показало микрокомплексность элементарных почвенных ареалов черноземов типичных, типичных карбонатных, выщелоченных и луговато-черноземных почв, варьирующих также в связи с микрорельефом.

Детальная топографическая съемка пахотного аналога показала, что микрорельеф участка полностью трансформирован. Вместо ложбинно-западинного микрорельефа вследствие механического воздействия тяжелой техники образовался параллельно грядовой со сгонно-разгонными бороздами.

Такой микрорельеф не позволяет использовать методы цифровой почвенной картографии для моделирования почв и почвенных свойств на основании микрорельефа. Однако, детальная почвенная съемка позволяет сделать некоторые выводы об особенностях деградационных процессов на пашне. Во-первых, произошло статистически достоверное увеличение объемного веса почв с $0.8\text{--}0.9\text{ г/см}^3$ до $1.3\text{--}1.4\text{ г/см}^3$ в пахотном горизонте. Большая часть воды теперь стекает по поверхности, не фильтруясь в почву. Во-вторых, происходит достоверное снижение содержания гумуса в пахотном слое, поддерживавшего, в том числе, структуру почвы, с 10–12 % до 5–6 %. Минерализации подвергается, в основном, лабильная фракция гумуса, содержащая большую часть питательных макро- и микроэлементов.

Несмотря на снижение содержания гумуса, запасы гумуса в пахотных почвах практически не различаются с целинными из-за роста объемного веса. Однако, если привести 30-ти сантиметровой пахотный горизонт к плотности целинных почв, оказывается, что он соответствует 37 сантиметрам почвы на пашне. При таком пересчете становится заметно уменьшение запасов гумуса с 310 т/га на целине, на пашне 1970-х годов – до 220 т/га [Фишман, 1977], а на современной пашне (по результатам почвенной съемки 2014 года) – до 180 т/га.

Обследование целинного и пахотного склонов позволило выявить структуру почвенного покрова участков и тенденцию агрогенных изменений склонов.

Детальная топографическая съемка целинного склонового участка (6500 пикетов) позволила построить цифровую модель рельефа и рассчитать морфометрические величины, описывающие перераспределение влаги как фактора образования структуры почвенного покрова. Склон южной экспозиции имеет крутизну порядка 5° в верхней части и до 25° в нижней. Микрорельеф ключевого участка – ложбинный (с глубиной ложбин до 1 метра в верхней части склона) с микроповышениями (высотой до 30 см) между ложбинами.

Детальная почвенная съемка по профилям и в экспертно выбранных точках, общее количество которых – 78, позволила детально закартографировать глубины вторичных карбонатов на участке. Глубина вскипания вторичных карбонатов довольно точно ($R^2=0.8$, стандартная ошибка – 25 см) варьирует в связи с микрорельефом. На плоских и выпуклых участках карбонаты вскипают на глубине от 30 до 150 см. В микроложбинах глубина вскипания располагается на глубинах более 180 см. В днищах широких ложбин и балок карбонаты опущены на глубину более 300 см.

Моделирование почвенного покрова целинных склонов показало его высокую вариабельность. Здесь встречаются черноземы типичные и выщелоченные. Микроповышения, в том числе зоогенного происхождения, занимают черноземы типичные карбонатные. К ложбинам приурочены чернозёмы выщелоченные с большой глубиной вскипания вторичных карбонатов.

Детальное обследование пахотных склоновых ключевых участков выявило деградацию ложбинной сети, свойственной склонам. Она «замывается» вследствие воздействия тяжелой техники и почти не видна в современном рельефе, а микроповышения (в т.ч. микросурчины) и вовсе пропадают.

Однако реконструировать микрорельеф оказывается возможно по верхней границе вскипания вторичных карбонатов. Она варьирует вне связи с современным микрорельефом и по ней до сих пор четко прослеживается ложбинная структура с линейными формами через каждые 25 метров, где карбонаты опущены до глубины 150 см и более, при средней глубине около 60 см. Также четко в ландшафтной структуре видны запаханые палеосурчины с вскипанием на глубине менее 30 см.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате распашки междуречья и склоны испытывают комплексное воздействие от тяжелой техники, отчуждения органического вещества. Пахотные ландшафты характеризуются значительной трансформированностью микрорельефа. Вместо ложбинно-западинного микрорельефа образуются сгонно-разгонные борозды и, вследствие этого, упрощается морфологическая структура при сохранении исходного варьирования почвенных свойств под плужной подошвой. Также значительно возрастает объемный вес почв в метровом слое (0.8 г/см^3 в верхних 30 см на целине до 1.4 г/см^3 в пахотном горизонте). Происходит дегумификация пахотного горизонта (с 10–12 % до 5–6 %), но при сохранении запасов гумуса во всем метровом слое (ср. 520–540 т/га) вследствие переуплотнения. Сохранение исходной неоднородности почвенного покрова, глубин вскипания вторичных карбонатов под пахотным горизонтом необходимо учитывать при составлении системы мониторинга агродеградации лесостепи Среднерусской возвышенности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьева Е.А. Черноземы Средне-Русской возвышенности. М.: Наука, 1966. – 227 с.
2. Единый Государственный реестр почвенных ресурсов России. 2014.
3. Козловский Ф.И., Чаплин В.А. Агродеградация черноземов // Степи Русской равнины. Состояние, рационализация аграрного освоения. – М.: Наука, 1994 – 450 с.
4. Фишман М.И. Черноземные комплексы и их связь с рельефом на Среднерусской возвышенности // Почвоведение, 1977 – № 5, С. 17–29.
5. Ellis Erle C., Goldewijk Kees Klein, Stefan Siebert, Deborah Lightman, Navin Ramankutty. Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000//Global Ecology and Biogeography, vol. 19, Issue 5, pp. 589–606, 2010.

Работа рекомендована к.г.н., доц. Д.Н. Козловым.

УДК 631.4

ДИАГНОСТИКА ПРОЦЕССОВ ТВЕРДОФАЗНОЙ МИГРАЦИИ В ПОЧВАХ ГЕМИБОРЕАЛЬНЫХ ЛЕСОВ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ: НАТУРНЫЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ПОДХОДЫ

С.В. Лойко, С.П. Кулижский, Г.И. Истигечев, Т.А. Новокрещенных, А.В. Родикова

Томский государственный университет, Томск, s.loyko@yandex.ru

На основании данных впервые для экосистем подтайги и черневой тайги юго-востока Западной Сибири систематизированы данные по признакам тонкодисперсного переноса. Предложен балл иллювиальности для полевой морфологической оценки степени развития кутанного комплекса. Проведены лабораторные эксперименты по оценке потенциала тонкодисперсной миграции в почвах. Показана значительная вариабельность миграционных показателей и ведущий вклад в эту вариабельность геометрии порового пространства. Показана возможность миграции твердого вещества с током капиллярных вод.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из универсальных почвенных процессов, определяющих экологическое состояние почв, является миграция дисперсных частиц (лессиваж и партлювация). Частицы могут иметь как инситную природу, так и поступать в почву с поверхности, в том числе при загрязнении. Больше внимание при исследованиях уделяется тонкодисперсной миграции, в ходе которой перемещаются частицы диаметром менее нескольких мкм. Почти

Работа выполнена при поддержке РФФИ № 14-04-00967_a и гранта Президента РФ № МК-6317.2015.4

© С.В. Лойко, С.П. Кулижский, Г.И. Истигечев, Т.А. Новокрещенных, А.В. Родикова, 2017

в 38 % почв, от площади почвенного покрова Земли, лессиваж происходит или потенциально возможен (Quénard et al, 2011). Влияние тонкодисперсной миграции на экологическое состояние почв реализуется как через значительное изменение свойств почв на длительных временных интервалах, так и в переносе различных загрязняющих веществ через почвенную толщу. В связи с этим решение вопроса о потенциале суспензионного переноса частиц через почвы представляется важным как для решения вопросов длительно-временной динамики почв, так и с точки зрения оценки биобезопасности тонкодисперсных техногенных материалов.

Однако лессиваж никогда не измерялся в почвах напрямую из-за очевидных трудностей, очень плохо оценен количественно и в единичных работах смоделирован (Cornu et al, 2014). Более того, Legros (2007) утверждает, что лессиваж не существует, так как высокое содержание частиц размером менее 2 мкм в иллювиальном горизонте может являться результатом *in situ* выветривания. Quénard et al (2011) используя балансовый метод показал, что лессиваж ответственен за текстурную дифференциацию профилей только в 1 из 12 % почвенных профилей, идентифицированных как лювисоли и альбелювисоли во французской базе данных DONESOL. Krull et al. (2006) пришли к выводу, что наблюдаемые гранулометрические переходы в Luvic Calcic Kastanozems связаны с накоплением в разные эпохи эоловых отложений, а не лессиважем. Лессиваж обычно диагностируется по присутствию в почве глинистых пленок на поверхности агрегатов, но есть указания, что формирование оптически ориентированной глины в текстурном горизонте возможно *in situ*, а гранулометрическая неоднородность текстурно-дифференцированных почв связана с различными этапами литогенеза (Турсина, 2012; Соколов, 1997). Также под сомнение роль лессиважа, а значит и тонкодисперсной миграции, ставят Березин и Карпачевский (2009). Ф.Р. Зайдельман (2007) пришёл к выводу, что лессиваж лишь сопутствующее явление в генезисе светлых кислых элювиальных горизонтов и возникает, преимущественно, в суглинистых хорошо дренированных почвах. Таким образом, роль лессиважа в формировании почв несколько спорна. И хотя вертикальный перенос частиц не вызывает сомнения, и был признан с конца восьмидесятых годов прошлого века как важный экологический процесс переноса загрязняющих веществ через зоны аэрации в сторону грунтовых вод, вклад его в формирование текстурной дифференциации до конца не ясен. Описанные характерные времена лессиважа составляют от десятков до тысяч лет (Finke and Hutson, 2008), из чего следует, что кинетика этого процесса в значительной степени неизвестна. Так М.А. Бронникова (2005) по результатам обзора ряда работ пришла к выводу, что для формирования кутан суспензионного иллювиирования в почвах таежно-лесных ландшафтов достаточно нескольких лет.

В последнее время исследователи проводят фильтрационные опыты с новым типом материалов – наночастицами, представляющими собой инертные частицы размером менее 100 нм. Появилось уже несколько десятков экспериментальных работ, выполненных с использованием колонок заполненных искусственной средой или почвой. Показано, что наночастицы наиболее инертных металлов могут перемещаться в почвах на значительные расстояния. Например, для CeO_2 , TiO_2 и Al_2O_3 приводятся (Fang, Yu, 2013) следующие расчетные диапазоны расстояний миграции (см): 52–69043, 31–332 и <10–5722, соответственно. В отечественной литературе возможность миграции тонкодисперсной фазы в профилях почв подтверждена экспериментально в опытах с микрокристаллами BaSO_4 (Ковеня и др., 1972). В связи с вышесказанным, целью нашей работы явилось лабораторное моделирование тонкодисперсного переноса и разработка способа балльной оценки интенсивности иллювиирования в почвах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в гемибореальных лесах юго-востока Западно-Сибирской равнины (Томь-Яйское междуречье, юг Томской области). Для этой территории характерна высокая расчлененность рельефа и значительные для равнинных условий отно-

сительные перепады высот (до 200 м). Среди ландшафтов междуречья выделяются 3 основных типологических подтипа, приуроченных к различным высотам: нижняя (до 150 м) и верхняя предгорная подтайга (до 180 м), черневая тайга междуречий (180–270 м). В пределах ландшафтов разрезы выбирались так, чтобы охарактеризовать рассеивающие (микроводоразделы) и собирающие склоны (ложбины) в пределах междуречий.

В нижней подтайге изучены тёмно-серая глинофибровая глубокоосветленная микроводораздела (р. Луч 14-1) и тёмно-серая сверхглубокоосветленная ложбины (р. Луч 14-3). В верхней подтайге – светло-серая типичная глубокоосветленная микроводораздела (р. Аэ 14-1) и серая поверхностно-глееватая темнокутанная почва ложбины (р. Аэ 14-2). В черневой тайге – светло-серая типичная сверхглубокоосветленная микроводораздела (р. ЧТ14-1) и темно-серая остаточно-гумусовая темнокутанная глееватая ложбины (р. ЧТ14-4).

Для диагностики особенностей протекания иллювиального процесса проводили детальные макро- и мезоморфологические описания. Для интегрирования результатов описания признаков иллювиирования предложен балл иллювиальности. Рассчитывается он путём сложения баллов определенных для различных признаков кутанного комплекса почв (цветовая дифференциация кутан, характер слоистости кутан, толщина кутан и т.д.).

Для проведения фильтрационных экспериментов с наночастицами из заложенных разрезов отобрано 114 монолитов в цилиндрические фильтрационные колонки высотой 15 и диаметром 8 см. В качестве модельных частиц, имитирующих поведение в почве тонкодисперсной фракции, были выбраны наночастицы платины диаметром 15–20 нм. Концентрация используемых суспензий платины составляла 10 мг/л, объем вносимой суспензии в каждую из колонок равен 200 мл. Платина была выбрана в связи с её очень низким фоновым содержанием в исследуемых почвах.

Перед внесением суспензии наночастиц колонки увлажняли до состояния наименьшей влагоемкости. Суспензию вносили разово и засекали время её полного впитывания. Из элюата сразу после впитывания отбиралась проба для анализа содержания платины. Также содержание платины определяли в верхней и нижней частях колонки. Это позволило рассчитать процент задержания тонкодисперсной платины для каждой колонки (коэффициент распределения платины – K_{pt} (концентрация платины вверху колонки / платина внизу)).

Также две колонки (гор. НН и ВТ) исследовали на предмет возможности перемещения наночастиц с капиллярной влагой, для чего колонки ставили в сосуд с суспензией платины, которая соприкасалась своей поверхностью с дном почвенной колонки. Колонки стояли в таком состоянии 5 дней, верхняя поверхность была прикрыта листом бумаги, для уменьшения интенсивности испарения и образования трещин.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В черневой тайге в направлении от светло-серой почвы микроводораздела к темно-серой в ложбине коэффициент текстурной дифференциации (КД) уменьшается от 6.7 до 1.6. Отношение КД тёмно-серой почвы к КД светло-серой составляет 0.2. Профильные кривые распределения илстой фракции формируют «ножницы» с точкой пересечения в диапазоне глубин 60–70 см. Выше этой глубины более легкий гран. состав характерен для светло-серой почвы, а более тяжелый для тёмно-серой, ниже наоборот, иллювиальные горизонты светло-серой почвы содержат больше илстой фракции, чем аналогичные тёмно-серой. Срединные горизонты характеризуются усилением выраженности признаков иллювиирования, а их мощность возрастает до 2-х раз. Балл иллювиальности изменяется от 14 единиц в светло-серой почве до 17 единиц в тёмно-серой остаточно-гумусовой. Отношение балла почвы ложбины к баллу почвы микроводораздела составляет 1.2.

Кутанные комплекс обеих почв в МПК хорошо развит, глинистые кутаны однослойные, образуют скопления в пустотах, формируя «гиперкутаны» толщиной более 1 см. Для них не характерна слоистость. Степень «фрактальности» кутан самая высокая в пределах междуречьях, в верхней трети иллювиального горизонта плёнки наблюдаются

практически на всех поверхностях агрегатов, вплоть до мелкоореховатой и зернистой отдельности. Тёмно-серая почва характеризуется значительной цветовой дифференциацией кутанного комплекса от бурых до тёмно-серых. Кутаны дерново-подзолистой почвы имеют красноватый (коричневатый) оттенок. Глинистые кутаны в этих почвах устилают все поры и не имеют разрывов сплошности, а поэтому внутрипедная масса имеет надёжную гидроизоляцию. Фронтальная фильтрация в этих горизонтах невозможна. Учитывая незначительный объем пор в набухших почвах, можно полагать, что поступление влаги в текстурные горизонты имеет совершенно незначительные величины, что делает неоправданным применение балансового метода к анализу почвенного профиля.

В светло-серых почвах микроводоразделов верхней подтайги вплоть до гор. ВСса по корневым разветвлениям проникают скелетаны, диагностирующие партлювацию. Кутаны выражены слабо, поэтому лессиваж диагностирован как сопряженный процесс. В верховьях ложбин серые почвы отличаются более мощными элювиальными горизонтами (55–60, против 40 см) и усилением серого оттенка окраски гумусовых горизонтов. Усиливается лессиваж, срединные горизонты сменяются от ВТ к ВТ_{th}, появляются мощные гумусово-глинистые кутаны. Балл иллювиальности сменяется от 10 в светло-серой почве микроводораздела до 18 в серой почве ложбины, что больше в 1.8 раза. Все горизонты светло-серой почвы являются фильтрующими, причем за счёт наличия значительного числа ходов червей удержание наночастиц ослаблено, что согласуется с значительной глубиной проникновения по крупным порам скелетан в этих почвах. Иллювиальные же горизонты серой почвы воду в колонках не пропустили совсем. Балл иллювиальности в серых темнокутаных поверхностно-глееватых почвах ложбин достигает наибольших значений на Томь-Яйском междуречья. Это связано с тем, что периодически происходит значительное просыхание текстурных горизонтов (в отличие от черневой тайги) и формируются мощные глинистые натёки по магистральным трещинам. Коэффициенты текстурной дифференциации различаются в 1.2 раза, в светло-серой почве составляя 3.8 единицы, а в серой 4.4. При этом серая почва дифференцирована сильнее. Латеральные потоки, по всей видимости, начинают доминировать над латеральными по мере приближения к тальвегу ложбин.

В лесах нижней подтайги темно-серые глинофибровые почвы сменяются залегающими в понижениях темно-серыми почвами ложбин. При переходе от рассеивающей позиции к собирающей усиливается текстурная дифференциация почв. Баллы иллювиальности этих почв имеют наименьшие значения, так для почвы микроводораздела он равен 5, а в ложбине 10, соответственно КД изменяются от 2.2 до 3.9. Профильные кривые распределения формируют ножницы с пересечением в районе глубин 120 см, при этом в верхней своей части более легкими являются тёмно-серые почвы ложбины.

В рассмотренных почвах имеется несовпадение максимальных величин КД и балла иллювиальности. Так минимальный КД характерен для тёмно-серой остаточно-гумусовой почвы ложбины черневой тайги. Однако балл иллювиальности в этой почве достигает 17, что близко к максимальному значению в изученных почвах. В светло-серой почве черневой тайги КД составляет уже 6.7, однако балл иллювиальности падает до 14. Отметим, что темно-серых почв нижней подтайги наблюдается согласованное поведение этих двух показателей. Такая ситуация объясняется тем, что кутанный комплекс тёмно-серой почвы ложбины в черневой тайге развивается под воздействием латерального потока верховодок, которые приносят тонкодисперсный материал. В нижней же подтайге латеральные процессы развиты слабо, преобладает радиальная фильтрация.

В результате проведенных фильтрационных экспериментов с использованием суспензии наночастиц платины выявлено отсутствие каких-либо простых корреляционных зависимостей между показателями пропускания наночастиц через почвенную колонку и свойствами почвы. Не обнаруживаются простых зависимостей и в степени дифференциации распределения наночастиц платины в массе фильтрационных колонок.

Оказалось, что гумусовые горизонты обладают способностью к значительному удержанию наночастиц, несмотря на высокую скорость впитывания. Но в повторности наблюдается значительное варьирование значений удержания почвой наночастиц. Из исходной концентрации 10 мг/л в растворе могут оставаться как десятые доли мг, так и целочисленные значения, вплоть до 3.8 мг/л. Максимальные величины пропускания были характерны для гумусово-элювиальных горизонтов (6.88 мг/л, при скорости впитывания 200 мл суспензии – 176 с).

Текстурные горизонты, несмотря на повышенную плотность сложения, могут иметь высокую степень пропускания. Так в светло-серой почве (Аэ 14-1) она составила 3.72 мг/л из исходных 10 мг/л при скорости впитывания 2491 сек. Это свидетельствует о важности механизма фильтрации. Очевидно, что для гумусовых горизонтов с извилистыми порами и волокнистым характером их стенок характерна фронтальный тип фильтрации, благодаря чему происходит эффективное удержание тонкодисперсной фазы. В то же время несмотря на меньшие скорости, фильтрация в гумусово-элювиальных горизонтах и текстурных связана с порами и относится к линейному типу, что резко уменьшает возможность взаимодействия наночастиц со стенками пор. Об этом свидетельствуют и морфологические данные. Наиболее глубоко обнаруженные в исследованных почвах скелетаны (в гор. ВС) были характерны для светло-серых почв верхней подтайги.

При увеличении объема выборки начинают проявляться достоверные различия (t-тест) между горизонтами. Так было проанализировано по 10 горизонтов: AUel и ELa, отобранных в черневой тайге. Различия проявились как в степени удержания наночастиц платины, так и ещё более усилились при последующей промывке «зараженных» колонок дистиллятом. Хуже удерживал наночастиц гор. AUel, что связано с его лучшей микроагрегированностью.

Значения K_{pt} имеют достоверные различия в гумусовых и гумусово-элювиальных горизонтах. Степень приповерхностного удержания выше в гумусово-элювиальных горизонтах, чем в гумусовых. Показатель K_{pt} можно рассматривать как градиент снижения концентрации платины в колонке. Наиболее выражен этот градиент в срединных горизонтах и особенно в карбонатном. Наиболее значительные величины K_{pt} были характерны для горизонтов, совсем не пропустивших воду, в то же время некоторые текстурные горизонты благодаря линейной миграции не характеризуются значительным K_{pt}.

В ходе исследований в одном из разрезов черневой тайги были обнаружены кутаны в губчатой ткани трубчатой кости бизона. Кость залегала субгоризонтально в нижней части ВС_g горизонта, на границе с G_{ca} горизонтом дерново-подзолистой глеевой почвы. Гумусово-глинистые кутаны обильно покрывали стенки пор губчатого вещества. Очевидно натечное происхождение этих кутан, причем материал перемещался с боковым током капиллярных и пленочных вод. Это подтверждает имеющиеся в литературе данные о том, что ил и коллоиды способны перемещаться с током пленочных и капиллярных вод.

Нами была проверена гипотеза о возможности переноса тонкодисперсного вещества с водой, перемещающейся под воздействием капиллярных сил. В текстурном горизонте при подъеме на 10 см концентрация платины изменилась в 40 раз с 0.78 мг/кг до 0.0192 мг/кг. В гор. НН изменения произошли в 100 раз с 1.39 мг/кг в нижней части колонки до 0.0138 мг/кг в верхней части. Подъемная способность текстурного горизонта оказалось выше. О роли капиллярных процессов в тонкодисперсном переносе свидетельствует и появление платины в нижней части нефилтрирующих колонок, в которых не наблюдался элюат. Эти силы действуют во всех направлениях и отвечают за формирование кутан.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что по мере роста абсолютных высот и количества выпадающих осадков изменяются особенности и пути миграции влаги в почвенных микрокомбинациях, что влечёт за собой перестройки в кутанном комплексе почв. В формировании кутанного комплекса, как показали лабораторные опыты, значительную роль играет геометрия порового

пространства. Установлено, что под воздействием капиллярного тока влаги возможен тонкодисперсный перенос. Опыты показали, что наибольшей блокирующей силой для тонкодисперсного переноса является наличие в горизонте карбонатов. Также выявлена значительная анизотропности горизонтов в вертикальном и латеральном направлении как с точки зрения скорости впитывания воды, так и способности проникать через толщу горизонта наночастиц, что ещё раз свидетельствует о роли геометрии порового пространства.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Березин Л.В., Карпачевский Л.О.* Лесной почвоведение. Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2009. 360 с.
2. *Бронникова М.А., Таргульян В.О.* Кутанный комплекс текстурно-дифференцированных почв (на примере дерново-подзолистых суглинистых почв Русской равнины). М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. 197 с.
3. *Зайдельман Ф.Р.* Лессиваж и его с гидрологическим режимом почв // Почвоведение. 2007. № 2. С. 133–144.
4. *Ковеня С.В., Мельникова М.А., Фрид А.С.* Исследование роли механических сил и геометрических условий в перемещении высокодисперсных частиц в почвенных колонках // Почвоведение. 1972. № 10. С. 133–140.
5. *Соколов И.А.* Почвообразование и экзогенез. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1997. 244 с.
6. *Турсина Т.В.* Подходы к изучению литологической однородности профиля и полигенетичности почв // Почвоведение. 2012. № 5. С. 530–546.
7. *Cornu S., Quenard L., Cousin I., Samouelian A.* Experimental approach of lessivage: Quantification and mechanisms // *Geoderma*. Vol. 213. 2014. P. 357 – 370.
8. *Fang, J., Yu, B.-Y.* Transport behaviors of metal oxide nanomaterials in various soils // *Huanjing Kexue/Environmental Science*. Vol. 34, Iss. 10, 2013. P. 4050–4057
9. *Finke, P.A., Hutson, J.L.*, 2008. Modelling soil genesis in calcareous loess. *Geoderma* 145. 462–479.
10. *Krull, E.S., Bestland, E.A., Skjemstad, J.O., Parr, J.F.*, 2006. Geochemistry ($\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{15}\text{N}$, ^{13}C NMR) and residence time (^{14}C and OSL) of soil organic matter from red-brown earth of South Australia: Implication for soil genesis. *Geoderma* 132, 344–360
11. *Legros, J.P.*, 2007. Les grands sols du monde. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, Lausanne. 574 pp.
12. *Quénard, L., Samouëlian, A., Laroche, B., Cornu, S.*, 2011. Lessivage as a major process of soil formation: a revisitation of existing data. *Geoderma* 167–168, 135–147.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОЧВЕННОЙ ЭМИССИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА В УСЛОВИЯХ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА

И.М. Мазиров, А.С. Щепелева, П.С. Лакеев

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва

Исследование посвящено сравнительному анализу пространственно-временной изменчивости почвенных потоков углекислого газа на двух контрастных типах землепользования – агроэкосистема и урбоэкосистема, наиболее широко распространённых на антропогенно-изменённых ландшафтах. Ключевым фактором антропогенного воздействия на эмиссию углекислого газа является изменение землепользования (Climate Change 2001). На данный момент, основное внимание в этой области уделяется увеличению потоков парниковых газов в результате обезлесения и интенсификации сельского хозяйства (Y.H. Chen 2007). Однако недостаточно внимания уделяется урбоэкосистемам, в частности наиболее распространённым покрытием для них являются газоны. В этой статье пойдёт речь о сравнении двух типах землепользования – агроэкосистема на примере поля картофеля и поля озимой пшеницы, и урбоэкосистема на примере газонного покрытия.

ВВЕДЕНИЕ

Глобальные изменения климата являются одной из наиболее актуальных проблем современности. В значительной мере эти изменения определяются возрастающими потоками парниковых газов, главным и наиболее распространённым из которых является углекислый газ.

Городские почвы исключались из региональных мониторинговых биогеохимических исследований потоков парниковых газов, исходя из того, что урбанизированные ландшафты занимают сравнительно небольшие территории и их вклад в суммарные потоки не может быть значительным. Однако, ярко выраженный процесс урбанизации является одной из важнейших тенденций изменения современного землепользования. Таким образом, увеличение темпа урбанизации делают роль городских почв в глобальных биосферных функциях и биогеохимических циклах все более значимой.

На данный момент основная масса исследований в области изучения потоков парниковых газов была сфокусирована, в основном, на потоках углерода, и направлена на естественные и ограниченный набор агроэкосистем, а так же изменения потоков в результате смены типа землепользования.

Цель настоящего исследования состоит в сравнении почвенных потоков углекислого газа в типичных условиях Московского мегаполиса и на представительных участках агроэкосистемы Московского региона с окультуренными дерново-подзолистыми почвами.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В рамках организации мониторинговых исследований основных потоков парниковых газов на территории Москвы выбраны площадки, представляющие основные типы ландшафтов мегаполиса и агроэкосистем. Выбор участков произведен с учётом их внутренней неоднородности, что позволяет изучить основные факторы, воздействующие на формирование потоков парниковых газов.

В качестве агроэкосистемы взят участок, для которого характерны типичные почвенные геоморфологические условия для ландшафтов центральной части нечернозёмной зоны России. Участок располагается в Центре Точного Земледелия полевой опытной станции РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева.

Объектом исследования являлось четыре опытных участка: озимая пшеница с нулевой и отвальной обработкой, картофель с минимальной и отвальной обработкой. На этих

четырёх участках применяется традиционная технология возделывания. На каждом участке заложены основания для измерения почвенных газов в пятикратной повторности.

В качестве основного типа ландшафта мегаполиса взята типичная и наиболее распространённая конструкция городского газонного покрытия, которая представляет собой торфо-песчанную смесь толщиной 10 см, которая располагается на песке толщиной 10 см, далее идёт грунт. Эксперимент заложен на территории Московского мегаполиса на опытном участке РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

В качестве метода исследования за потоками углекислого газа использовали метод экспозиционных камер с прямым анализом концентрации углекислого газа.

Достоинством метода прямого измерения почвенного дыхания является объективность и комплексность (он позволяет учитывать как микробную, так и корневую составляющую). Эти методы идеально подходят для проведения режимных измерений на локальном уровне, например наблюдения сезонной или суточной динамики эмиссий CO₂ (Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., 2009), так как совершенно однозначно характеризуют почвенное дыхание в определенной точке в определенный момент времени. В то же время, результаты, полученные полевыми методами, так сильно зависят от внешних факторов (в первую очередь, температуры и влажности), что сопоставление данных полученных в разное время и для разных объектов, а также попытки интерполяции данных для оценки потоков в региональном масштабе могут приводить к очень большим погрешностям. По этой причине на двух анализируемых объектах проводились измерения в один день.

Таблица 1. Схема эксперимента.

Типы землепользования	Ключевые участки		Повторность
Городские газоны	Конструкция городского газонного покрытия		5
Агроэкосистема	Озимая пшеница	Отвальная обработка	5
		Нулевая обработка	5
	Картофель	Отвальная обработка	5
		Минимальная обработка	5

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования проводили в течение четырёх месяцев, с мая по август посредством прямого измерения потоков углекислого газа. Полученные данные по эмиссии CO₂ почвами исследуемых объектов выявили значительное пространственное разнообразие характеристик потоков почвенной эмиссии. Среднесезонные характеристики изучаемых площадок указаны в табл. 2.

В табл. 2 не представлены данные по температуре воздуха, так как все объекты находились в непосредственной близости друг от друга и температурно-воздушный режим был примерно одинаков.

В течение периода с 12.05.2015 г. по 20.08.2015 г. получены и проанализированы данные с полей картофеля и озимой пшеницы на Опыте Точного Земледелия, и с городского газонного покрытия на опытном участке.

Сравнивая полученные данные по полю озимой пшеницы отвальной и безотвальной обработки можно сказать, что эмиссия идёт интенсивнее на варианте с безотвальной обработкой за период исследования в среднем на 6.16 %. В 2012 году это значение составляло 7 % (Мазиров, 2012). На полях картофеля эмиссия так же преобладает на варианте с минимальной обработкой и разница составляет 9.43 %. По этому, можно сказать, что обработка почвы напрямую влияет на процессы эмиссии, и её интенсивность больше на варианте с безотвальной и нулевой обработкой. Это можно объяснить целостностью почвенной биоты. Ненарушенная биота способна перерабатывать больше почвенного

углерода и эмитировать его в виде углекислого газа. Это сопоставимо с предыдущими исследованиями (Мазиров, 2013)

Таблица 2. Среднесезонная характеристика участков исследования.

Типы землепользования	W, %	T °C Почвы	CO ₂ г/м ² день	C _{org} , (%)	pH _{KCl}	ρ, г/см ³
Конструкция городского газонного покрытия	25.0	16.5	22.8	1.21±0.3	5.27±0.3	1.17±0.08
Поле озимой пшеницы отвальная обработка	12.7	18.9	10.9	0.52±0.1	6.25±0.1	1.28±0.11
Поле озимой пшеницы нулевая обработка	11.9	18.4	11.5	0.56±0.1	6.20±0.2	1.35±0.12
Поле картофеля отвальная обработка	11.3	22.2	8.8	0.48±0.1	6.15±0.3	1.21±0.15
Поле озимой пшеницы минимальная обработка	10.7	20.7	9.6	0.50±0.1	6.30±0.1	1.25±0.14

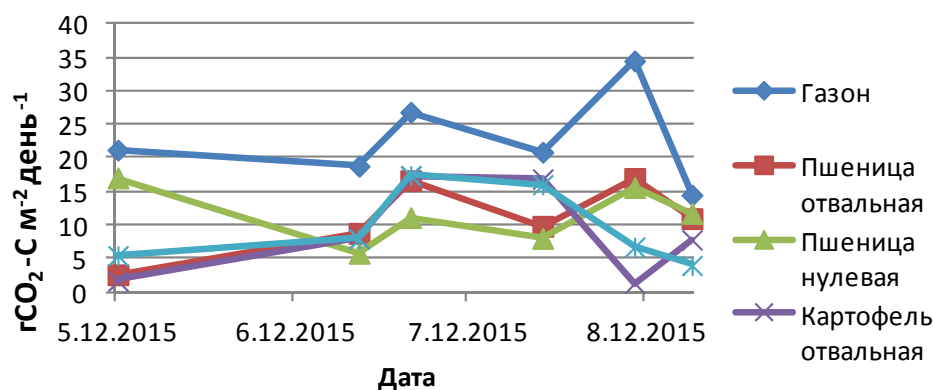


Рисунок 3. Динамика эмиссии на исследуемых участках.

Сравнивая динамику почвенного потока эмиссии углекислого газа с поверхности газонного покрытия, поля озимой пшеницы и поля картофеля можно сказать, что внешние факторы воздействия на поток на варианте газонного покрытия и на обоих вариантах полей озимой пшеницы были одинаковые. Однако, оба варианта полей картофеля резко отличались от остальных вариантов в конце сезона. Причиной такого поведения эмиссии на полях картофеля является обработка десикантом реглон-супер (2 л/га) 15 августа 2015 года. На отвальном варианте эмиссия возросла с 1.29 до 7.78 гСО₂-См⁻²день⁻¹. Десикант стимулирует отток питательных веществ в корень растения, что вызывает более интенсивное их дыхание и выделение стимулирующих биоту веществ корнями. Скачок наиболее заметен на варианте с отвальной обработкой, в виду более пористого сложения корнеобитаемого слоя. На варианте с минимальной обработкой почвы так же дал отклик на обработку – замедлилось снижение интенсивности эмиссии.

В результате вышеизложенных результатов, есть смысл оставить для сравнения агро- и урбоэкосистему варианты: поле озимой пшеницы с нулевой обработкой и конструкция городского газонного покрытия.

В виду схожей динамики почвенной эмиссии углекислого газа двух оставшихся вариантов, можно предположить, что действуют на поток одинаковые факторы. Однако, корреляционный анализ факторов внешней среды и эмиссии углерода дал обратный результат. Так корреляция между эмиссией на варианте поля озимой пшеницы с нулевой обработкой и влажностью почвы составила 0.45. Прямая зависимость достаточно чётко

видна на графике. Но корреляция между эмиссией на варианте газонного покрытия и влажности почвы практически равна нулю и составляет 0.09. Коэффициент корреляции между эмиссией поля озимой пшеницы и температуры почвы составил -0.47 . То есть температура почвы даёт обратный эффект на величину эмиссии. Это объясняется иссушением верхнего слоя почвы, а в высушенной почве, как известно, процессы дыхания и разложения идут намного медленнее. Эмиссия на варианте с газонным покрытием напрямую зависит от температуры почвы – коэффициент корреляции составил 0.48.

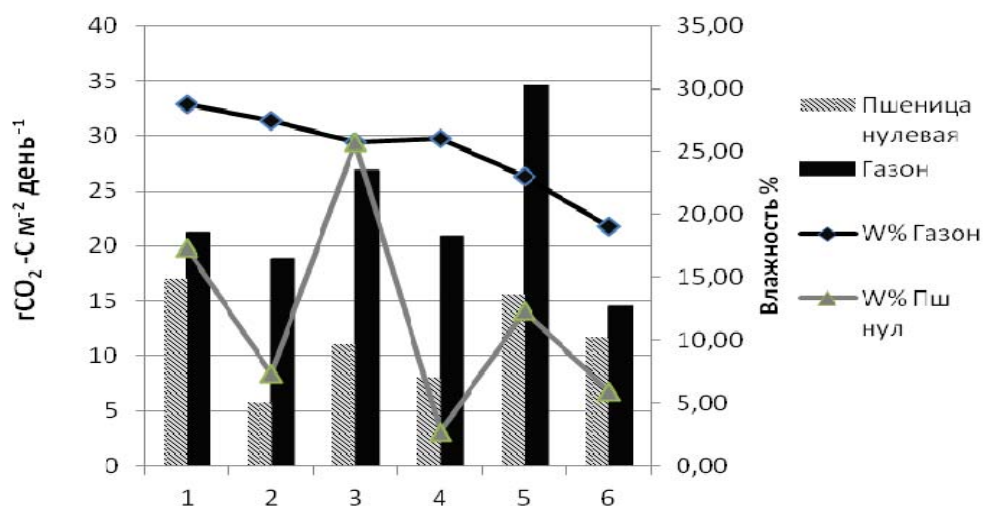


Рисунок 4. Динамика эмиссии на варианте газонного покрытия и озимой пшеницы с нулевой обработкой в сравнении с динамикой влажности почвы на этих полях.

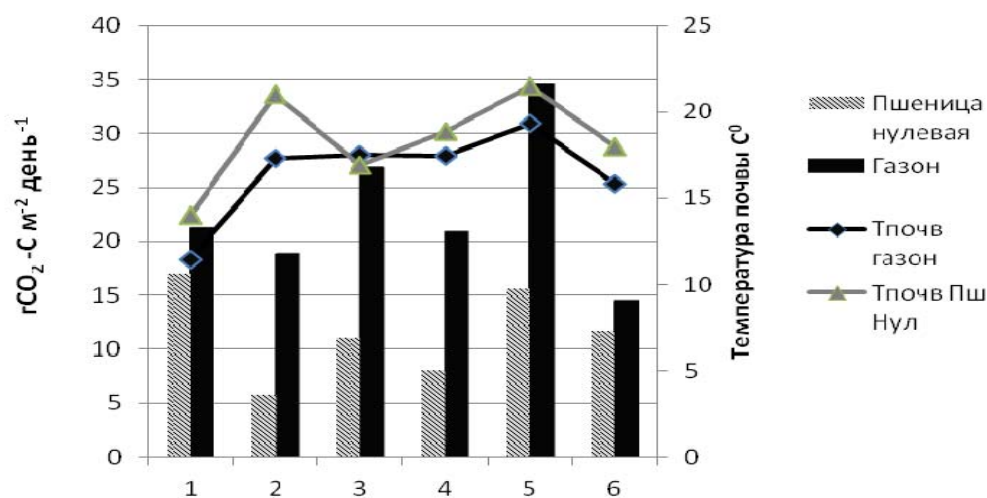


Рисунок 5. Динамика эмиссии на варианте газонного покрытия и озимой пшеницы с нулевой обработкой в сравнении с динамикой температуры почвы на этих полях.

Причина такого поведения кроется в следующей зависимости: поле озимой пшеницы при повышении температуры более подвержено иссушению, что приводило к снижению эмиссии во время повышения температуры и её увеличения при повышении влажности. Вариант газонного покрытия мало реагировал на изменения влажности почвы, так как такое покрытие сохраняет почвенную влагу лучше чем другая исследуемая агроэкосистема, за то, хорошо откликлось на изменение температуры, что было ключевым фактором динамики эмиссии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого исследования установлена схожая динамика почвенного потока углекислого газа в агроэкосистеме на примере поля озимой пшеницы с нулевой обработкой почвы и урбоэкосистемы на примере конструкции городского газонного покрытия. После проведённого анализа, оказалось, что на динамику этих двух вариантов действуют разные факторы: так вариант поля озимой пшеницы с нулевой обработкой наиболее значимым фактором оказалась влажность почвы, а на варианте конструкции городского газонного покрытия наиболее важным фактором оказалась температура почвы.

Так же стоит отметить интенсивность эмиссии углекислого газа. На варианте агроэкосистемы среднесезонный показатель был равен $10.22 \text{ гСО}_2\text{-См}^{-2}\text{день}^{-1}$. Средний показатель для урбоэкосистемы составил $22.79 \text{ гСО}_2\text{-См}^{-2}\text{день}^{-1}$. То есть эмиссия в урбоэкосистеме идёт в 2.22 раза интенсивнее, чем в агроэкосистеме. Это можно объяснить особенностью верхнего плодородного горизонта: в верхнем слое почвы конструкции городского газонного покрытия в 2.32 раза больше органического углерода (1.21 %, по сравнению с агроэкосистемой – 0.52 %).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.* IPCC/OECD/IEA/IGES, Nanyama, Japan. 2000.
2. *Kaye J.P.* Carbon fluxes, nitrogen cycling, and soil microbial communities in adjacent urban, native and agricultural ecosystems / J.P. Kaye, R.L. McCulley, I.C. Burkez – *Global Change Biology*. 2005. V. 11. P. 575–587.
3. *Кудеяров В.Н.* Дыхание почв России: анализ базы данных, многолетний мониторинг, моделирование, общие оценки/ В.Н. Кудеяров, И.Н. Курганова *Почвоведение*. 2005. N 9. С. 1112–1121.
4. *Смагин А.В.* Газовая фаза почв. / А.В. Смагин – М: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 301 с
5. *Молчанов, А.Г.* Баланс CO_2 в экосистемах сосняков и дубрав в разных лесорастительных зонах/ А.К. Миненко – Тула: Гриф и К, 2007. – 284 с.
6. *Епихина А.С., Визирская М.М., Васенев В.И., Мазиров И.М., Васенев И.И., Валентини Р.* Инновационные методы мониторинга парниковых газов представительных ландшафтов мегаполиса/ Вестник РУДН. Агрономия и животноводство № 5. РУДН. 2012. – 138 с.
7. *Васенев В.И., Фатиев М.М., Лакеев П.С., Мазиров И.М., Трубина А.Е., Васенев И.И., Валентини Р.* Методология функционально-экологического мониторинга объектов озеленения и благоустройства г. Москвы/ Вестник РУДН. Агрономия и животноводство № 5. РУДН. 2013. – 140 с.
8. *Визирская М.М., Епихина А.С., Васенев В.И., Мазиров И.М., Эльвира А.И., Гусев Д., Тихонова М.В., Васенев И.И.* Экологическая оценка роли городских газонов в формировании потоков парниковых газов/ Вестник РУДН. Агрономия и животноводство № 5. РУДН. 2013. – 140 с.

Работа рекомендована д.б.н., профессором И.И. Васенёвым.

РАЦИОНАЛЬНОЕ ОСВОЕНИЕ ТОРФЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Т.И. Макаренко

Государственное научное учреждение «Институт природопользования НАН Беларуси»,
Минск

Для повышения эффективности использования торфяных месторождений Республики Беларусь разработан и утвержден нормативный документ «Схема рационального использования торфяных месторождений и охраны торфяных болот Республики Беларусь на период до 2030 года». Новый состав целевых фондов позволяет обеспечить пригодным сырьем производства топливной продукции и нетрадиционных товаров глубокой переработки торфа и осуществить охрану окружающей среды.

ВВЕДЕНИЕ

Благоприятный климат, избыточное увлажнение, изобилие пониженных форм рельефа при воздействии ледников, особенности четвертичных отложений, создали условия для зарождения и развития торфяных месторождений на территории Республики Беларусь. До начала интенсивной промышленной разработки заторфованность территории составляла 14 %. Различия в сочетании основных факторов болотообразования: геологии, геоморфологии, гидрологии и др. обусловили значительные отличия количественных и качественных особенностей торфообразования и торфонакопления, а также неравномерность распределения торфяных болот по областям республики. На территории республики встречаются все типы (низинный, переходный и верховой) и 40 видов торфа.

Директивными органами республики перед наукой и практикой поставлены задачи по существенному повышению эффективности использования местных природных ресурсов. В последнее время в республике ставятся новые задачи в области использования торфа. Традиционные направления освоения торфяных ресурсов – топливное и сельскохозяйственное, с позиций современных требований, недостаточно эффективны.

Выявленные уникальные свойства органических составляющих торфа, их способность к модификации и направленным превращениям свидетельствуют о больших возможностях получения на этой основе новых достаточно уникальных продуктов и препаратов различного назначения.

Развитие современного торфяного производства ориентировано на расширение областей применения торфа, с разработкой новых безотходных ресурсосберегающих технологий, обеспечивающих комплексную переработку и селективную добычу сырья заданного качества. Рациональное использование местных природных ресурсов позволит снизить энерго-сырьевую зависимость страны от импорта. Необходима организация производства по выпуску продукции с высокой добавленной стоимостью для нужд сельского хозяйства, энергетики, медицины, косметологии, а также различной продукции для защиты окружающей среды.

В связи с окончанием срока действия Схемы рационального использования и охраны торфяных ресурсов БССР на период до 2010 г [1], согласно программе «Торф» [2] в период с 2013 по 2015 гг. был реализован масштабный проект по разработке и утверждению нормативного документа «Схема рационального использования торфяных месторождений и охраны торфяных болот Республики Беларусь на период до 2030 года» [3]. Разработкой занимались ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси» совместно с ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам». Проект предусматривает: охрану торфяных месторождений, повышение эффективности использования торфяных месторождений в сельском хозяйстве, расширение номенклатуры выпускаемой продукции за счет термобιοхимической переработки торфа и увеличение объемов потребления торфяного топлива в малой энергетике.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являлись торфяные месторождения Республики Беларусь с площадью в нулевых границах от 10 га.

Выполнены по каждому административному району всех областей республики оценка современного состояния и использования торфяных месторождений, их геоморфологии и генезиса, свойств торфа и продукции на его основе. Установлены территориальные особенности, уровни трансформации торфяных месторождений и степени разработки. Эта информация была собрана по материалам и документам землеустроительных, лесохозяйственных, сельскохозяйственных и природоохранных служб районных исполнительных комитетов при работе со специалистами этих служб, используя картографические данные, космические снимки и выполняя натурные обследования.

Доработаны и обоснованы критерии выбора торфяных месторождений и торфяных болот по направлениям использования, оценена ресурсно-хозяйственная значимость торфяных месторождений. Существенно расширены методические подходы к формированию разрабатываемого и природоохранного целевых фондов. Предложена упрощенная методика расчетов оставшихся запасов торфа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Для повышения эффективности освоения торфяных месторождений разработан и утвержден 30 декабря 2015 г. новый нормативный документ «Схема рационального использования торфяных месторождений и охраны торфяных болот Республики Беларусь на период до 2030 года». Разработка нового варианта «Схемы...» в практическом плане связана с выполнением работ по перераспределению торфяных месторождений по целевым фондам с учетом новых задач, динамики запасов и уровнем использования торфяных ресурсов. Распределение торфяных месторождений и торфяных болот по направлениям использования выполнено согласно требованиям ТКП [4].

Общие геологические запасы торфа на 2013 г. в республике составляют 4003.2 млн т, площадь 2381.7 тыс. га. Все торфяные месторождения распределены по 4 целевым фондам.

1. Фонд особо ценных видов торфа. Включает торфяные месторождения, зарезервированные специальным Указом Президента Республики Беларусь как резерваты битуминозного, гидролизного и грязелечебного сырья [5]. Составляет 43.7 млн т на площади 19.6 тыс. га. Часть месторождений из данного фонда в настоящее время выполняют природоохранные функции.

2. Фонд торфяных месторождений, подлежащих особой и (или) специальной охране (природоохранный) – 1555.5 млн т. на площади 684.2 тыс. га. В новой «Схеме...» значительно расширен состав торфяных месторождений и торфяных болот подлежащих особой и (или) специальной охране. Всего запланировано, что этот фонд к 2030 году составит 28.7 % площади торфяного фонда. В его состав включены существующие в настоящее время природоохранные объекты 461.8 тыс. га, планируется создание природоохранных объектов – 222.4 тыс. га. Выбор таких объектов основан на разработке расширенной системы критериев, которая учитывает международные требования и нормативы. Система критериев учитывает редкие природные ландшафты и биотопы, утвержденные Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды, а также растения и животные включенных в Красную книгу Республики Беларусь.

Торфяные месторождения данного фонда выполняют важные биосферные функции в природе. Болотные экосистемы значимы для сохранения ландшафтного и биологического разнообразия, очистки атмосферного воздуха от избытка двуокиси углерода и обогащению его кислородом; формирования местного климата, оптимального гидрологического режима и качества вод в крупных регионах. Они используются как рекреационные ресурсы. На площадях торфяных месторождений заготавливаются ценные лекарственные растения, а также ягоды, богатые витаминами и макро- и микроэлементами. По уточненной методике рассчитаны данные по содержанию на торфяных месторождениях запасов воды и углерода.

Специалистами ГНПО «Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам» оценена степень нарушенности по 5-ти бальной шкале (1 – болото находится в естественном состоянии; 2 – болото находится в состоянии, близком к естественному; 3 – болото нарушено; 4 – болото сильно нарушено, однако возможно его восстановление; 5 – болото нарушено и восстановлению не подлежит). На основании данной оценки некоторые анализируемые объекты были исключены из фонда торфяных месторождений, подлежащих особой и (или) специальной охране.

3. Фонд земельный. Включает торфяные месторождения сельскохозяйственного и лесохозяйственного использования, а также выбывшие из промышленной эксплуатации торфяные месторождения, переданные под водоемы. В данный фонд отнесена территория 1592.6 тыс. га с запасами торфа 2135.4 млн т.

4. Фонд разрабатываемый. Включены сырьевые базы для производства топливной продукции, а также для развития основных инновационных производств по выпуску нетрадиционной продукции (активированные угли, сорбенты, многоцелевые гуминовые препараты, красители и др.) – 302.1 млн т и 99.1 тыс. га.

В качестве приложения разработаны карта-схемы всех административных районов шести областей с нанесенными контурами торфяных месторождений, с существующей фондовой принадлежностью и соответствующей раскраской.

В ГНУ «Институт природопользования НАН Беларуси» накоплен многолетний опыт по различным направлениям модификации торфа с помощью термических, химических и биологических процессов для улучшения качественных характеристик и разработкой большой номенклатуры торфяной продукции, которая запатентована в Республике Беларусь, отработаны технологии и соответствующее оборудование по производству данной продукции. Такие производства относятся к малотоннажным и ресурсосберегающим. Техничко-экономические расчеты свидетельствуют о высокой их рентабельности.

В результате анализа торфяного фонда Республики Беларусь, путем обоснованного отбора по расширенной системе разработанных критериев выбора торфяных месторождений, перспективных для комплексного освоения, разработана структура и сформирована база данных (БД) в программном пакете MS Access 2003 «Перечень торфяных месторождений, пригодных для комплексного освоения на ближайшую и отдаленную перспективу». БД интегрирует всю необходимую информацию о торфяных месторождениях: район расположения торфяного месторождения, название и кадастровый номер торфяного месторождения; площадь и запасы месторождения или его участка, характеристики торфяного сырья, землепользователь и современное состояние, вариант получаемой продукции.

Разработанная база относится к информационно-поисковым ресурсам, а поисковые критерии формируются от однофакторных до существенно развернутых комплексных.

Запасы торфа выбранных объектов составляют 226790 тыс. т., причем на низинные и смешанные приходится 69 %, верховые – 31 %. Все объекты разделены по классам продукции комплексной переработки торфа, которые включают продукцию со схожими характеристиками исходного сырья. Например, для производства сорбентов нефтепоглощающих выбрано 7 объектов с запасами 7.8 млн т; для воска торфяного – 18, с запасами 9.7 млн т; для активных углей – 3, с запасами 1.8 млн т.; для кокса торфяного – 6, с запасами 2.7 млн т.

С 2015 в целях развития торфяной отрасли и повышения эффективности при переработке торфа в Республике Беларусь реализуется инвестиционный проект по строительству горно-химического комбината глубокой безотходной ресурсосберегающей комплексной переработке торфа с получением новой «альтернативной» продукции. Специалистами Института природопользования НАН Беларуси проведены научно-исследовательские работы по определению возможности получения в опытно-промышленных масштабах продуктов глубокой переработки торфа из торфяного сырья месторождения «Туршовка-Чертово» (рис.) с разработкой научно-технического обоснования целесообразности строительства горно-химического комбината.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Торфяные месторождения, являясь источником полезного ископаемого, одновременно служат элементом природно-территориального комплекса, выполняющим важные биосферные функции в природе. В этой связи только на пути комплексного использования природных образований могут быть реализованы задачи по более эффективному и ресурсосберегающему их освоению.

«Схема рационального использования торфяных месторождений и охраны торфяных болот Республики Беларусь на период до 2030 года» представляет информационную основу для принятия научно обоснованных решений по устойчивому комплексному освоению торфяных ресурсов с соблюдением экономических интересов и сохранения глобально значимого биологического разнообразия. Полученные данные будут являться исходным материалом при планировании социально-экономического развития регионов, позволяющим оперировать реальными цифрами при создании новых производств по комплексному освоению торфяных ресурсов.



Рисунок. Схема глубокой безотходной ресурсосберегающей комплексной переработке торфа

ЛИТЕРАТУРА

1. *Схема рационального использования и охраны торфяных ресурсов БССР на период до 2010 г.* Утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 25 ноября 1991 г. № 440.
2. *Государственная программа «Торф» на 2008–2010 годы и на период до 2020 года.* Мн., 2008.
3. *Схемы рационального использования торфяных месторождений и охраны торфяных болот Республики Беларусь на период до 2030 г.* Утверждена постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 30 декабря 2015 г. № 1111.
4. *ТКП 17.12–08–2015 (33140).* Охрана окружающей среды и природопользование. Территории. Определение направлений использования торфяных месторождений и болот.
5. *Об установлении ограничений на пользование недрами на отдельных участках.* Указ Президента Республики Беларусь от 12 ноября 2007 г. № 563.

Работа рекомендована к.т.н., доцентом Л.С. Лисом.

НОРМИРОВАНИЕ АГРОГЕННОЙ НАГРУЗКИ В АГРОЛАНДШАФТЕ

М.Н. Масютенко

ФГБНУ ВНИИЗиЗПЭ, г. Курск, masmaksnik@gmail.com

В работе предлагается оценивать воздействие агрогенных нагрузок на почву по соотношению интенсивности потери органического вещества в почве и уровня компенсации дефицита в ней баланса гумуса. Представлены шкалы нормирования антропогенной нагрузки по данным показателям. Показаны результаты применения разработанных подходов для нормирования антропогенных нагрузок в агроландшафте. На основании нормирования агрогенных нагрузок установлены варианты с допустимой, ограниченно допустимой и недопустимой нагрузкой.

ВВЕДЕНИЕ

Нормирование антропогенных нагрузок на окружающую среду – одна из важнейших составных частей управления природопользованием. Очевидно, что разнообразные последствия хозяйственной деятельности человека для окружающей среды должны быть ограничены таким образом, чтобы природные (и природно-агрогенные) системы могли справляться с этими воздействиями. Для этого необходимо разработать систему требований (стандартов хозяйственной деятельности) для природопользователей. Соблюдение экологических нормативов может обеспечить устойчивое функционирование почвы и достижение равновесия между негативным антропогенным влиянием и способностью почвы к восстановлению (Балюк и др., 2008).

Охрана почв и регламентации их использования – необходимое условие сохранения уникального планетарного ресурса, обеспечивающего продовольственную безопасность страны. Интегральным показателем экологической устойчивости почвенного компонента агроэкосистемы к внешним воздействиям является сбалансированность процессов минерализации и гумификации органического вещества почвы. Достаточно значимым количественным показателем интенсивности процессов минерализации органического вещества почвы может служить интенсивность потери углерода из органического вещества почвы с эмиссией CO_2 . Процессы гумусообразования, наоборот, связаны непосредственно с поступлением в почву органического вещества в виде растительных, пожнивно-корневых остатков, органических удобрений и т.п., с уровнем компенсации дефицита баланса гумуса в почве. Поэтому данные показатели и параметры могут быть использованы для нормирования антропогенной нагрузки. Целью статьи является применение разработанного на основании этого подхода для нормирования антропогенной нагрузки в агроландшафте.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в 2011–2012 гг. в многофакторном полевом стационарном опыте ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии (Медвенский район, Курская обл.), заложенном в 1984 г. на чернозёме типичном на водораздельном плато, склонах северной и южной экспозиции крутизной до 3° в 7-ю ротацию четырехпольных зернопаропропашного (ЗППС) и зернотравяного (ЗТС) севооборотов при отвальной и безотвальной системах обработки, без внесения удобрений. Проведена апробация в агроландшафтах на пашне ниже представленного разработанного метода.

Предлагается оценивать воздействие агрогенных нагрузок на почву по соотношению интенсивности потери органического вещества в почве и уровня компенсации дефицита баланса гумуса в почве. Интенсивность потери органического вещества почвы – результирующая величина интенсивности потери гумусовых веществ почвы и негумифицированного органического вещества. В природе эти процессы трудно разделимы, поэтому более реально и целесообразно использовать данный показатель. Интенсивность потери

органического вещества в почве – это отношение потери углерода из органического вещества почвы к запасам углерода в органическом веществе (гумус + негумифицированное органическое вещество) пахотного слоя почвы за конкретный промежуток времени (Масютенко М.Н., 2014).

Потери углерода из органического вещества почвы предложено определять по эмиссии CO_2 (с использованием метода адсорбции в модификации Л.О. Карпачевского (1974), но с изоляторами) из почвы за период времени, в течение которого проводят наблюдения (за май–сентябрь) с учетом доли микробного дыхания. Потоки выделения CO_2 из почвы рассчитываются за день, сутки, декаду, месяц, сезон с учетом полученных экспериментальных результатов по суточной и подекадной его динамике за май–сентябрь, а затем рассчитывают по углероду. Следует отметить, так как общий поток выделения CO_2 из почвы включает микробную и корневую компоненту, то при расчете потери углерода из органического вещества почвы учитывают микробное дыхание почвы, составляющее 2/3 от дыхания почвы (Курганова и др., 2007). На чистом пару эмиссия CO_2 из почвы равна микробному дыханию, так как корневого дыхания из-за отсутствия растений нет. Отбор смешанных почвенных образцов на всех объектах исследования проводили в августе в период уборки урожая по диагонали из 6 точек буром по глубинам 0–20 см. В почвенных образцах определяли содержание гумуса по методу И.В. Тюрина в модификации Б.А. Никитина со спектрофотометрическим окончанием по Д.С. Орлову и Н.М. Гриндель (1983), негумифицированное органическое вещество почвы – методом монолитов в 3-х кратной повторности – буровым методом с последующим отмыванием на ситах (Доспехов, 1985).

Рассчитав интенсивность потери органического вещества почвы, можно оценивать влияние различных систем земледелия или его элементов, агротехнических приемов на гумусное состояние почвы. Для этого на основании проведенных исследований разработана шкала оценки интенсивности потери органического вещества почвы (ИПОВ) и представлена в таблице 1. Уровень компенсации дефицита баланса гумуса в почве (в %) рассчитывается по отношению дозы фактического внесения органических удобрений (в т/га) к дозе органических удобрений (т/га), компенсирующей дефицит баланса гумуса (требуемая доза), с последующим умножением на 100 % (Масютенко Н.П., Масютенко М.Н., 2013).

Разработана шкала нормирования антропогенных нагрузок в агроландшафтах по соотношению интенсивности потери органического вещества почвы, определенной по эмиссии CO_2 , и поступлению органических веществ в почву и представлена в табл. 1. Выделены четыре степени нормирования антропогенной нагрузки: допустимая, ограниченно допустимая, недопустимая.

Таблица 1. Шкала нормирования антропогенной нагрузки в зависимости от интенсивности потери органического вещества почвы и уровня компенсации дефицита баланса гумуса в почве.

Интенсивность потери органического вещества почвы за май – сен- тябрь (по эмиссии CO_2)	Уровень компенсации дефицита баланса гумуса в почве, %	Оценка антропогенной нагрузки
<0.035 низкая	< 50	допустимая
	50...100	допустимая
	≥100	допустимая
0.035...0.070 средняя	< 50	ограниченно допустимая
	50...100	допустимая
	≥100	допустимая
> 0.070 высокая	< 50	недопустимая
	50...100	ограниченно допустимая
	≥100	допустимая

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основе проведенных исследований эмиссии CO₂ из почвы были рассчитаны потоки углекислого газа из чернозема типичного в атмосферу и потери углерода из органического вещества почвы с мая по сентябрь 2011 и 2012 гг. Диоксид углерода является одним из конечных продуктов минерализации органического вещества. Поэтому, зная микробное дыхание почвы (дыхание почвы – корневое дыхание), можно оценить потери в ней углерода из органического вещества вследствие его минерализации. Потери углерода из органического вещества почвы различаются по годам, в зависимости от возделываемой культуры, вида севооборота, экспозиции склона и обработки почвы. Наибольшие потери углерода из органического вещества почвы отмечены на северном склоне в ЗППС в чистом пару при отвальной обработке в 2011 году (табл. 2), на южном склоне они в 1.5 раза меньше, а на водораздельном плато всего на 12 %. При безотвальной обработке потери углерода из почвы в чистом пару снижаются на северном склоне на 12 %, на водораздельном плато – на 42 %, а на южном склоне – на 17 % по сравнению с отвальной. Таким образом, существенное влияние системы обработки почвы выявлено на водораздельном плато в ЗППС.

Таблица 2. Потери углерода (микробное дыхание) из чернозема типичного за май–сентябрь в зависимости от экспозиции склона, вида севооборота и системы обработки почвы.

Экспозиция	Вариант	Потери углерода из органического вещества почвы, кг/га		
		2011 г.	2012 г.	Средние
Северная	ЗППС, отвальная обработка	5054.53	3335.99	4195.26
	ЗППС, безотвальная обработка	4524.86	2986.41	3755.63
	ЗТС, отвальная обработка	2222.09	1517.26	1869.67
Водораздельное плато	ЗППС, отвальная обработка	4595.80	3033.23	3814.51
	ЗППС, безотвальная обработка	3221.45	2126.16	2673.80
	ЗТС, отвальная обработка	2845.04	1600.70	2222.87
Южная	ЗППС, отвальная обработка	3448.60	2276.08	2862.34
	ЗППС, безотвальная обработка	2933.49	1936.10	2434.79
	ЗТС, отвальная обработка	2060.14	1384.74	1722.44

Примечание: ЗППС – зернопаропропашной севооборот; ЗТС – зернотравяной севооборот; в 2011 г. в ЗППС – чистый пар, в ЗТС – травы; в 2012 г. в ЗППС и ЗТС – озимая пшеница; в 2011 г. в ЗППС – кукуруза на з/к, в ЗТС – ячмень с подсевом трав.

Различия в потерях углерода из органического вещества почвы отличались в зависимости от фактора воздействия. Наибольшие различия выявлены от влияния вида севооборота (в 1.6–2.3 раза), а наименьшие – от экспозиции склона (в 1.1–1.5 раза) и от системы обработки почвы (в 1.2–1.5 раза). Причем, влияние вида севооборота выше на северном склоне, а влияние системы обработки почвы – на водораздельном плато. Влияние вида севооборота на потери углерода из почвы установлено и в 2011, и в 2012 годах. Потери углерода из почвы в ЗППС больше, чем в ЗТС, на северном склоне в 2.2–2.3 раза, на водораздельном плато в 1.6–1.9 раз, на южном склоне – в 1.6–1.7 раз в зависимости от года. Таким образом, различия в потерях углерода из органического вещества почвы от влияния изучаемых факторов падают в ряду: вид севооборота, экспозиция склона, система обработки почвы.

В 2011 г. интенсивность потери органического вещества почвы в ЗППС в чистом пару на северном склоне при отвальной обработке была *высокой*, а в остальных вариантах *средней*; в ЗТС в посевах многолетних трав – *низкой* (табл. 3). В 2012 г., несмотря на то, что в обоих севооборотах возделывали одну культуру – озимую пшеницу, была также отмечена высокая почвозащитная роль ЗТС, что также сильнее проявлялось на северном склоне. В ЗППС на северном склоне при отвальной и безотвальной обработках, а на южном склоне и водораздельном плато – только при отвальной *была отмечена средняя* интенсивность потери органического вещества почвы, в остальных вариантах в ЗППС и в ЗТС – *низкая*.

Таблица 3. Интенсивность потери органического вещества чернозема типичного (ИПОВ) за период с мая по сентябрь 2011–2012 гг. в зависимости от вида севооборота, системы обработки почвы и экспозиции склона.

Экспозиция	Агрогенная нагрузка (вид севооборота, система обработки почвы)	2011 г.	2012 г.	Средние
Северная	ЗППС, отвальная	0.079	0.050	0.064
	ЗППС, безотвальная	0.069	0.044	0.056
	ЗТС, отвальная	0.032	0.022	0.027
Водораздельное плато	ЗППС, отвальная	0.068	0.043	0.055
	ЗППС, безотвальная	0.052	0.032	0.042
	ЗТС, отвальная	0.035	0.020	0.027
Южная	ЗППС, отвальная	0.062	0.039	0.045
	ЗППС, безотвальная	0.042	0.027	0.034
	ЗТС, отвальная	0.031	0.021	0.026

Влияние экспозиции склона на степень интенсивности потери органического вещества почвы в 2011 г. выявлено только в ЗППС при отвальной обработке (на южном склоне – средняя, на северном – высокая), а в 2012 г. – при безотвальной обработке, соответственно низкая и средняя. Степень интенсивности потери органического вещества почвы в чистом пару при безотвальной обработке оказалась меньше, чем при отвальной, на северном склоне, а в посевах озимой пшеницы – на южном.

Оценка антропогенной нагрузки в вариантах многолетнего полевого опыта и её нормирование на основе данных по интенсивности потери органического вещества почвы при уровне компенсации дефицита баланса гумуса < 50 % (табл. 4) показала, что из изучаемых агрогенных нагрузок недопустимой была только складывающаяся в зернопаропропашном севообороте с отвальной обработкой в чистом пару на северном склоне. Ограниченно допустимым нагрузкой в ЗППС в чистом пару – при отвальной и безотвальной системах обработки на водораздельном плато и южном склоне и при безотвальной системе обработки на северном склоне; в посевах озимой пшеницы – при отвальной и безотвальной системах обработки на северном склоне, при безотвальной системе обработки на водораздельном плато и южном склоне. Допустимая агрогенная нагрузка отмечена в ЗТС на всех экспозициях и в ЗППС при безотвальной системе обработки на водораздельном плато и южном склоне.

Если рассматривать двухлетнее звено изучаемых севооборотов, то в ЗТС агрогенные нагрузки допустимыми на всех экспозициях, в ЗППС – при безотвальной системе обработки на водораздельном плато и южном склоне, в остальных изучаемых вариантах многолетнего полевого опыта при уровне компенсации дефицита баланса гумуса < 50 % они ограниченно допустимыми. Ограниченно допустимые агрогенные нагрузки требуют корректировки, чтобы стать допустимыми. Это можно осуществить путем внесения органических удобрений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, применение разработанных подходов и метода позволило провести нормирование антропогенных нагрузок по их влиянию на соотношение интенсивности потери органического вещества в почве и уровня компенсации дефицита баланса гумуса, что необходимо для разработки системы контроля рационального использования почв, корректировки антропогенных нагрузок и формирования экологически сбалансированных агроландшафтов. Выявлено, что недопустимой была нагрузка, включающая зернопаропропашной севооборот с отвальной обработкой в чистом пару на северном склоне без внесения удобрений. Допустимая агрогенная нагрузка установлена в зернотравяном севообороте на всех экспозициях и в зернопаропропашном – при безотвальной системе обра-

ботки на водораздельном плато и южном склоне, на остальных вариантах – ограниченно допустимая. Ограниченно допустимые агрогенные нагрузки требуют корректировки, чтобы стать допустимыми.

Таблица 4. Нормирование антропогенной нагрузки в многофакторном полевом опыте по её влиянию на гумусное состояние чернозема типичного в зависимости экспозиции склона.

Экспозиция	Антропогенная нагрузка (вид севооборота, система обработки почвы)	2011 г.	2012 г.	Средние
Северная	ЗППС, отвальная обработка	недопустимая	ограниченно допустимая	ограниченно допустимая
	ЗППС, безотвальная обработка	ограниченно допустимая	ограниченно допустимая	ограниченно допустимая
	ЗТС, отвальная обработка	допустимая	допустимая	допустимая
Водораздель- ное плато	ЗППС, отвальная обработка	ограниченно допустимая	ограниченно допустимая	ограниченно допустимая
	ЗППС, безотвальная обработка	ограниченно допустимая	допустимая	ограниченно допустимая
	ЗТС, отвальная обработка	допустимая	допустимая	допустимая
Южная	ЗППС, отвальная обработка	ограниченно допустимая	ограниченно допустимая	ограниченно допустимая
	ЗППС, безотвальная обработка	ограниченно допустимая	допустимая	допустимая
	ЗТС, отвальная обработка	допустимая	допустимая	допустимая

ЛИТЕРАТУРА

1. *Балюк С.А., Мирошниченко Н.Н., Фатеев А.И.* Принципы экологического нормирования допустимой антропогенной нагрузки на почвенный покров Украины //Почвоведение. – 2008. – № 12. – С. 1501–1509.
2. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – 5-е изд. доп. и перераб. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
3. *Карпачевский Л.О.* Пестрота почвенного покрова в лесном биогеоценозе. – М.: Изд-во МГУ, 1977. – С. 217–224.
4. *Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Мякина Т.Н., Сапронов Д.В., Кудяров В.Н.* Оценка газообразных потерь углерода из почв агроэкосистем Российской Федерации// Труды IV Всероссийской научной конференции «Гуминовые вещества в биосфере». – Санкт-Петербург. – 2007. – С.54–57.
5. *Масютенко Н.П., Масютенко М.Н.* К определению экологической устойчивости агроландшафта//Сборник докладов научно-практической конференции «Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия» Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева». – Курск: ГНУ ВНИИЗиЗПЭ РАСХН, 2013. – С. 92–96.
6. *Масютенко М.Н.* Влияние севооборотов, систем обработки почвы и экспозиции склона на агрофизические и биологические свойства чернозема типичного и урожайность сельскохозяйственных культур: автореф. дисс. ...канд. сельск. наук: 06.01.01. – Рамонь, 2014. – 24 с.
7. *Никитин Б.А.* Уточнения к методике определения гумуса в почве //Агрохимия. – 1983. № 8. – С. 101–106.

Работа рекомендована член-корреспондентом РАН, д.с.-х.н., профессором, директором ФГБНУ ВНИИЗиЗПЭ Г.Н. Черкасовым.

ЦИФРОВОЕ ПОЧВЕННО-АГРОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ВЛАДИМИРСКОГО ОПОЛЬЯ НА ПРИМЕРЕ УЧХОЗА «ДРУЖБА»

Н.В. Минаев

ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, Arjuna@yandex.ru

На примере участка территории хозяйства Ярославской области рассматривается возможность построения карты агроэкологических групп земель с использованием опыта цифрового картографирования почв. Итогом работы является цифровая карта агроэкологических групп земель, которая учитывает ландшафтные условия территории и отражает различную степень проявления лимитирующих факторов ведения сельского хозяйства.

ВВЕДЕНИЕ

Подход к агроэкологической оценке земель и проектированию адаптивно-ландшафтных систем земледелия (АЛСЗ), разработанный В.И. Кирюшиным [2], может быть реализован лишь на основе картографических материалов, отражающих ландшафтную дифференциацию условий, которые учитывают при формировании систем земледелия. Методика агроэкологической оценки земель требует постоянного совершенствования картографического материала с целью увеличения его достоверности. На данный момент при проектировании активно используются старые почвенные карты, данные дистанционного зондирования, полевые почвенно-ландшафтные изыскания и карты для проектирования создаются с использованием геоинформационных систем (ГИС). Однако при составлении почвенно-ландшафтных карт и карты агроэкологических групп земель, которая является основой для проектирования АЛСЗ, в большей степени опираются на экспертную оценку. Методы цифровой почвенной картографии могут позволить формализовать и автоматизировать процесс картографирования агроэкологических групп с контролем достоверности выходных карт [6].

В данной статье рассматривается пример составления цифровой карты агроэкологических групп земель крупного масштаба для нужд проектирования АЛСЗ.

Карта агроэкологических групп земель отражает распространение лимитирующих факторов возделывания сельскохозяйственных культур и на практике применяется для планирования севооборотов и агротехнологий.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования были проведены для территории землепользования бывшего учебного хозяйства РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, расположенной в Переславском районе Ярославской области. По почвенно-географическому районированию территория землепользования относится к подзоне дерново-подзолистых почв южной тайги, но специфика Ополья привела к формированию других почв, чаще классифицируемых как серые лесные, которые формируют сложные почвенные комбинации.

Рельеф сформировался в московскую ледниковую эпоху среднего плейстоцена. Основной почвообразующей породой являются покровные суглинки.

В данном случае основными факторами, ограничивающими сельскохозяйственное использование земель, являются эрозия и переувлажнение. Поэтому наличие и долевое участие в структуре почвенного покрова эродированных и оглеенных почв является основанием для типизации почвенных комбинаций и выделения агроэкологических групп земель.

Цифровое картографирование агроэкологических групп земель проведено на всю территорию бывшего учхоза «Дружба» общей площадью 5000 га. Использована традиционная почвенная карта, составленная в рамках проекта АЛСЗ для учхоза «Дружба» [1].

Критерии выделения и типизация земель с учетом почвенного покрова разработаны ранее, с учетом местных условий [5]. Выделены следующие группы земель: автоморфные, слабоэрозионные, среднеэрозионные, сильноэрозионные, полугидроморфно-эрозионные, полугидроморфно-зональные, слабопереувлажненные, среднепереувлажненные, сильнопереувлажненные и пойменные.

Таким образом, цифровой подход картографирования применялся непосредственно к агроэкологическим группам земель по основным лимитирующим факторам: эрозия и переувлажнение. Были построены карта агроэкологических групп земель по 10 категориям и карта неопределенности прогноза агроэкологической группы в каждой точке матрицы.

В данной работе была использована традиционная почвенная карта учхоза «Дружба» составленная коллективом кафедры почвоведения Тимирязевской академии. Для уточнения этой карты и получения свежих почвенных данных были проведены полевые почвенные изыскания. На территории был выбран ключевой участок, охватывающий максимальное разнообразие элементов рельефа для формирования эталонов распространения агроэкологических групп (обучающая выборка), на основе которых в дальнейшем проводился дискриминантный анализ.

Для построения карты агроэкологических групп земель по топографической карте масштаба 1:10000 и заложением горизонталей 1 м была построена цифровая модель рельефа (ЦМР).

Далее использовались методы цифрового картографирования структуры почвенного покрова: морфометрический анализ цифровой модели рельефа [7] и вероятностно-статистическое моделирование на базе аппарата нечетких множеств [8]. Приведенные в табл. 1 морфометрические характеристики рельефа задавали факторно-индикационную основу. Сама принципиальная схема цифрового подхода к картографированию рассматривается в работе Н.П. Сорокиной и Д.Н. Козлова [6].

Функции принадлежности агроэкологических групп рассчитывалась по обучающей выборке в соответствии с нормальным законом распределения средствами пошагового дискриминантного анализа [4]. Метод позволяет выявить наиболее информативные индикаторные признаки и оценить степень изолированности каждой группы в пространстве этих признаков.

Таблица 1. Морфометрические характеристики рельефа, использованные в анализе.

Переменная	Содержание	Индицируемый процесс
Крутизна (SLP), градусы	Скорость изменения высоты в гравитационном поле	Скорость латерального переноса вещества
Замкнутые понижения	Замкнутые понижения	Признак гидроморфности
Топографический индекс влажности (TWI)	Логарифм отношения водосборной площади к крутизне склона	Скорость транзита стока
Фактор длины/крутизны склона (LSF)	Составной показатель длины и крутизны склона	Емкость транзита жидкого, ионного и твердого стока
Превышение над водотоком, м	Превышение над местным базисом эрозии	Потенциальная энергия эрозионных процессов, уровень грунтовых вод, степень гидроморфности
Глубина понижений, м	Глубина гидрографической сети	Принадлежность к пойме
Индекс топографической позиции (TPI)	Относительные превышения в области (100, 250, 500 и 1000 м)	Выявления микрорельефа, влияющего на дополнительное увлажнение

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

На рис. представлена цифровая карта агроэкологических групп земель, полученная в ходе работы. Для построения карты был использован один набор индикационных характеристик (табл. 1), то есть была проведена попытка смоделировать распространение 10 разных агроэкологических групп в один момент, а не синтезируя отдельно построенные модели лимитирующих факторов.

В табл. 2 отражен вклад используемых свойств рельефа в индикационную модель. Как видно, наибольшую значимость имеет фактор крутизны, а так же, хоть и существенно ниже по значению, глубина понижений играет важную роль в разграничении групп. Близки по значимости свойства TWI, LSF, «превышение над водотоком» и «замкнутые понижения». Экспозиция и индексы топографической позиции в данной модели имеют малую значимость.

Таблица 2. Критерий Фишера для свойств рельефа, полученный в ходе анализа.

Свойство рельефа	Критерий Фишера
SLP, грд.	3583.9
Замкнутые понижения	668.3
TWI	603.7
LSF	603.8
Превышение над водотоком, м	718.1
Глубина понижений, м	891.3
Экспозиция	1.0
TRI0100	127.6
TRI0250	127.3
TRI0500	286.4
TRI1000	385.3

Табл. 3 отражает степень изолированности агроэкологических групп земель в факторно-индикационном пространстве, то есть характеризует обоснованность их выделения. Наиболее обоснованно выделены группы: 2 (слабоэрозионные), 4 (сильноэрозионные), 6 (полугидроморфно-зональные), 7 (слабопереувлажненные) и 10 (пойменные). Со всем недостоверно выделение 5 группы (полугидроморфно-эрозионные).

Таблица 3. Степень изолированности агроэкологических групп земель.

Группы	%	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	22.1	2860	1238	50	18	7	7438	1237	55	40	3
2	48.5	1070	8960	1018	234	63	4722	1638	81	331	373
3	20.5	342	3812	1580	469	1	746	337	15	224	170
4	49.3	0	58	50	144	0	0	0	0	36	4
5	0.5	483	1540	155	6	30	1617	1174	130	98	329
6	54.7	1877	2235	67	4	22	13805	6828	156	132	106
7	56.5	594	1750	119	62	14	6200	12754	594	182	285
8	14.4	48	574	58	2	15	981	3166	973	226	709
9	25.68	26	723	309	132	2	299	1568	323	1506	977
10	53.2	0	227	125	110	5	1	532	324	451	2015
Итого	40.9	7300	21117	3531	1181	159	35809	29234	2651	3226	4971

Общая обоснованность карты агроэкологических групп земель составила 40.9 %, что не очень высоко. Однако при экспертном анализе полученной карты можно сказать, что выделенные группы не лишены ландшафтной логики. Так автоморфные (самый темный тон на рис. 1) категории приурочены к выпуклым водоразделам и вершинам холмов, эрозионные структуры к различным склонам, что, по-видимому, связано с высокой ролью крутизны в данной модели при выявлении различной степени эрозионной опасности. Хо-

рошо выделены пойменные участки (самый светлый тон на рис. 1), которые совпадают с долинами рек, протекающих на данной территории. Сильнопереувлажненные земли заметно коррелируют с замкнутыми понижениями. Хорошо выделены полугидроморфно-зональные группы, которые в виду специфики территории представлены комбинациями автоморфных почв с некоторым участием слабоглееватых и группа слабопереувлажненных, в которых доля глееватых почв возрастает, приуроченных к вогнутым поверхностям с небольшим уклонам и водосборным площадкам оврагов.

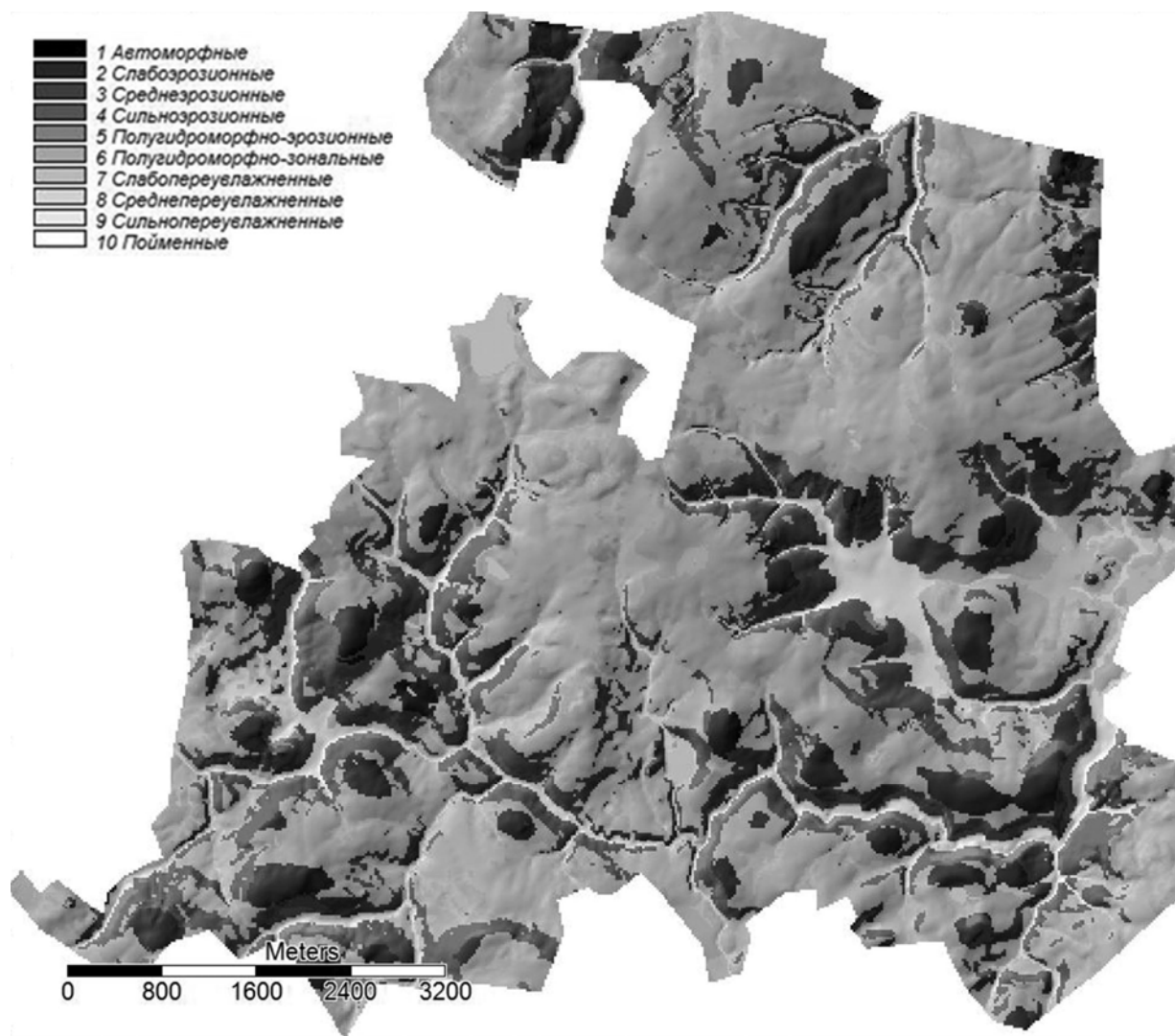


Рисунок. Цифровая карта агроэкологических групп и видов земель.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение следует отметить, что в сравнении с существующей картой, полученная картографическая модель вполне удовлетворительна. Однако, вследствие не достаточно удовлетворительного процента обоснованности и необоснованного выделения некоторых групп, стоит пересмотреть набор свойств рельефа для построения факторно-индикационной модели, а так же подход к группировке структур почвенного покрова.

Стоит отметить, что полученные конкретные результаты картографирования нельзя считать окончательными, еще требуются исследования в этой области применительно к схожим территориальным условиям для проверки на воспроизводимость.

Не смотря на все еще стоящие вопросы и затруднения, примененный подход к картографированию является перспективным и может рассматриваться как один из путей снижения стоимости картографирования и повышения информативности, особенно применительно к большим территориям.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий.* / Под ред. В.И. Кирюшина, А.Л. Иванова. М.: Росинформагротех, 2005. 784 с.
2. *Кирюшин В.И.* Теория адаптивно-ландшафтного земледелия и проектирования агроландшафтов. – М.: КолосС, 2011. – 443 с., [12] л. ил.: ил.
3. *Модель адаптивно-ландшафтного земледелия Владимирского Ополя* / Под. ред. В.И. Кирюшина и А.Л. Иванова. – М.: Агроконсалт, 2004. – 453 с.
4. *Пузаченко Ю.Г.* Математические методы в экологических и географических исследованиях: Учеб. пособие для студ. вузов / Юрий Георгиевич Пузаченко. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 416 с.
5. *Савастру Н.Т.* Агроэкологическая оценка почвенного покрова Владимирского Ополя для проектирования адаптивно-ландшафтной системы земледелия. Дисс. к.б.н., 1999, – 167 с.
6. *Сорокина Н.П., Козлов Д.Н.* Методы цифровой почвенной картографии в задачах агроэкологической оценки земель. В сб.: «Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования». М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева, 2012 – 350 с.
7. *Advances in Digital Terrain Analysis* / Zhou, Qiming; Lees, Brian; Tang, Guo-an (Eds.). 2008, XIV, – 462 p.
8. *Zhu, A.X., Band, L.E., Dutton, B., Nimlos, T.J.* Automated soil inference under fuzzy logic. *Ecological Modelling*. 90, 1996. pp. 123–145.

Работа рекомендована к.г.н., доцентом географического ф-та МГУ Д.Н. Козловым.

УДК 631.46

ВЛИЯНИЕ МУРАВЬИНЫХ ГНЕЗД НА КИСЛОТНОСТЬ И ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВ

А.Е. Моргун^{1,2}, А.В. Юдина^{1,2}, М.В. Голиченков¹

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,

² Почвенный институт им. В.В. Докучаева, siril@inbox.ru

В работе исследовали характер влияния почвообитающих муравьев на гранулометрический состав и реакцию среды почв. С использованием современного метода анализа гранулометрического состава – лазерной дифрактометрии, было показано, что гранулометрический состав муравьиных гнезд отличается от интактной почвы большей вариабельностью, что может быть связано с использованием материала разных горизонтов. Кислотность муравьиных гнезд может существенно отличаться от контрольной почвы в зависимости от реакции среды почвы, в которой устроен муравейник.

ВВЕДЕНИЕ

Являясь природным телом, образующимся под воздействием биоты на верхние слои земной коры, почва – наиболее яркий продукт биокосного взаимодействия в биосфере. В развитых наземных экосистемах достаточно важными агентами, изменяющими почвенные свойства, являются беспозвоночные, в особенности муравьи, строящие почвенные гнезда. Влияние микроорганизмов на свойства почв достаточно хорошо описано в многочисленной литературе и касается, главным образом, химических свойств и общих показателей биологической активности почв. Влияние муравьев связано в значительной степени с механическим перемещением почвенных частиц и агрегатов, а химическое воздействие обусловлено концентрированием органического вещества в пределах муравьиного гнезда.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В настоящей работе исследовался материал надземных частей гнезд муравьев *Lasius niger*, *Formica sp.* и *Myrmica sp.*, отобранных по катене (пойма, терраса, склон водораздела и водораздел) в окрестностях деревни Акичкин починок Устьянского района Архангельской области. Одновременно для сравнения были отобраны образцы верхних горизонтов контрольных почв. Анализ гранулометрического состава проводился методом лазерной дифракции на приборе Analysette 22 comfort (Fritsch, Германия). Диспергация образцов проводилась с помощью ультразвуковой обработки на приборе Digital Sonifir 250 (Branson Ultrasonics, США) при заданной мощности (40 % W) в течение 5 минут. Для анализа почву растирали в ступке пестиком с резиновым наконечником, затем просеивали через сито 1 мм, масса навески составляла 300–400 мг. Величину pH водной суспензии определяли потенциометрическим методом на универсальном иономере «Экотест-2000».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты гранулометрического анализа образцов муравьиных гнезд и контрольных почв представлены на рисунках 1–4. По классификации Н.А. Качинского, образцы контрольной почвы и гнезд *Formica sp.*, отобранные на пойме (рис. 1), характеризовались как среднесуглинистые. По гранулометрическому составу они слабо отличались друг от друга. Образцы из куполов муравьиных гнезд *Lasius niger* обладали большим содержанием физической глины (53,8 %), что и соответствовало легкой глине по классификации Качинского, а так же значительно отличались от образцов контрольной почвы. Отличительной особенностью гранулометрического состава муравейников *Lasius niger* на пойме было низкое содержание фракции мелкого песка (50–250 мкм) – около 1 %. Отметим, что столь низкое содержание какой-либо фракции элементарных почвенных частиц в исследуемых образцах в дальнейшем нами не было зафиксировано.

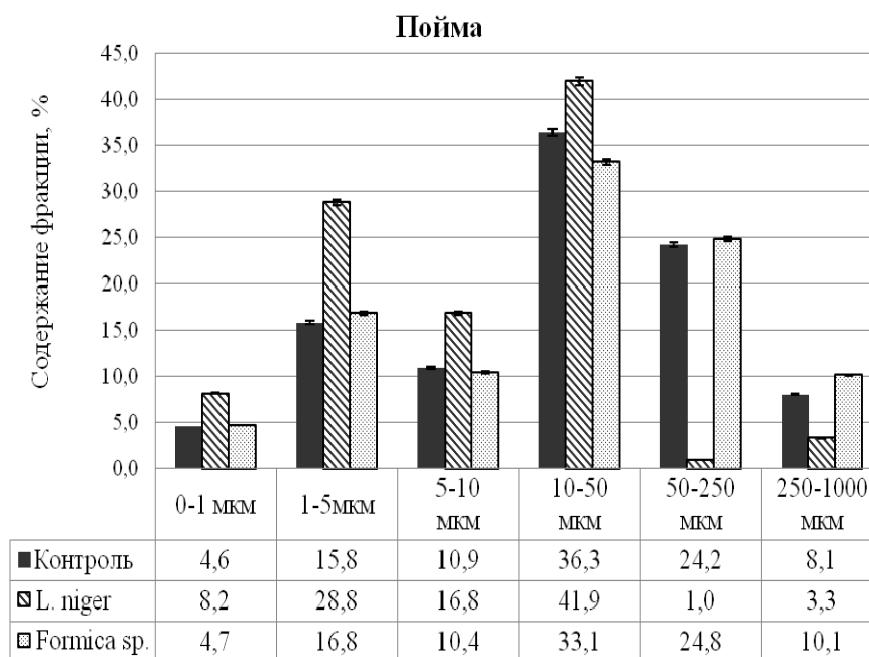


Рисунок 1. Содержание (%) фракций элементарных почвенных частиц (мкм) в образцах, отобранных на пойме.

Гранулометрический состав образцов контрольных почв и гнезд муравьев *Lasius niger*, отобранных на террасе (рис. 2), отличался от гранулометрического состава исследованных образцов на пойме. По классификации Н.А. Качинского образец контрольной почвы был охарактеризован как легкосуглинистый, а образец муравейника – как среднесуглинистый. Отметим, что содержание каждой фракции в образцах муравьиных гнезд *Lasius niger* выше по сравнению с контролем, за исключением фракции мелкого песка,

содержание которого ниже, как и в муравейнике *Lasius niger* на пойме. Обратим внимание на то, что в муравейниках *Lasius niger*, образованных на аллювиальных отложениях была заметна тенденция к утяжелению гранулометрического состава.

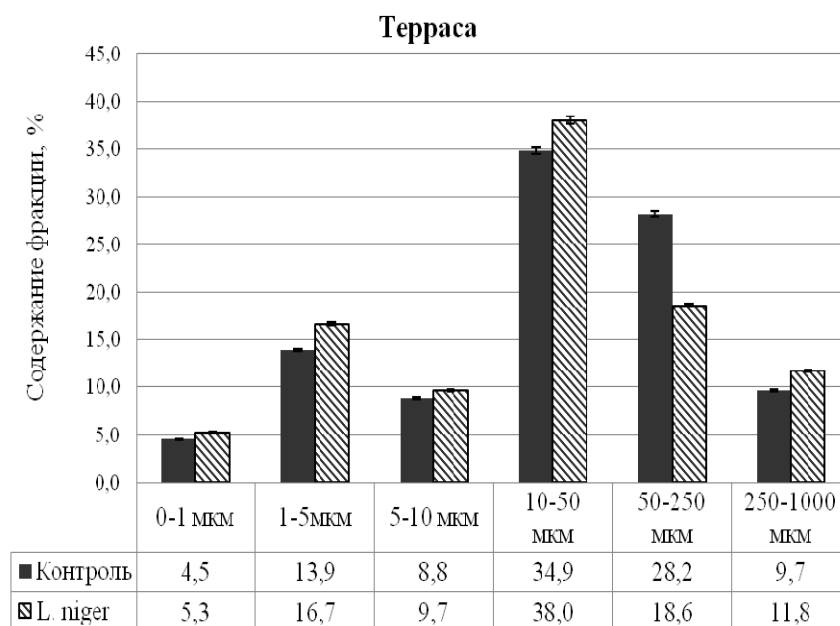


Рисунок 2. Содержание (%) фракций элементарных почвенных частиц (мкм) в образцах, отобранных на террасе.

Гранулометрический состав контрольной почвы на склоне (рис. 3) был охарактеризован как среднесуглинистый. Образцы муравьиных гнезд *Lasius niger* и *Myrmica sp.* – легкосуглинистые.

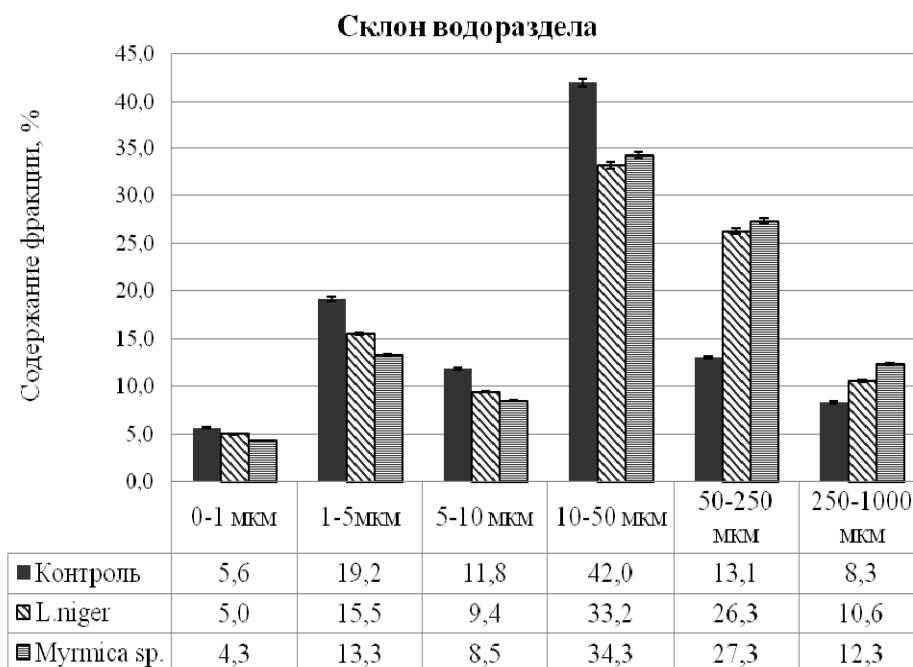


Рисунок 3. Содержание (%) фракций элементарных почвенных частиц (мкм) в образцах, отобранных на склоне водораздела.

Образцы контрольной почвы и муравьиных гнезд, отобранные на водоразделе (рис. 4), практически не различались и характеризовались как среднесуглинистые. Так же как и во всех предыдущих случаях, в образцах фоновых почв и почв муравейников, ото-

бранных на водоразделе, преобладала фракция крупной пыли, фракция ила была минимальна. Такое соотношение фракций в целом можно считать спецификой данной почвы.

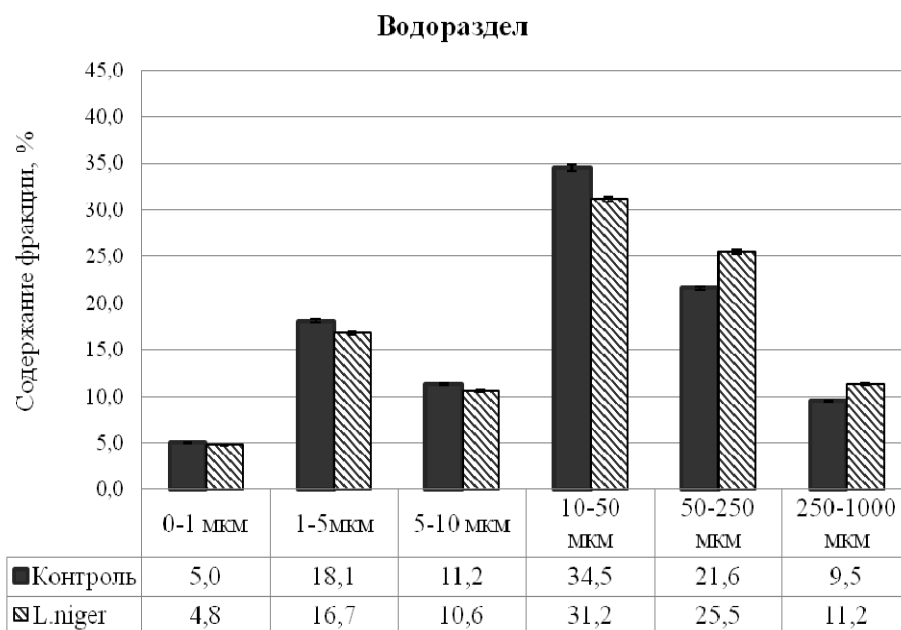
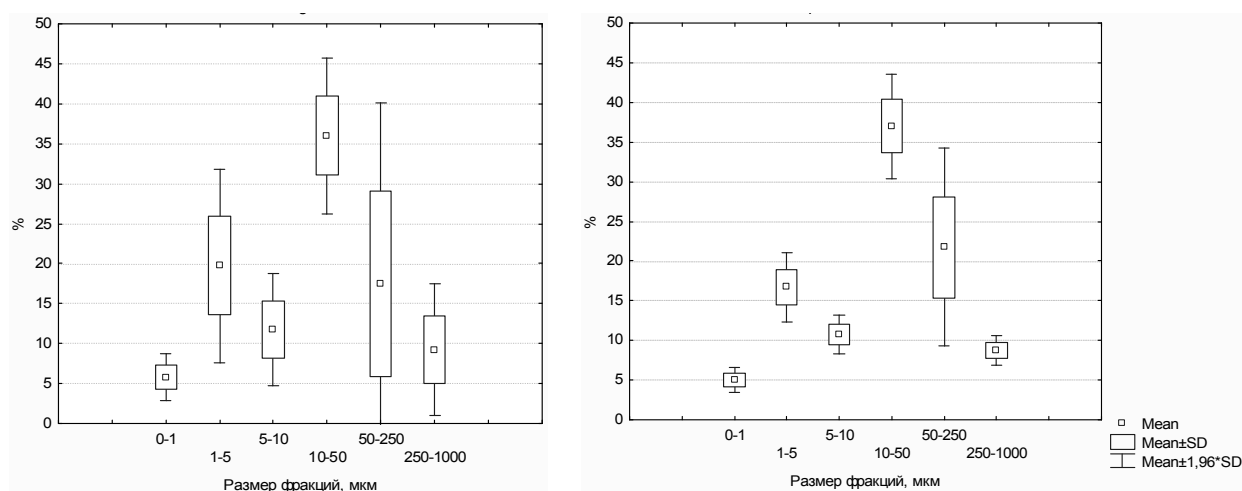


Рисунок 4. Содержание (%) фракций элементарных почвенных частиц (мкм) в образцах, отобранных на водоразделе.

Обобщив данные по гранулометрическому анализу (без учета рельефа), можно заключить, что почвы муравьиных гнезд были более вариабельны по гранулометрическому составу (рис. 5а и 5 б). Так, например, содержание фракции 5–10 мкм колебалось от 9 до 12 % в контрольных образцах, в то время как в образцах почв муравейников эти значения изменялись в диапазоне от 8 до 15 %. Аналогично для фракции 50–250 мкм – в контрольных почвах её содержание варьировало в пределах 15–18 %, тогда как в муравейниках – от 6 до 29 %. Так же установлено, что при постройке гнезд муравьи не проявляют избирательности по отношению к почвенным частицам определенного размера. На основе полученных данных можно предположить, что муравьи оперируют мелкими почвенными агрегатами, в которых тонкие фракции выступают в роли цемента для более крупных частиц.



Рисунки 5. Диаграммы размаха по данным гранулометрического анализа почв муравьиных гнезд *Lasius niger* (а) и контрольной почвы (б).

Результаты определения рН водной суспензии (рис. 6) показали, что контрольные почвы имеют сильноокислую реакцию на водоразделе, слабоокислую – на

склоне водораздела, а на террасе и на пойме – нейтральную. Такое распределение является характерным для исследованных элементов рельефа в данных почвенно-климатических условиях. Кислотность муравьиных гнезд отличалась от таковой контрольных почв. Можно отметить тенденцию к подщелачиванию материала муравейников на водоразделе и склоне водораздела, а так же тенденцию к подкислению гнезд муравьев на нейтральных почвах поймы и террасы. Подобный характер распределения кислотности был отмечен в литературе (Гринфельд, 1941, Frouz, Jilkova, 2008).

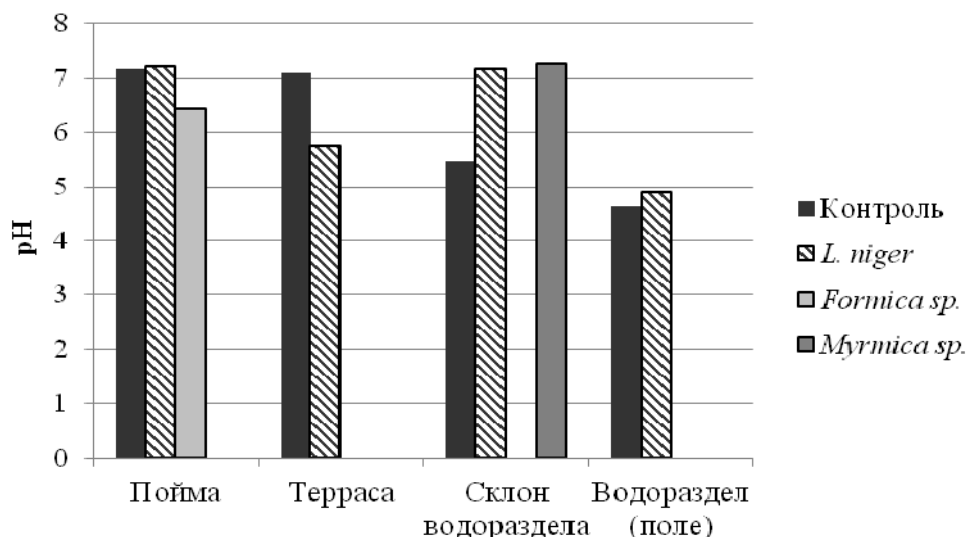


Рисунок 6. Величины pH водной суспензии контрольных почв и муравьиных гнезд.

Таким образом, почвообитающие муравьи формируют в пределах гнезда особые физико-химические условия, отличные от окружающей почвы, существенно увеличивая мозаичность почвенного покрова в самых разнообразных экосистемах. Такой характер их деятельности, служит наглядной иллюстрацией экосистемно-инженерной функции муравьев в природе: увеличение мозаичности почвенного покрова за счет изменения кислотности и гранулометрического состава гнезда создаёт предпосылки для формирования новых экологических ниш и повышения биоразнообразия в природных экосистемах.

ВЫВОДЫ

1. В процессе гнездостроительной деятельности муравьи могут менять кислотность почвы, увеличивая или уменьшая её, в зависимости от исходных значений фоновой почвы.
2. Гранулометрический состав муравьиных гнезд более вариабелен по сравнению с гранулометрическим составом поверхностных горизонтов контрольной почвы. Это может быть связано с тем, что для постройки гнезда муравьи используют материал не только из поверхностных, но и из нижележащих горизонтов почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гринфельд Э.К. Воздействие муравьев на реакцию почвы // Зоологический журнал. 1941. Т. 20. Вып. 1. С. 100.
2. Frouz J., Jilková V. The effect of ants on soil properties and processes (*Hymenoptera: Formicidae*) // Myrmecological News. 2008. V. 1. P. 191–199.

Работа рекомендована д.б.н., профессором М.М. Умаровым.

ПОСТАГРОГЕННАЯ ДИНАМИКА ЗАПАСОВ И СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОГО
ВЕЩЕСТВА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ МОСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Л.А. Овсепян

ФГБУН Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,
г. Пушкино

В процессе пост-агрогенной эволюции серых лесных почв Московской области выявлено заметное накопление запасов органического вещества, усиление активности гидролаз, в значительной степени ответственных за разложение поступающего в почву легкодоступного органического вещества и снижение активности оксидаз, ответственных за процессы иммобилизации органического вещества в матрице и переводе органического углерода в труднодоступную форму.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с системным экономическим кризисом начала 90-х годов XX века было заброшено порядка 45.5 млн га пахотных земель в различных частях РФ, что составляет примерно $\frac{1}{4}$ всех пахотных угодий страны (Люри и др., 2010). Процесс постагрогенной эволюции бывших сельскохозяйственных угодий идет по классическим сукцессионным схемам в направлении формирования зональных типов экосистем. Параллельно с восстановлением растительности, происходит также закономерное изменение морфогенетических характеристик почв, их химических и физических свойств. Наиболее динамичным изменениям подвергаются содержание и качественный состав органического вещества почв (ПОВ) и их ферментативная активность. Целью настоящей работы было изучение гумусового состава и ферментативной активности серых лесных почв Московской области в процессе их постагрогенного развития.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на территории опытной станции ИФХиБПП РАН (г. Пушкино, Московская обл.), где был выбран хроноряд залежей разного возраста (7, 11, 20 и 35 лет), сформированных на серых лесных почвах. Объектами сравнения, позволяющими оценить изменения в составе ПОВ после снятия сельскохозяйственной нагрузки, являлись: пашня (неудобряемый вариант) и вторичный лиственный лес (65 лет, конечная стадия залежной сукцессии). Отбор смешанных образцов проводился методом конверта в пяти повторностях из следующих слоев: 0–5, 5–10, 10–20 и 20–30 см. Содержание органического углерода (Сорг) определяли с помощью автоматического CHN-анализатора (Elementar, Германия). Запасы Сорг рассчитывали послойно с учетом объемной массы. Среднюю скорость накопления углерода ($\text{г С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$) оценивали как изменение запасов Сорг в залежи по отношению к пашне, отнесенное к возрасту залежи. Гранулоденситометрическое фракционирование почвы проводили при помощи поливольфрамата натрия с разделением образца на следующие фракции: свободную ($<1.6 \text{ г см}^{-3}$), связную ($1.6\text{--}2.0 \text{ г см}^{-3}$) и минеральную ($>2.0 \text{ г см}^{-3}$) (John et al., 2007). Гидролазная активность почв (на примере хитиназы, бета-галактозидазы, бета-глюкозидазы) определялась методом флюорогенно-меченых субстратов (Marx et al., 2001). Активность ферментов группы оксидоредуктаз (полифенолоксидаза, ПФО и пероксидаза, ПО) определяли спектрофотометрически при добавлении бензохинона по методике Карягиной и Михайловой (Хазиев, 2005). Все измерения проводили в 3–4 кратной повторности.

Работа выполнялась при поддержке Программы Президиума РАН № 15, РФФИ (проект № 15-04-05156а) и гранта НШ-6123.2014.4.

© Л.А. Овсепян, 2017

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе постагрогенной эволюции пахотных угодий наблюдалось последовательное и наиболее существенное увеличение запасов Сорг в слое 0–10 см от 6.0 т С га⁻¹ в пашне до 8.7 т С га⁻¹ в залежи 7-летнего возраста и до 14.0 т С га⁻¹ в 35-летней залежи (рис. 1, А). В слое 10–20 см накопление Сорг было незначительным, а на глубине 20–30 см из-за проявления процессов подзолообразования при развитии лесной растительности происходило заметное снижение содержания органического углерода. Было выявлено, что средняя скорость накопления Сорг наиболее высокая в слое 0–5 см, где она составляла 0.3 т С га⁻¹ год⁻¹ в первые 7–11 лет восстановления и снижалась до 0.1 т С га⁻¹ год⁻¹ в залежи 35-летнего возраста (рис. 1, Б).

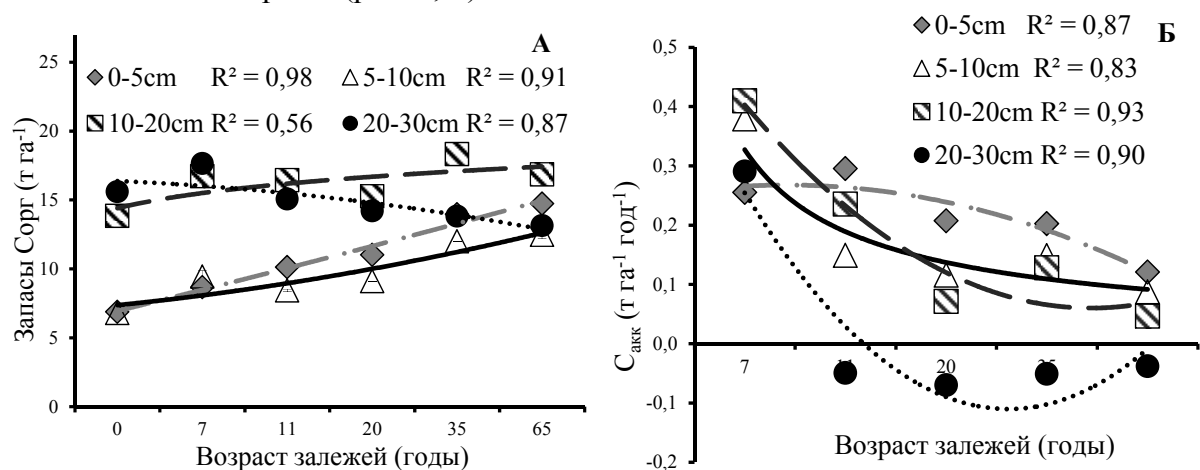


Рисунок 1. Запасы Сорг (А) и скорость его накопления (Б) в процессе пост-агрогенной эволюции серых лесных почв Московской области.

В результате денситометрического фракционирования было проведено разделение образцов на 3 фракции: (1) легкая – с плотностью ниже 1.6 г см⁻³ (POM), представленная слабо разложившимися остатками растительного и животного происхождения и микробной биомассы, с временем оборачиваемости (ВО), составляющим от нескольких суток до недель; (2) окклюдирующая – с плотностью ниже 2.0 г см⁻³ (oPOM), включающая гумусовые вещества и частично продукты неполного разложения, с ВО от нескольких месяцев до десятков лет; (3) минеральная – с плотностью выше 2.0 г см⁻³, представленная органо-минеральными комплексами с ВО в сотни и тысячи лет. Накопление содержания углерода наблюдалось во всех выделяемых фракциях (рис. 2).

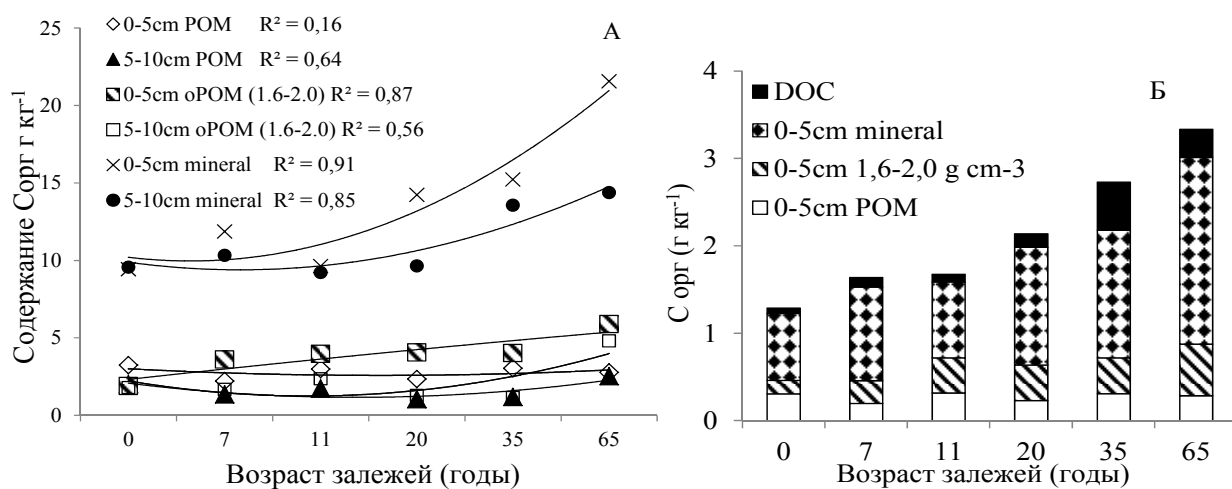


Рисунок 2. Изменение содержания углерода разных фракций (А) и их распределение в общем пуле Сорг (Б) в залежах разного возраста.

Для залежи 35 лет изменение содержания Сорг в легкой фракции составило 17 % (с 2.60 до 3.02 г кг⁻¹), а в окклюзированной оно было более существенным и достигало 115 % (с 1.91 до 4.12 г кг⁻¹). Накопление Сорг в органоминеральной фракции происходило как в слое 0–5 см (с 9.6 до 15.6 г кг⁻¹), так и в слое 5–10 см (9.79 до 14 г кг⁻¹). Содержание Сорг во всех фракциях в почве вторичного леса превышало содержание Сорг в залежных почвах (рис. 2, Б). Наиболее существенное накопление углерода различных фракций наблюдалось, как правило, в слое 0–5 см, что связано с непосредственным поступлением органического вещества растительных остатков в верхний слой почвы.

Доля углерода всех фракций в общем пуле углерода возрастала от пашни к естественному ценозу, что объясняется поступлением органического вещества и разнонаправленными процессами его трансформации. Так, ОВ, поступающее в почву в виде растительных остатков, подвергается первичной деструкции и микробному разложению в результате жизнедеятельности мезофауны и микроорганизмов (Burns et al., 2013).

Нами определялась активность ферментов, осуществляющих разложение полимерных и олигомерных соединений до мономеров. Внеклеточные почвенные ферменты осуществляют процессы окисления и гидролиза полимерных органических соединений, контролируя баланс между разложением поступающих в почву растительных остатков и образованием устойчивых гумусовых соединений (Burns et al., 2013). Считается, что гидролитические ферменты ответственны за процессы деградации и минерализации органического вещества (Хазиев, 2005; Wallenstein, Burns, 2011). Например, бета-глюкозидаза и бета-галактозидаза осуществляет начальное разложение труднодоступных соединений-полимеров путем отщепления моносахаров от целлюлозы. Хитиназа отщепляет мономерные единицы хитина в ходе деградации полимеров. В изученном хроноряду залежных почв по активности гидролитических ферментов выделяются 2 группы почв: молодые залежи (до 20 лет), характеризующиеся относительно низкой активностью гидролитических ферментов, и зрелые (после 35 лет), в которых активность ферментов достоверно выше, чем в более молодых залежах (рис. 3). Такая картина наблюдалась в верхнем слое (0–5 и 5–10 см), в то время как в нижних горизонтах отчетливых закономерностей в изменении активности гидролаз выявлено не было.

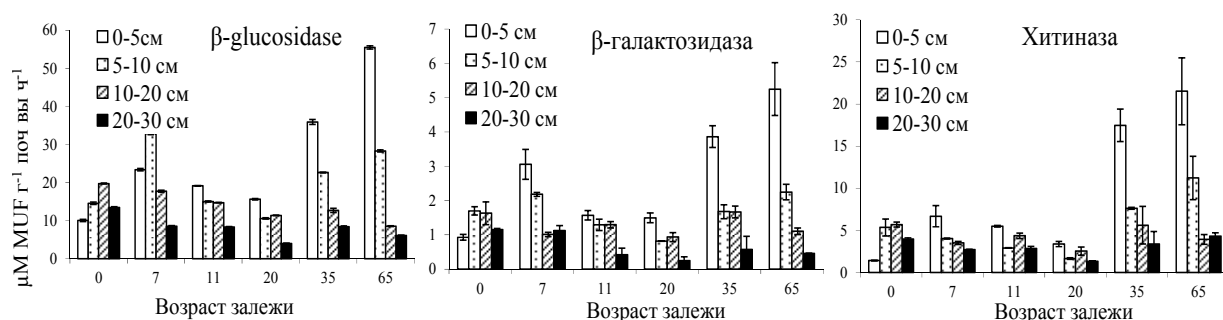


Рисунок 3. Изменение активности гидролитических ферментов в серых лесных почвах в процессе пост-агрогенной эволюции.

Результаты определения активности оксидаз (фенол- и пероксидазы), участвующих в процессах минерализации лигнина и синтезе специфических гумусовых веществ, а также ответственных за процессы иммобилизации органического вещества в почвенной матрице и переводе ОС в труднодоступную форму, показывают снижение оксидазной активности в изученном хроноряду залежных почв (рис. 4). Низкая активность оксидаз в верхнем 0–10 см горизонте зрелых залежей может свидетельствовать об отсутствии в лесной подстилке и опаде большого количества труднодоступных органических соединений.

Нами была выявлена прямая корреляция между активностью гидролитических ферментов и запасами органического вещества почвы ($R^2 = 0.53–0.80$) и обратная корреляция между запасами органического вещества почвы и активностью пероксидазы и фенолоксидазы ($R^2 = 0.44–0.46$).

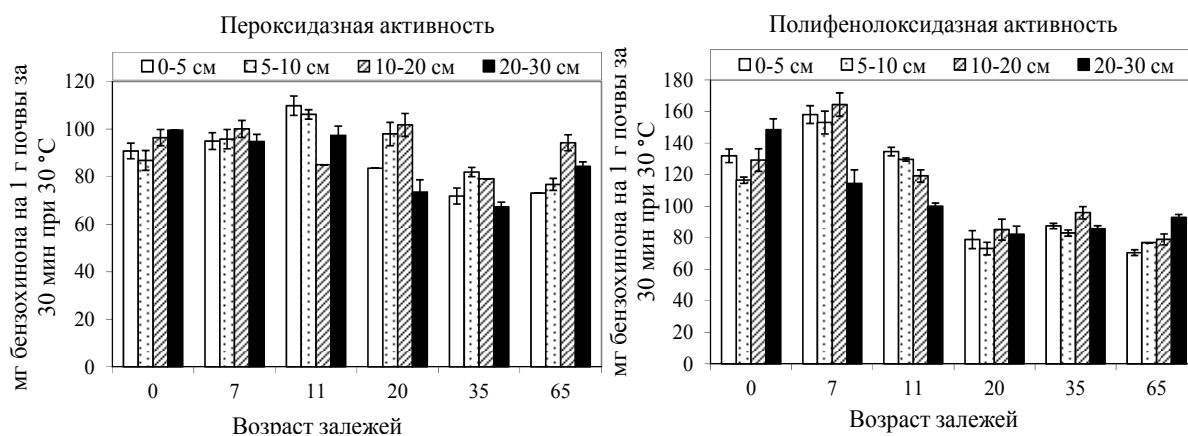


Рисунок 4. Изменение активности перо- и фенолоксидазы в серой лесной почве в процессе постагрогенной эволюции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в процессе постагрогенной эволюции происходит закономерное накопление запасов углерода в верхнем горизонте, а также изменение ферментативной активности почв. В связи с этим, мы наблюдаем два разнонаправленных процесса: для молодых залежей характерен синтез специфических органических веществ, связанный с активностью перо- и полифенолоксидазы, а для зрелых залежей и естественного ценоза – разложение поступающего опада, участие в котором принимают внеклеточные гидролитические ферменты. Суммарно эти два процесса приводят к накоплению как легкодоступной фракции углерода, так и органо-минеральных комплексов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Burns R.G., Jare L. DeForest, Jürgen Marxsen, Robert L. Sinsabaugh, Mary E. Stromberger, Matthew D. Wallenstein, Michael N. Weintraub, Annamaria Zoppini. Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions. *Soil Biology and Biochemistry* 58 (2013), pp. 216–234.
2. John B., Yamashita T., Ludwig B., Flessa H, Storage of organic carbon in aggregate and density fractionation of silty soils under different types of land use. *Geoderma* 128, 2005. pp. 63–79.
3. Marx M.C., Wood M., Jarvis S.C. A microplate fluorimetric assay for the study of enzyme diversity in soils. *Soil Biology and Biochemistry* 33. 2001. pp. 1633–1640.
4. Wallenstein, M.D., Burns, R.G. Ecology of extracellular enzyme activities and organic matter degradation in soil: a complex community-driven process. In: Dick, R.P. (Ed.), *Methods of Soil Enzymology*. Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, USA, 2011. pp. 35–55.
5. Люри Д.И., Горячкин С.В. и др. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и пост-агрогенное восстановление растительности и почв, М.: ГЕОС, 2010, 246 с.
6. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука. 2005, 252 с.

За помощь на разных этапах работы автор выражает признательность сотрудникам ИФХиБПП РАН (к.б.н. В.И. Личко, к.т.н. В.О. Лопес де Гереню и к.б.н. Е.В. Благодатской) и студентке РГАУ ТСХА А.С. Мостовой.

Работа рекомендована в.н.с. ИФХиБПП РАН, д.б.н., доцентом И.Н. Кургановой.

ОЦЕНКА ДЕГРАДАЦИИ ПОЧВ, С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ, НА ПРИМЕРЕ СОВХОЗА «ТИХИЙ ДОН»
КУРКИНСКОГО РАЙОНА ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

С.С. Огородников

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

В статье рассматриваются два подхода к оценке деградации почв. Приводится сравнение данных анализов почвенных свойств за 1992 и 2015 годы. Также исследуемая почва сравнивается с эталоном выщелоченного чернозёма высокого плодородия. Показано, как на практике применяется «Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель». Для построения картограмм предложено использовать программу QGIS 2.10.1.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в Российской Федерации активно проводится политика импортозамещения. Разработана «стратегия устойчивого развития сельских территорий РФ на период до 2030 года», а в Тульской области реализуется долгосрочная целевая программа «устойчивое развитие сельских территорий ... на период до 2020 года». Реализация данных программ невозможна без проведения оценки текущего состояния почв и выработке предложений по оптимизации землепользования.

Оценка деградации – комплексный процесс, требующий знаний не только в почвоведении, картографии и химии почв, но и в экономике, юриспруденции, социологии.

Под деградацией почв понимается «ухудшение свойств и плодородия почвы в результате воздействия природных или антропогенных факторов» (ГОСТ 27593-88).

Очевидно, что ухудшение должно происходить за определенное время: соответственно появляются два пути оценки деградации:

- Сравнивать новые результаты анализов с данными предыдущих почвенных обследований.

- Проводить сравнение с эталонными значениями. В этом случае необходимо обратиться к методикам оценки ущерба от деградации.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Цель работы: дать оценку современному состоянию земель совхоза «Тихий Дон» и провести сравнение данных с результатами почвенного обследования 23-х летней давности.

Объект исследования – почвы на территории бывшего совхоза «Тихий Дон», Куркинского района Тульской области.

В работе применялись методы анализа и синтеза, картографический, ГИС технологий, сравнительно-географический и метод балльной оценки.

При выполнении работы была оцифрована почвенная карта совхоза «Тихий Дон» Куркинского района, Тульской области, 1992 г. Из очерка «Почвы совхоза «Тихий Дон»» взяты данные химических анализов. Карта была «привязана» по космоснимкам высокого разрешения и определены координаты точек, где 23 года назад были заложены разрезы. Эти точки, в ходе полевых работ, были найдены на местности с помощью GPS приёмника с точностью 5 метров. В соответствии с ГОСТом 17.4.4.02 – 84. (Методы отбора и подготовки проб... 1986 г.) из верхнего горизонта методом конверта были отобраны пробы, которые впоследствии были проанализированы. Определены следующие химические и физико-химические свойства почв: pH водной суспензии, pH солевой, валовое содержание гумуса, содержание подвижного фосфора и содержание обменного калия.

Работа выполнена при финансовой поддержке РНФ (проект № 14-38-00023).

© С.С. Огородников, 2017

Полученные в ходе анализов результаты сравнивались с данными почвенного обследования 1992 года и на основании постановления правительства № 612 «Об утверждении критериев существенного снижения плодородия земель сельскохозяйственного назначения» делался вывод об изменении свойств почв за данный период.

Помимо этого проводилась оценка степени деградации почв и земель. Каждому из показателей давалась балльная оценка по единой пятибалльной шкале в соответствии с «Методическими рекомендациями по выявлению деградированных и загрязненных земель» (1994 г.). [3] В качестве эталонных значений (недеградированного аналога) брались данные, содержащиеся в паспорте модели выщелоченного чернозёма высокого плодородия. Эта эталонная модель была разработана в Почвенном институте имени В.В. Докучаева. Для исследуемых показателей в программе QGIS 2.10.1, с использованием метода обратных расстояний, построены картограммы и рассчитаны площади почв, относящихся к различным уровням деградации. В качестве примера, ниже приведены картограммы, иллюстрирующие деградацию по уменьшению содержания подвижного фосфора, относительно эталона сравнения.

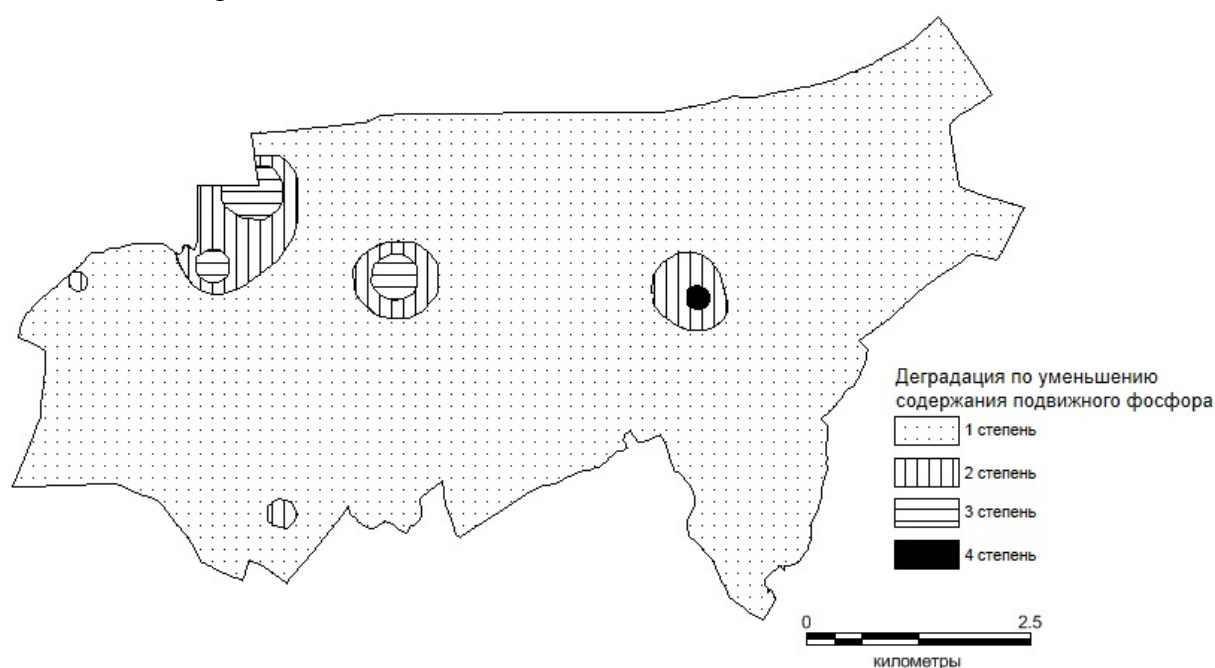


Рисунок 1. Картограмма по степеням деградации подвижного фосфора на территорию совхоза «Тихий Дон», по данным 2015 года.

Расчёт ущерба проводился по формуле, приведенной в упомянутой выше методике оценки ущерба:

$$Ущ = Нс \cdot S \cdot Кэ \cdot Кс \cdot Кп + Дх \cdot S \cdot Кв,$$

где Ущ – размер ущерба от деградации почв и земель (тыс. руб.); Нс – норматив стоимости; Дх – годовой доход с единицы площади (тыс. руб.); S – площадь деградированных почв и земель (га); Кэ – коэффициент экологической ситуации территории; Кв – коэффициент пересчета в зависимости от периода времени по восстановлению деградированных почв и земель; Кс – коэффициент пересчета в зависимости от изменения степени деградации почв и земель; Кп – коэффициент для особо охраняемых территорий.

Легко заметить, что каждое из двух слагаемых содержит площади деградированных почв. Первое слагаемое характеризует ухудшение свойства участка, а второе позволяет оценить упущенную выгоду. Таким образом, данная формула отражает классическое определение понятия «ущерб».

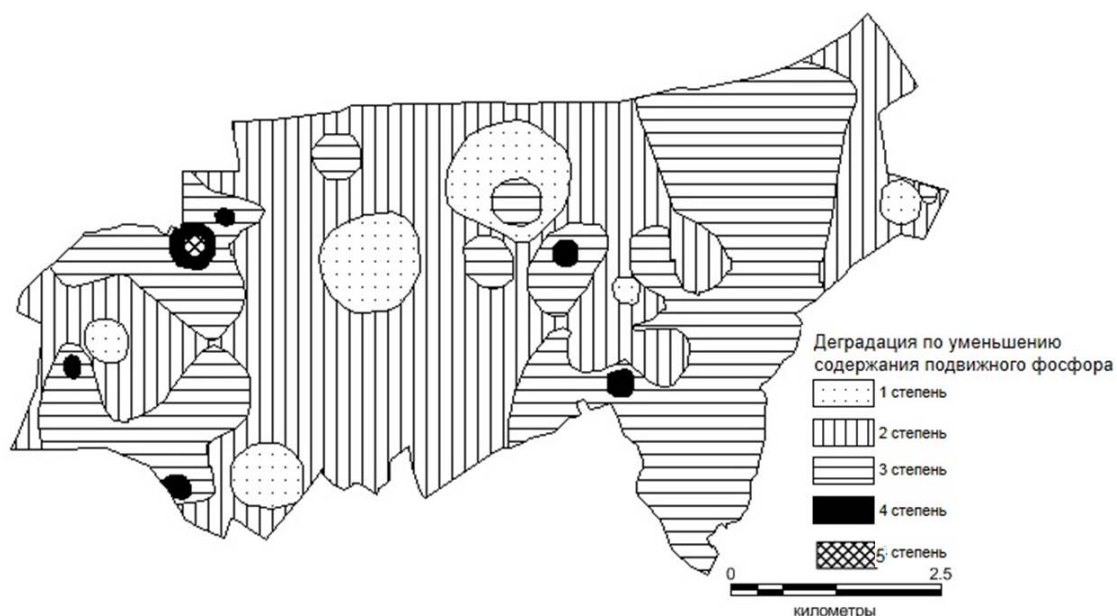


Рисунок 2. Картограмма по степеням деградации подвижного фосфора на территорию совхоза «Тихий Дон», по данным 1992 года.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Получены следующие результаты: сравнение данных 2015 и 1992 годов показало, что содержание гумуса в среднем не изменилось (6.3–6.1 %). Среднее значение рН изменилось с 5.6 до 6.7, что можно оценивать как позитивный фактор. Значение подвижного фосфора увеличилось более чем в 2 раза (с 9.2 до 18.9 мг/100 г), что, вероятно связано, с активным вносом фосфатных удобрений хозяйствующими субъектами (в первую очередь ООО «Опытное поле»). Содержание подвижного калия возросло, но не так сильно с 9.7 до 12.1 мг/100 г.

Сравнение картограмм деградации почв относительно эталона дало следующие результаты.

Почвы, относящиеся к первой степени деградации по содержанию гумуса (6–5.4 %) в 1992 году занимали 94 % площади. К 2015 году их площадь сократилась до 45 % площади. Это произошло, за счёт роста площади почв, характеризующихся второй степенью деградации 53 % (5.4–4.8 %). По значению рН в 1992 году к первой степени деградации относилось 63 % территории (рН более 5.6), %. На долю второй степени деградации (рН 5.6–5.4) пришлось 29 % площади. В 2015 году наблюдается значительное улучшение ситуации: площадь, характеризующаяся 1 степень деградации (рН более 5.6) возросла до 90 % от общей площади совхоза. На долю второй степени деградации (рН 5.58–5.39) лишь 9 % площади. В 1992 году по содержанию подвижного фосфора территория характеризовалась в основном второй и третьей степенями деградации (13.5–2 мг/100 г) и (12–9 мг/100 г). В 2015 году ситуация значительно улучшилась: 93 % площади приходится на первую степень деградации. По содержанию обменного калия основная площадь 69 % относится к третьей степени деградации (12–16 мг/100 г) 69 % и 65 % в 1992 и 2015 годах, соответственно.

Оценен ущерб от деградации в соответствии «Методикой определения размеров ущерба от деградации почв и земель» (1994 г.) [1] По данным 2015 года ущерб составил 1.907.881.473 (в среднем 458.405 руб./га). По данным 1992 года ущерб составил 2.502.777.448 (в среднем 601.340 руб./га).

Таким образом, почти за четверть века состояние почв по перечисленным показателям, за исключение содержания гумуса, не ухудшилось, а напротив, стало лучше. При этом социально-экономическое состояние на данной территории заметно ухудшилось.

В ходе работы возникли вопросы к обоснованности критериев существенного снижения плодородия, содержащихся в постановлении правительства № 612. [4]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно с уверенностью говорить о том, что за исследуемый временной промежуток не произошло ухудшения состояния почв, по исследуемым показателям. Ни по одному из критериев, содержащихся в Постановлении Правительства № 612, существенного ухудшения состояния не произошло. Требуются мероприятия по улучшению перечисленных свойств на отдельных участках совхоза, составление плана рационального землеустройства и севооборотов для хозяйств.

При этом сумма рассчитанного ущерба на гектар получилось весьма значительной. Это может быть объяснено с двух позиций. С одной стороны, исследуемая почва сильно отличается от эталона (вполне возможно, что показатели в эталоне завышены), с другой, при расчёте ущерба могли использоваться высокие значения коэффициентов.

Результаты работы направлены в администрацию муниципального образования Куркинский район и будут использоваться при разработке нового генерального плана развития района.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Методика определения размеров ущерба от деградации почв и земель* 1994 г.// СПС КонсультантПлюс.
2. *Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель*, утв. Роскомземом 28.12.1994 // СПС КонсультантПлюс.
3. *Постановление Правительства Российской Федерации от 22.07.2011 г. № 612 «Об утверждении критериев существенного снижения плодородия земель сельскохозяйственного назначения»* // СПС КонсультантПлюс.
4. *S. Ogorodnikov. Legal mechanisms seizure of agriculture land //International Soil Science Congress Article Book, Sochi, 2015, p. 314–315).*

Работа рекомендована д.б.н., проф., зав. каф. «Земельных ресурсов и оценки почв» МГУ имени М.В. Ломоносова А.С. Яковлевым.

УДК 630*114.351

ХАРАКТЕРИСТИКА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОДСТИЛОК И ПОЧВ ЛЕСОВ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Д.А. Полосухина, А.С. Прокушкин

Сибирский Федеральный Университет, Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН,
г. Красноярск

Исследован изотопный состав органического вещества подстилок и почв, собранных в древостоях наиболее характерных для среднетаёжной подзоны Средней Сибири. Были определены запасы органического углерода и азота. Выявлены закономерности распределения С и N в почвах и подстилках.

ВВЕДЕНИЕ

Важную роль в регулировании баланса атмосферы играют бореальные леса. Таежные экосистемы северных регионов являются активным резервуаром органического вещества, что весьма важно в свете проблемы глобального потепления климата. Анализ изотопного состава азота и углерода позволяет исследовать механизм процессов почвообразования, оценить роль растительности и микроорганизмов в процессе гумификации, а так же проследить транспорт и трансформацию углерода и азота внутри системы и использовать их в качестве интегральных показателей интенсивности многих почвенных процессов (Robinson, 2001, Hobbie and Ouimette, 2009).

Биогеохимические процессы миграции и трансформации органического вещества растительного опада сопровождаются изменением соотношения стабильных изотопов С и N. Поэтому естественные вариации изотопного состава этих биогенных элементов можно использовать в качестве метки, позволяющей проследить транспорт органического вещества (потoki углерода и азота через трофические связи и вертикальную миграцию гуминовых веществ). Не менее важен и другой аспект применения изотопного анализа: степень изменения изотопного состава элементов можно использовать для оценки направления и интенсивности экологических процессов, связанных с фракционированием изотопов (Robinson, 2001; Fry, 2006).

Описанные выше закономерности носят универсальный характер и многократно подтверждены лабораторными экспериментами и полевыми наблюдениями. Однако в реальных условиях анализ «изотопной структуры» экосистемы затрудняется наличием значительной вариации изотопного состава почвы. Целью данной работы являлось изучение особенностей формирования изотопного состава подстилок и почв разных типов леса средней тайги Средней Сибири, а также определение запасов органического углерода и азота.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в южной части Туруханского района Красноярского края в древостоях наиболее характерных для среднетаежной подзоны Средней Сибири. Сбор материала осуществлялся в сосняках беломошном и зеленомошном, близ мачты ЗОТТО, расположенной в районе поселка Зотино (60° с.ш., 89° в.д.). Район исследований находится в пределах Кеть-Сымской низменности на левобережье реки Енисей. На правобережье реки Енисей сбор материала проводился в тёмнохвойном елово-пихтовом насаждении, на возвышенном уступе Центрально-Сибирского плоскогорья. Типичными почвами данного региона являются подзолы.

Исследования проводились по следующей методике. Образцы травяно-кустарничкового, мохово-лишайникового яруса и подстилки отбирались в каждом типе леса методом укусов в не менее чем 10 повторностях ($S = 50 \text{ см}^2$) на трансекте длиной 10 м. В лабораторных условиях образцы доводились до абсолютно сухого состояния. Образцы горизонтов минеральной почвы отбирались из почвенных разрезов методом режущего кольца ($V = 100 \text{ см}^3$). Далее образцы почвы просеивались через сито (2 мм) и доводились до абсолютно сухого состояния. Все отобранные образцы перед элементным анализом гомогенизировались путём измельчения в вибрационной мельнице MM 200. Содержание общего углерода и азота, а также их изотопного состава ($\delta^{13}\text{C}$ и $\delta^{15}\text{N}$) определялись на элементном анализаторе (Vario EL cube, Elementar, Германия) подключенном к изотопному масс-спектрометру (IsoPrime100, Elementar, Германия).

Изотопный состав (отношение $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ и $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) выражается в тысячных долях отклонения от международного эталона, δ (‰):

$$\delta^n E = (R_{\text{проба}}/R_{\text{эталон}} - 1) \cdot 1000,$$

где $^n E$ – содержание изотопа (n)элемента E (С или N), а $R_{\text{проба}}$ и $R_{\text{эталон}}$ – молярное отношение изотопов в анализируемой пробе и эталоне соответственно. Для азота эталоном служит N_2 атмосферного воздуха, для углерода – «венский» эквивалент белемнита PeeDee формации (VPDB).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Согласно полученным данным общие запасы органического вещества (ОВ) в подстилке в тёмнохвойном типе леса варьировали от 609 до 4697 г/м², в сосняке лишайниковом от 448 до 4151 г/м², в сосняке зеленомошном от 1220 до 2966 г/м². Запасы Сорг варьировали для сосняков лишайниковых от 1042.12 до 179.18 г/м², для сосняков зеленомошных от 1070.24 до 688.07 и для елово-пихтового насаждения от 1466.3 г/м² до 326 г/м² (рис. 1). Наибольшие концентрации Сорг выявлены в подстилках сосняков зеленомошных, а наименьшие в сосняках лишайниковых (48 и 25 %, соответственно). В подстилках тёмнохвой-

ного леса концентрация Сорг составила 37.5 %. Таким образом, углерода на 1 м² содержится: в сосняках лишайниковых от 112 г/м² до 1037.75 г/м², в сосняках зеленомошных от 585.6 г/м² до 1423.68 г/м² и в елово-пихтовом лесу от 228.375 г/м² до 1761.375 г/м².

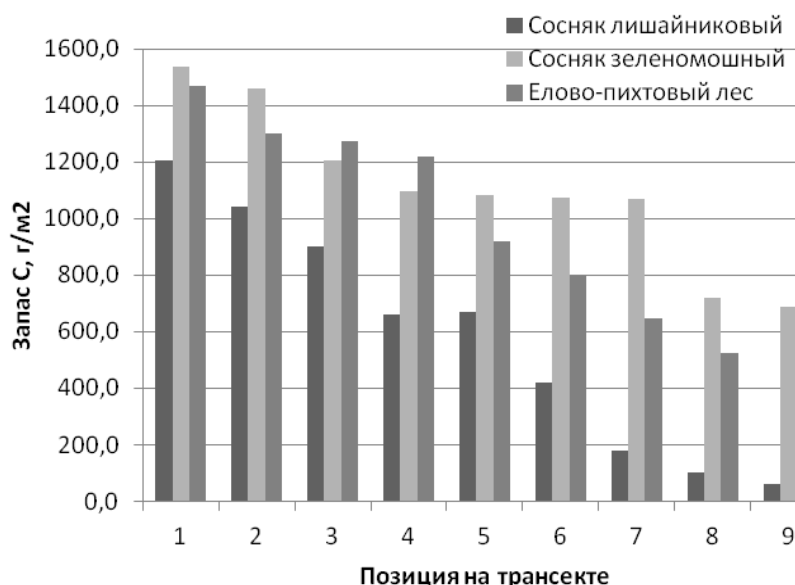


Рисунок 1. Запасы Сорг в подстилках древостоев наиболее характерных для среднетаежной подзоны Средней Сибири, а именно: в сосняке лишайниковом, в сосняке зеленомошном и в елово-пихтовом лесу.

Запасы углерода в почвах сосняков лишайниковых снижаются с глубиной от 775 г/м² в горизонте Ah до 68 г/м² в горизонте C1, но повышаются до 1530 г/м² в водупорном горизонте C2. Запасы углерода в тёмнохвойном лесу закономерно снижаются с глубиной от 858 г/м² в горизонте А до 20 г/м² в горизонте В (рис. 2). Как можно увидеть на рисунке основная доля углерода почв в сосняке лишайниковом аккумулируется в горизонте подстилки. Такое распределение элементов в профиле, обусловлено особенностями аккумуляции ОВ.

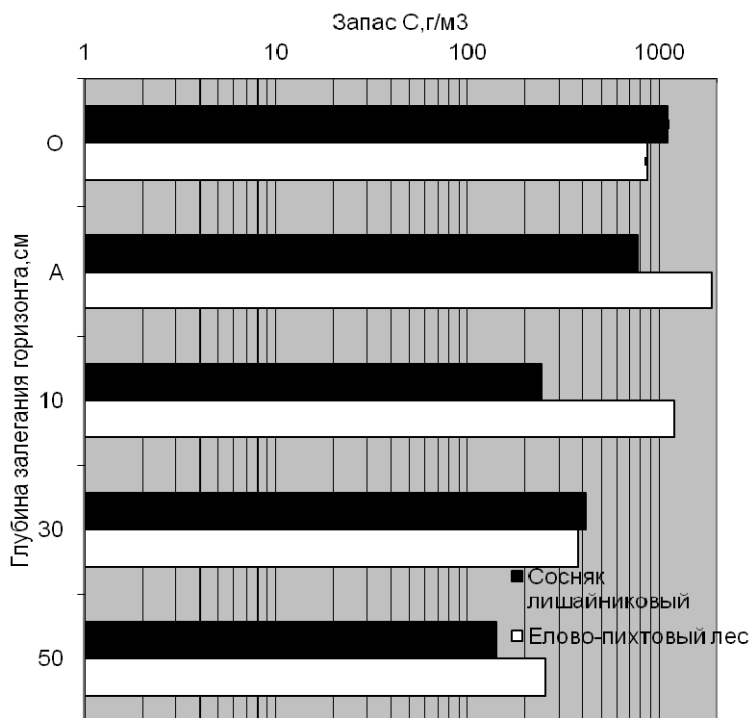


Рисунок 2. Запасы углерода в почвенных профилях сосняка лишайникового и елово-пихтового леса до глубины 50 см.

Отношение углерода к азоту (C/N) является одним из ключевых показателей качества органического вещества (ОВ), поступающего в почву, и используется для моделирования процессов минерализации и трансформации ОВ. В почвенном профиле сосняка лишайникового содержание С и N закономерно снижается с глубиной: для $C_{\text{орг}}$ от 1.00 % в горизонте Ah до 0.03 в горизонте C1, но повышалось до 0.13 % в глинистом горизонте C2. Горизонт C2, в силу своей адсорбционной способности аккумулирует ОВ. Содержание N колеблется в меньших пределах – от 0.02 до 0.01 %. Отношение C/N сужается с глубиной с 45 до 6.

Содержание тяжелого изотопа С ($\delta^{13}\text{C}$) в подстилках сосняков лишайниковых составило от -29.37‰ до -28.37‰ , для сосняков зеленомошных от -29.55‰ до -28.95‰ , а для темнохвойного леса варьировала от -30.09‰ до -28.19‰ . $\delta^{15}\text{N}$ в органических горизонтах почв достоверно не отличается среди разных типов леса и составляет -0.51‰ до -0.53‰ .

Содержание тяжелого изотопа $\delta^{13}\text{C}$ увеличивается с глубиной: от -26.54‰ в горизонте Ah до -22.84 в горизонте C2. Причиной обогащения $\delta^{13}\text{C}$ с глубиной может быть увеличение микробной биомассы и степенью трансформации почвенного С. Содержание δ тяжелого азота ($\delta^{15}\text{N}$) по профилю неравномерно: увеличение содержания с 4.87‰ в горизонте Ah до 8.61‰ в горизонте B2, и далее снижение до 5.03 в горизонте C2. Содержание $\delta^{15}\text{N}$ также увеличивается от подстилки и верхних органогенных горизонтов почвы к нижележащим минеральным горизонтам. Максимальные значения $\delta^{15}\text{N}$ обычно характерны для 10–30 см слоя, а в нижележащих горизонтах наблюдается стабилизация содержания тяжелого изотопа или же некоторое его уменьшение. Такая закономерность показана для разных типов почв, формирующихся в разнообразных климатических условиях (Макаров, 2009);

В почвенном профиле елово-пихтового типа леса содержание С снижается с глубиной от 4.6 % в А горизонте до 0.04 в В горизонте. Содержание тяжелого изотопа $\delta^{13}\text{C}$ практически не изменяется и варьирует от -28.15‰ в горизонте А до -27.26‰ в горизонте В (рис. 3). Феномен накопления $\delta^{13}\text{C}$ вниз по почвенному профилю интенсивно исследовался, поскольку изотопный состав органического вещества почвы может служить интегральным показателем важнейших процессов экосистемного уровня (Ehleringer et al., 2001). Тем не менее, его причины остаются не совсем ясными. По-видимому, действует сразу несколько механизмов поступление обедненных $\delta^{13}\text{C}$ растительных остатков на поверхность почвы, прогрессивное увеличение доли микробного углерода в общем почвенном углероде (Ehleringer et al., 2000; Wynn, 2007).

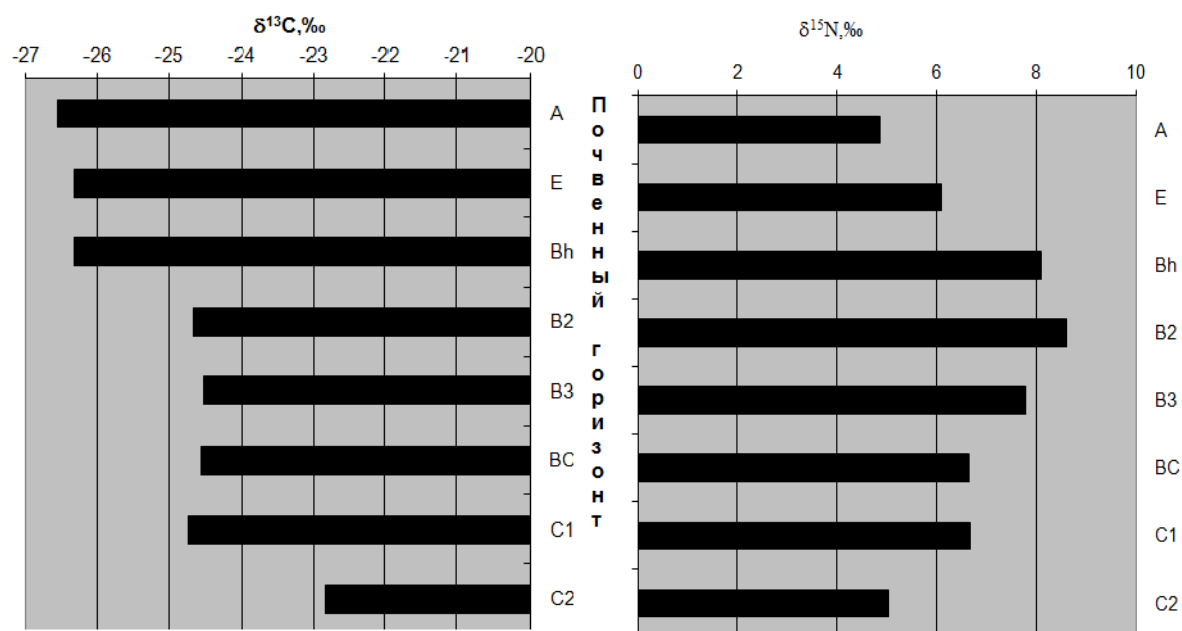


Рисунок 3. Содержание $\delta^{13}\text{C}$ [‰] и $\delta^{15}\text{N}$ [‰] в почвенном профиле сосняка лишайникового.

Степень накопления тяжелого углерода вниз по почвенному профилю может контролироваться двумя противоположно направленными процессами. С одной стороны, в ходе разложения растительных тканей происходит облегчение конечного субстрата. С другой стороны, более подвижный легкий изотоп углерода в большей степени используется для дыхания микроорганизмов также используется корнями растительности, далее происходит обогащение тяжелым изотопом углерода конечного субстрата и почвенных организмов (Моргун и др., 2008).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе полученных результатов можно сделать вывод, что основная доля углерода почв в сосняках Сымско-Дубченского лесорастительного округа аккумулируется в горизонте подстилки.

Характер распределения изотопного состава углерода и азота в исследованных почвах указывает на то, что интенсивность биологических процессов, связанных с фракционированием изотопов, существенно выше в верхней части почвенных профилей (до глубины приблизительно 20 см) чем в нижележащих горизонтах, несмотря на то, что общее (валовое) содержание $C_{орг}$ и N изменяется в почвенных профилях довольно плавно.

Различия содержания элементов и их изотопного состава в подстилках и почвах обусловлены степенью развития живого напочвенного покрова и скоростью минерализации опада.

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров М.И. Изотопный состав азота в почвах и растениях: использование в экологических исследованиях. // Почвоведение. 2009. № 12. С.1432–1445.
2. Моргун Е.Г., Ковда И.В., Рысков Я.Г., Олейник С.А. Возможности и проблемы использования методов геохимии стабильных изотопов углерода в почвенных исследованиях. // Почвоведение. 2008. № 3. С.299–310.
3. Тиунов А.В. Стабильные изотопы углерода и азота в почвенно-экологических исследованиях. // Известия РАН, Сер. Биол. 2007. № 4: 475–489.
4. Brooks J.R., Flanagan L.B., Buchmann N., Ehleringer J.R. Carbon isotope composition of boreal plants: functional grouping of life forms // Ecology, 1997. № 110. Pp.301–311.
5. Robinson D. $\delta^{15}N$ as an integrator of the nitrogen cycle // Trends Ecol. Evol., 2001. V. 16. Pp. 153–162.
6. Hobbie E.A., Ouimette A.P. Controls of Nitrogen Isotope Patterns in Soil Profiles // Biogeochemistry, 2009. Vol. 95. Pp. 355–371
7. Fry B. Stable isotope ecology // Springer, 2006, P. 308.
8. Ehleringer J.R., Buchmann N., Flanagan L.B. Carbon isotope ratios in belowground carbon cycle processes. // Ecol. Appl., 2000. № 10. Pp. 412–422.
9. Ehleringer J.R., Cerling T.E., Flanagan L.B. Global changes and the linkages between physiological ecology and ecosystem ecology. // Ecology: achievement and challenge. Oxford: Blackwell, 2001. Pp. 115–138.
10. Wynn J.G. Carbon isotope fractionation during decomposition of organic matter in soils and paleosols: Implications for paleoecological interpretations of paleosols. // Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol, 2007. № 251. Pp.437–448.

Работа рекомендована к.б.н., заведующим лабораторией биогеохимических циклов в лесных экосистемах ИЛ СО РАН А.С. Прокушкиным.

СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЦЕЗИЯ-137 В ПОДЗОЛАХ ЗОНЫ ВЛИЯНИЯ КОЛЬСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

М.Б. Попова

МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, marbpop@gmail.com

Было проведено исследование содержания и распределения ^{137}Cs в подзолах иллювиально-железистых и иллювиально-гумусово-железистых на 12 пробных площадках на разных расстояниях от Кольской атомной электростанции. Показано, что плотность загрязнения ^{137}Cs исследованных почв не превышает контрольного уровня 37000 Бк/м^2 , что позволяет отнести исследованные участки к территориям с относительно благоприятной ситуацией. Влияние КАЭС на плотность загрязнения корнеобитаемого слоя этих почв не выявлено.

ВВЕДЕНИЕ

Кольская атомная электростанция является объектом потенциальной радиационной опасности и для проживающего в городе Полярные Зори населения, и для окружающей природной среды, как в районе размещения станции, так и в регионе в целом.

Кольская атомная электростанция расположена за Полярным кругом на берегу озера Имандра. Район расположения станции характеризуется своеобразными природными условиями: переходом от тундры и лесотундры к крупным лесным массивам и характерным рельефом с выположенными возвышенностями и моренными холмами с глубокими расчленениями. Проводившиеся ранее исследования показали, что в пробах растительности, отобранных вблизи КАЭС, обнаружены станционные радионуклиды, в том числе и ^{137}Cs . Это свидетельствует о возможном влиянии атомной станции на окружающие ее экосистемы [1].

Кроме того, стоит учитывать, что на территории Кольского полуострова помимо КАЭС имеются и другие потенциально радиационно опасные объекты. Исходя из наличия источников чрезвычайных ситуаций и расчётных показателей возможных потерь населения, на территории Мурманской области подвергаются радиационной опасности 300 тыс. жителей (26 % населения) [4].

Изучение содержания ^{137}Cs имеет большое практическое значение, т.к. этот радионуклид – один из главных компонентов радиоактивного загрязнения биосферы. Он содержится в радиоактивных выпадениях, отходах, сбросах заводов, перерабатывающих отходы атомных электростанций, значительное его количество попало в биосферу при аварии на Чернобыльской АЭС и испытаниях ядерного оружия. ^{137}Cs интенсивно сорбируется почвой, содержится в растениях и организме животных и человека. Коэффициент его накопления наиболее высок у арктических наземных растений, особенно лишайников, произрастающих в частности на территории Кольского полуострова и вблизи КАЭС.

Лаборатория охраны окружающей среду КАЭС осуществляет экологический мониторинг состояния объектов окружающей среды: природных вод, растительности, воздуха, но не проводит детального изучения поведения радионуклидов в почвах [2].

Поэтому изучение содержания и распределения ^{137}Cs в почвах зоны влияния Кольской атомной электростанции представляется актуальным.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования явились почвы в зоне влияния КАЭС. В хорошо и средне дренированных условиях они были представлены подзолами иллювиально-гумусово-железистыми и иллювиально-железистыми.

Эти почвы характеризуются слабо- и среднеразложившейся лесной подстилкой (ее мощность колеблется от 2 до 7 см), осветленным подзолистым горизонтом и иллювиаль-

ным горизонтом, постепенно переходящим к супесчано-песчаной морене. Сильнокислая и кислая реакция среды, малое содержание гумуса и низкая емкость поглощения являются типичными для них.

Изучение содержания ^{137}Cs проводилось на 12 пробных площадках:

- 2 площадки были заложены в санитарно-защитной зоне самой станции (С1) и в санитарно-защитной зоне хранилища сухих слабоактивных отходов (С2).

- 5 площадок было заложено в зоне наблюдения на расстоянии 10 км от станции (1-5).

- 4 площадки – на границе зоны наблюдения на расстоянии 15 км (I-IV).

- 1 фоновая площадка на расстоянии 30 км от станции (Ф).

На каждой площадке проводилось изучение почв и отбор почвенных образцов по генетическим горизонтам.

Также была измерена мощность эквивалентной дозы гамма-излучения (МЭДГИ), которая на всех площадках составила от 0.08 до 0.09 мкЗв/ч, что существенно ниже контрольного уровня, составляющего 0.3 мкЗв/ч.

Почвы площадок были представлены подзолами иллювиально-железистыми и иллювиально-гумусово-железистыми, мелкоподзолистыми карликовыми, песчаными на морене.

Всего было отобрано 75 почвенных образцов. Удельные активности цезия в них были определены на спектрометрическом комплексе «Мультирад» с гамма-детектором NaI(Tl) 63х63 с программным обеспечением «Прогресс».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Закономерности вертикального распределения ^{137}Cs сходны для всех исследованных профилей почв. Они характеризуются аккумулятивным типом строения с четко выраженным регрессивно-аккумулятивным типом распределения ^{137}Cs в профиле (Рис. 1).

Максимальные значения удельных активностей ^{137}Cs наблюдаются в подстилке и составляют 43.0–103.5 Бк/кг. В переходном горизонте АО удельная активность снижается в 2–6 раз и составляет 13.6–68.0 Бк/кг. В нижележащих горизонтах удельная активность ^{137}Cs многократно снижается. В элювиальном горизонте Е она составляет 1.2–7.9 Бк/кг; в V_{1f} – 1.0–7.4 Бк/кг. В горизонтах V_{2f} , ВС и С активность ^{137}Cs ниже предела детектирования. В некоторых профилях наблюдается элювиально-иллювиальная дифференциация по ^{137}Cs : его удельная активность в горизонте V_{1f} выше, чем в элювиальном горизонте.

Плотность загрязнения (запас) ^{137}Cs корнеобитаемой толщи (0–30 см) исследованных почв составляет 527–2443 Бк/м² (табл. 1), что существенно ниже установленного контрольного уровня в 1 Ки/км² (37000 Бк/м²) и позволяет отнести исследованные участки к территориям с относительно благоприятной ситуацией [3].

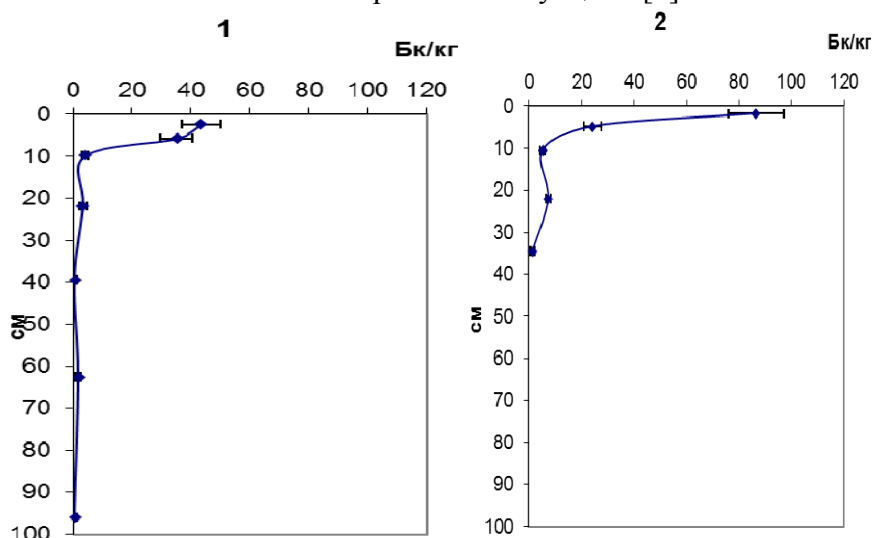


Рисунок 1. Распределение активности ^{137}Cs в исследованных почвах (площадки 1 и 2).

При этом плотность загрязнения в санитарно-защитной зоне станции была значимо ниже, чем средняя плотность загрязнения в зоне наблюдения. А плотности загрязнения в СЗЗ хранилища и на фоновой площадке значимо не отличались от средней плотности загрязнения в зоне наблюдения (рис. 2).

Таблица 1. Плотность загрязнения ^{137}Cs , мощность и запас подстилки в исследованных почвах.

Номер площадки	Плотность загрязнения ^{137}Cs корнеобитаемой толщи (0–30 см), Бк/м ²	Плотность загрязнения ^{137}Cs подстилки, Бк/м ²	Мощность подстилки, см	Запас подстилки, кг/м ²
С1	636±636	403±34	10	6.83
С2	1036±1036	252±36	11	6.67
1	1286±303	180±20	6.5	4.61
2	2443±289	267±25	6	5.45
3	806±266	332±23	2	3.98
4	1029±220	175±23	8.5	3.01
5	964±216	127±12	4	2.27
I	527±238	117±9	4	2.14
II	1858±242	327±26	9	4.29
III	917±265	206±20	5	5.20
IV	1448±242	124±14	4	3.64
Ф	1028±1028	112±9	5	1.68

Плотность загрязнения органогенной толщи составила 112–403 Бк/м², при этом в санитарно-защитной зоне станции она была значимо выше, а на фоновой площадке значимо ниже средней плотности загрязнения ^{137}Cs органогенной толщи в зоне наблюдения (рис. 2).

Повышенная плотность загрязнения органогенных горизонтов почвы в санитарно-защитной зоне станции может быть обусловлена не только влиянием станции, но и особенностями самой почвы. Маломощная почва подстилалась на глубине 27 см каменной плитой, при этом мощность органогенной толщи составила 10 см, что значимо больше, чем средняя мощность подстилки в почвах зоны наблюдения.

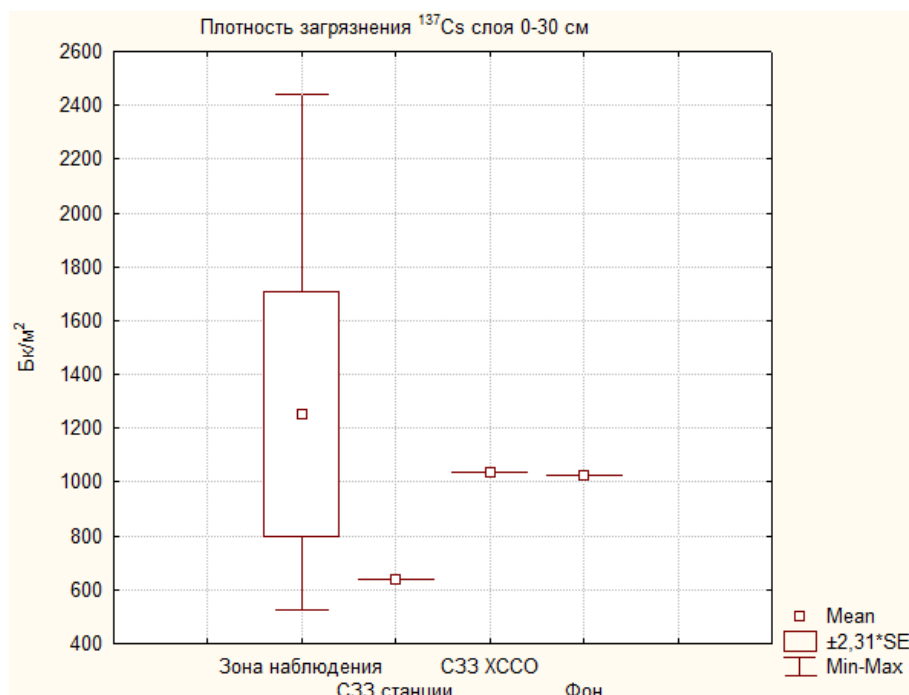


Рисунок 2. Статистические характеристики пространственного варьирования плотности загрязнения ^{137}Cs корнеобитаемого слоя почв (0–30 см) в зоне наблюдения, санитарно-защитной зоне (СЗЗ) станции, СЗЗ хранилища сухих слабоактивных отходов (ХССО) и на фоновой площадке.

Вместе с тем, плотности загрязнения ^{137}Cs почв в зоне наблюдения Кольской атомной электростанции довольно сильно отличаются в зависимости от пространственного расположения контрольных площадок.

Площадки 2 и II северо-восточного румба характеризуются максимальными значениями плотности загрязнения корнеобитаемой толщи из всей выборки (2443 ± 289 и 1858 ± 242 Бк/м² для ближней и дальней площадок соответственно). При сопоставлении местоположения этих площадок с розой ветров (рис. 3) становится ясно, что он расположен поперек господствующему направлению ветров и, следовательно, повторяемость ветров в этом направлении наиболее низкая.

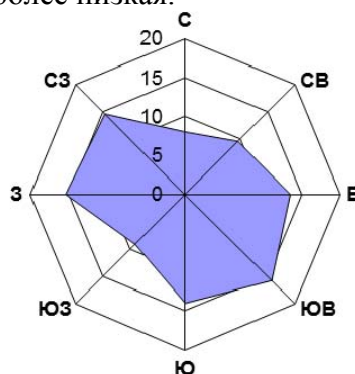


Рисунок 3. Роза ветров Роза ветров в районе КАЭС за 2004 г.
(по данным метеостанции АМС-1 АСКРО КАЭС).

Площадки 3 и III юго-восточного румба характеризуются значительно меньшей плотностью загрязнения, она составляет 806 ± 266 и 917 ± 265 Бк/м² соответственно. Они расположены вдоль господствующего направления ветров и, возможно ^{137}Cs , в этом направлении разносится атмосферными течениями на большие расстояния и не накапливается в непосредственной близости к источнику выброса.

Площадки 4и IV южного румба характеризуются плотностями загрязнения 1029 ± 220 и 1448 ± 242 Бк/м². Согласно розе ветров, этот румб несколько отклоняется от господствующего направления, но повторяемость ветров в направлении этих площадок также достаточно высокая.

Плотности загрязнения площадок 1 и I северо-западного румба составляют 1269 ± 303 и 527 ± 20 Бк/м². Румб совпадает с основным направлением розы ветров.

Только двух румбах плотность загрязнения ближней площадки больше, чем дальней. Возможно, это связано с низкой повторяемостью ветров на них, так как на румбах с частой его повторяемостью показатели плотности загрязнения ниже, причем на ближних к станции площадках эти величины меньше, чем на дальних.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Распределение ^{137}Cs в профилях исследованных почв характеризуется регрессивно-аккумулятивным типом. Максимальная удельная активность ^{137}Cs наблюдается в органо-генных горизонтах при резком падении ее с глубиной.

Плотность загрязнения корнеобитаемой толщи всех исследованных почв существенно меньше контрольного уровня 37000 Бк/м², что позволяет отнести исследованные участки к территориям с относительно благоприятной ситуацией. Влияние КАЭС на плотность загрязнения ^{137}Cs корнеобитаемой толщи (0–30 см) не выявлено.

Относительно высокая плотность загрязнения органогенных горизонтов в санитарно-защитной зоне станции обусловлена, вероятно, не только влиянием станции, но и особенностями самой почвы.

Нельзя исключить влияние метеорологических условий, в частности, направлений и повторяемости ветров, на плотности загрязнения на различных пробных площадках.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горячкин С.В., Егоров Н.Ю. К оценке состояния регионов действующей и проектируемой Кольской АЭС. // Сб. статей. Экология регионов атомных станций. Вып.4. М.: АЭП, 1995, 270–310 с.
2. Отчет об экологической безопасности за 2013 год. Росатом. [Электронный ресурс]: URL: http://www.kolanpp.rosenergoatom.ru/about/safety/ekol_otcheti/ (дата обращения 23.03.2015).
3. Критерии оценки экологической обстановки территорий для выявления зон чрезвычайной экологической ситуации и зон экологического бедствия. Методика министерства природных ресурсов РФ (утв. 30 ноября 1992).
4. Тихонов М.Н., Рылов М.И. Ядерно-радиационное наследие на Северо-Западе России: проблемы, пути решения, роль общественности // Экологическая экспертиза: Обзорная информация, 2008, № 7

Работа рекомендована к.б.н., старшим преподавателем кафедры радиоэкологии и экотоксикологии Д.В. Манаховым.

УДК 631.48:631.437.8:551.89

ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ МАГНИТНОГО СИГНАЛА В КАШТАНОВЫХ ПОЧВАХ СОПРЯЖЕННОГО ЛАНДШАФТА

А.В. Потапова, И.М. Вагапов

Пущинский государственный естественно-научный институт,

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино

asay-potapova_chehov@rambler.ru, vagapovim@mail.ru

Целью работы было выявить закономерности распределения источников магнитного сигнала в почвах геохимически сопряженного ландшафта. Показано, что фракция частиц размером <2 мкм является основным источником магнитного сигнала, однако в большинстве случаев происхождение магнитного сигнала обусловлено литогенными оксидами железа, составляющими фракцию >2 мкм. Кроме того, на величину магнитной восприимчивости почв оказывают влияние магнитные частицы различного происхождения. Субмикроморфология магнитной фракции показывает, что в пределах изучаемой катены выделяется несколько генетических типов магнитных частиц, что может быть использовано как при изучении процессов геохимической миграции, так и в целях палеоклиматических реконструкций.

ВВЕДЕНИЕ

Пространственное и профильное распределение магнитного сигнала в почвах с одной стороны определяется геохимическими особенностями данной местности, с другой – отражает процессы почвообразования, специфическое свойство которого – новообразование аутигенных кристаллов магнетита [1, 2], относящегося к числу наиболее устойчивых минералов [3]. В связи с этим, целью работы было выявить закономерности распределения источников магнитного сигнала в светло-каштановых почвах геохимически сопряженного ландшафта. Для достижения поставленной цели поставлены следующие задачи:

- провести гранулометрическое фракционирование почв и установить закономерности пространственного распределения магнитного сигнала;
- выделить магнитную фракцию почв, изучить ее субмикроморфологические особенности, установить генетические типы и определить вклад в магнитную восприимчивость валовых образцов почв.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ – проект № 14-04-31725 мол_а.
© А.В. Потапова, И.М. Вагапов, 2017

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования расположены в Донской провинции тёмно-каштановых и каштановых почв на территории Ростовской области (Ремонтненский район). В геоморфологическом отношении район исследования находится в пределах Сальско-Маньчской гряды и Ергенинской возвышенности со среднегодовым количеством осадков около 350 мм. Растительный покров представлен полынно-злаковой растительностью. Сопряженный ландшафт представлял собой балку, протяженностью 154 м, включающую два водораздела (т. 1, 8), склоны с крутизной 10° (т. 2, 3, 4, 7), пересыхающее русло (т. 5) и пойму (т. 6).

Разделение почв на гранулометрические фракции проводили методом отмучивания в дистиллированной воде с последующим центрифугированием. Удельная магнитная восприимчивость определялась с помощью измерителя KappaBridge KLY-2 (с калибровкой по соли Мора). Извлечение магнитной фракции из почв проводили с использованием постоянных редкоземельных супермагнитов диаметром 8 мм из сплава неодим-железо-бор (NdFeB). Субмикроморфологические исследования магнитной фракции проводили на сканирующем электронном микроскопе Tescan VEGA 3.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В исследованных почвах фракция частиц размером <2 мкм является основным носителем магнитного сигнала, ее магнитная восприимчивость (МВ) в 2–8 раз превышает МВ исходных образцов (рис. 1а). Вклад ила в общую восприимчивость почв составляет 23–42 % и в суглинистых почвах увеличивается вниз по склону, тогда как в супесчаных – уменьшается (рис. 1в). Интересно рассмотреть почву в т. 6, расположенную на дне балки ($МВ = 44.0 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) и в т. 7, расположенную выше по рельефу ($МВ = 10.3 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$). Так, т. 6 обладает значениями МВ в 4.3 раза большими, чем т. 7, содержит в 6.5 раз больше илестых и в 13.7 раз больше магнитных частиц, однако вклады данных частиц в т. 6 в 1.1–1.7 раз меньше, чем в т. 7. Таким образом, на величину МВ почвы в т. 6 решающее влияние оказывают фракции >2 мкм.

Значения МВ выделенной магнитной фракции (МФ) варьируют от 2977 до $11800 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$ и вниз по склону сначала увеличиваются, однако в нижней части балки достигают своих минимумов (рис. 1б). Такое же распределение по катене имеют величины вкладов МФ в МВ почв (рис. 1г). При этом количество МФ находится в обратной зависимости от её МВ ($r = -0.96$). Интересно отметить, что МВ суглинистых почв обеспечивается большим количеством низкомагнитной фракции, тогда как МВ супесчаных почв обеспечивается минимальным количеством сильномагнитной фракции. Для характеристики качественного состава магнитной фракции была изучена её субмикроморфология. В почвах водоразделов наблюдаются многочисленные сферические магнитные частицы с гладкими и шероховатыми поверхностями, покрытые глинистыми чехлами. Магнитная фракция, выделенная из почв суглинистого грансостава (т. 1, 3, 5), характеризуется наличием октаэдрических частиц магнетита с четко выраженными шероховатыми гранями, встречаются тетраэдрические частицы сфалерита. Образцы почв супесчаного грансостава (т. 7, 8) характеризуются наличием пластинчатых, окатанных и анизометрических частиц с невыраженными гранями, шероховатыми, упорядоченно-зернистыми и колломорфными поверхностями.

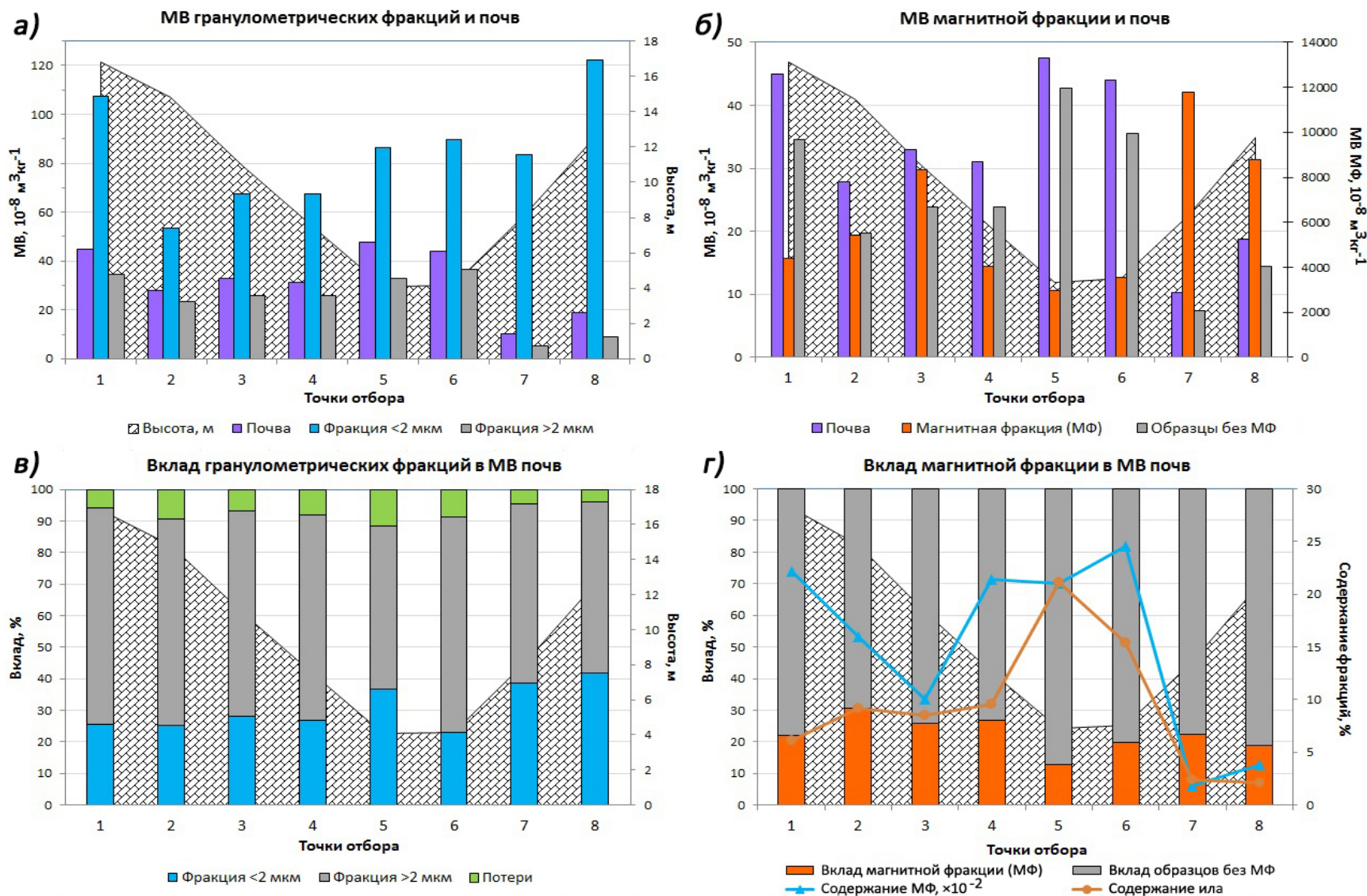


Рисунок 1. Петромагнитные характеристики почв, сформированных на разных элементах рельефа.

а – MB валовых образцов почв, фракций <2 и >2 мкм; б – MB магнитной фракции и образцов без нее; в – вклад гранулометрических фракций в MB валовых образцов; г – вклад магнитной фракции в MB валовых образцов, количество магнитной и илистой фракций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, фракция частиц размером <2 мкм является основным источником магнитного сигнала, однако в большинстве случаев происхождение магнитного сигнала обусловлено литогенными оксидами железа, составляющими фракцию >2 мкм. Кроме того, на величину МВ почв оказывают влияние магнитные частицы различного происхождения, их количество ($r=0.88$). Субмикроморфология магнитной фракции показывает, что в пределах изучаемой катены выделяется несколько генетических типов магнитных частиц, что может быть использовано как при изучении процессов геохимической миграции, так и в целях палеоклиматических реконструкций. Характер распределения магнитных частиц по катене и их МВ отражают процессы латеральной миграции, в результате которых вклад магнитной фракции в МВ почв постепенно увеличивается вниз по склону, однако в нижней части ландшафта под влиянием процессов периодического переувлажнения снова уменьшается. Сходство между распределением количества МФ и ила в почвах супесчаного гранулометрического состава говорит том, что большая часть МФ здесь представлена субмикронным магнетитом, тогда как в почвах суглинистого состава в МФ присутствуют частицы другого происхождения. Таким образом, различия между почвами разных элементов рельефа определяются интенсивностью процессов выщелачивания, карбонатизации, соле- и гумусонакопления, изменяющих магнетизм соединений железа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев А.О. Алексеева Т.В. Оксидогенез железа в почвах степной зоны. М.: ГЕОС, 2012. 204 с.
2. Вадюнина А.Ф., Бабанин В.Ф., Ковтун В.Я. Магнитная восприимчивость фракций механических элементов некоторых почв // Почвоведение. 1974. № 1. С. 116–122.
3. Глазовская М.А. Общее почвоведение и география почв: учеб. для студ.-геогр. вузов / М.А. Глазовская. – М.: Высш. шк., 1981. – 400 с.

УДК 631.4

СВОЙСТВА И ГРУППОВОЙ СОСТАВ ЖЕЛЕЗА ЭМБРИОЗЕМОВ ОДРАБАШСКОГО ЖЕЛЕЗОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

И.А. Пронина, В.П. Середина, В.Г. Двуреченский

Национальный исследовательский Томский государственный университет

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН

В данной работе представлены основные параметры техногенных почв (эмбриоземов) Одрабашского железорудного месторождения Кемеровской области. Результаты исследования свойств и фракционного состава железа позволяют проследить направление почвообразовательного процесса антропогенно измененных почв и прогнозировать их дальнейшее развитие. Полученные данные могут быть использованы при разработке мер по рекультивации нарушенных территорий.

ВВЕДЕНИЕ

Высокие темпы научно-технического прогресса в угледобывающей и рудной промышленности Кемеровской области приводят к значительным нарушениям земель сельскохозяйственного и лесного использования. В результате добычи железных руд и угля подземным и открытым способами на поверхность почвы выносятся глубинные неплодородные породы (отвалы породы), вследствие чего на значительных территориях происходит полное уничтожение естественных экосистем [1]. В связи с тем, что данное исследование было проведено на территории железорудного месторождения, наряду с изу-

чением морфологических особенностей и основных физико-химических свойств техногенных почв (эмбриоземов), особое внимание было уделено железу, как элементу, являющемуся диагностическим показателем направленности почвообразовательных процессов. Поэтому целью работы явилось изучение условий формирования, свойств и различных форм железа в техногенных почвах Одрабашского железорудного массива. Для осуществления цели были реализованы следующие задачи: изучение экологических особенностей формирования эмбриоземов, их строения и физико-химических свойств; исследование группового состава железа и соотношения его различных фракций в основных типах техногенных почв. Одновременно с исследованием техногенно измененных почв, по сходной схеме изучались свойства фоновой бурой таежной почвы в пределах горно-таежного пояса Горной Шории.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом изучения являются эмбриоземы Одрабашского железорудного месторождения (Кемеровская область, Таштагольский район, пос. Мундыбаш, Горная Шория) и фоновая горная бурая таежная почва. Процесс исследования включает три основных этапа: полевой, камеральный (изучение почв в лабораторных условиях), анализ и интерпретация полученных данных. В полевой период на территории отвалов Одрабашского железорудного месторождения было заложено четыре разреза различных типов эмбриоземов и фоновой горной бурой таежной почвы. Также в полевых условиях произведено сухое фракционирование образцов почв на ситах; выделены следующие фракции: > 10 мм; 10–7 мм; 7–5 мм; 5–3 мм; 3–2 мм; 2–1 мм; < 1 мм. В лабораторных условиях были изучены общие физические и химические свойства эмбриоземов: гранулометрический состав по Н.А. Качинскому. Химические и физико-химические параметры представленных почв (рН водный, емкость катионного обмена, содержание углерода) определялись общепринятыми методами [2]. Определение валового содержания железа проводилось методом разложения почвы сплавлением, группового состава железа – по С.В. Зонну [3]: аморфное железо определялось методом Тамма, несиликатные формы железа – методом Мера-Джексона (в модификации по Коффину), железо, связанное с органическим веществом – методом Баскомба.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В качестве фоновых почв в исследовании представлены бурые горные таежные почвы. Данные по фоновым почвам приведены для сравнения свойств и особенностей группового состава железа почв техногенных ландшафтов с естественными ненарушенными почвами Горной Шории. Исходя из морфологического описания горной бурой таежной почвы, следует отметить, что особенностями почв данного типа являются: слабая дифференциация профиля на горизонты, высокая щебнистость и каменистость профиля, возрастающая, как правило, с глубиной, хорошо развитый дерновый горизонт и лесная подстилка, что подтверждается в работе [4]. Данные почвы развиваются при отсутствии подтока грунтовых или застоя атмосферных вод, при промывном типе водного режима (среднегодовой коэффициент увлажнения превышает 1). Однако в режиме увлажнения имеется и сухой период, в основном в августе–сентябре. Гидроксиды и оксиды железа равномерно прокрашивают весь профиль почвы в бурый цвет. Морфология фоновой почвы является типичной для горных бурых таежных почв и имеет соответствующие особенности: характерный бурый цвет мелкозема, малую мощность (65–70 см) и высокую каменистость профиля, возрастающую с глубиной (до 70 % в нижнем горизонте); хорошо выраженный дерновый горизонт, густо пронизанный корнями травянистой растительности.

Для фоновых почв характерны довольно высокое содержание углерода в верхней части профиля (12.3 %), слабокислая реакция среды (рН 4.6–5.3). Одна из наиболее характерных черт бурых горно-таежных почв – высокая емкость катионного обмена (36.4 мг-экв/100 г почвы в дерновом горизонте), что связано с процессами оглинивания, интенсивно протекающими в данных почвах (табл. 1).

Таблица 1. Свойства горной бурой таежной почвы.

Горизонт, глубина, см	C, %	pH водн.	ЕКО, мг-экв/ 100 г почвы
АО (2–5)	12.30	5.29	36.4
АУ (5–15)	8.72	4.68	24.4
ВМ (15–65)	4.16	5.38	16.7
ВМС (65–75)	3.23	5.31	25.3

С.В. Зонн [3] отмечал, что формы соединений железа, их соотношение и профильное распределение могут быть определяющими в характере и направлении почвообразовательных процессов. Для буроземообразовательного процесса данным автором предложены следующие диагностические соотношения форм железа: преобладание слабоокристаллизованных соединений и возрастание их содержания с глубиной при одновременном уменьшении содержания аморфных и сильноокристаллизованных его форм.

Содержание окристаллизованных форм увеличивается с глубиной профиля, что связано с высокой подвижностью оксидов железа и его кристаллизацией в горизонтах с достаточным доступом кислорода и большим периодом относительной сухости [4].

Как следует из данных таблицы 2, содержание силикатных форм железа составляет 30 % от общего количества железа и его доля возрастает вниз по почвенному профилю, что обусловлено высокой щебнистостью и слабой выветрелостью почвообразующих пород. Об этом свидетельствует также снижение доли аморфного железа (до 3.97 %) в почвообразующей породе по сравнению с вышележащими горизонтами. Максимальным содержанием несиликатного железа (51 % от валового) характеризуется верхний горизонт исследованной почвы, что является показателем его высокой подвижности и биогенной активности, это вполне согласуется с данными С.В. Зонна [3]. Железо, связанное с органическим веществом почв, в верхнем горизонте составляет 8.74 % от валового, что является следствием хорошо развитой лесной подстилки и дернины. По характеру общих свойств и распределению форм железа можно говорить о том, что главными элементарными почвообразовательными процессами в фоновой горной бурой таежной почве являются буроземообразование и оглинивание.

Таблица 2. Соотношение различных форм железа в фоновой горной бурой таежной почве.

Горизонт, глубина, см	Валовое, %	Силикатное	Несиликатное	Аморфное	Связанное с органическим веществом
		в % от валового			
АО (2–5)	11.03	30.0	51.0	11.42	8.74
АУ (5–15)	8.92	33.8	42.9	14.46	7.52
ВМ (15–65)	8.42	42.5	37.05	13.30	7.12
ВМС (65–75)	10.32	61.53	28.8	3.97	5.60

Профили эмбриоземов достаточно определенно отличаются друг от друга и от фоновой почвы по морфологическим и физико-химическим свойствам. Если в нормальных климаксных почвах процессы синтеза, аккумуляции, минерализации и гумификации органического вещества сбалансированы, то в молодых «почвоподобных» образованиях, какими являются эмбриоземы, процессы синтеза и аккумуляции органического вещества явно преобладают над минерализацией и гумификацией. В связи с этим, подстилка эмбриоземов сохраняется значительно дольше, чем в обычных почвах, а мелкозем в дерновом горизонте слабо прокрашен гумусом. По этой же причине в эмбриоземах слабее выражены структурообразовательные процессы [5].

Как известно, почвообразующие породы в исследуемых техногенных ландшафтах Кузбасса по способу образования являются отвалами вскрышных и вмещающих пород

каменноугольных разрезов, а по технологии формирования – хаотичной смесью данных пород, что находит отражение в соотношении и составе фракций крупнозема и мелкозема (табл. 3).

Таблица 3. Соотношение крупнозема и мелкозема в эмбриоземах техногенных ландшафтов, %.

Горизонт, глубина, см	Фракции, (мм)						
	> 10	10–7	7–5	5–3	3–2	2–1	< 1
Эмбриозем органо-аккумулятивный							
A ₀ A ₁ (1–3)	26.0	11.0	17.1	19.5	3.8	5.1	8.7
AB (3–8(9))	39.5	8.3	8.3	14.0	12.4	4.0	12.0
B (8(9)–45)	46.0	12.1	8.4	10.2	3.1	9.0	11.1
BC (45–90)	25.2	15.5	14.1	20.9	6.3	13.4	5.0
Эмбриозем инициальный							
C ₁ (0–18)	30.3	22.8	10.1	14.5	4.6	18.7	15.4
C ₂ (18 и ниже)	41.1	15.0	8.7	11.1	4.4	10.5	8.2
Эмбриозем дерновый							
A _d (1–3)	7.4	14.1	14.3	19.1	2.9	15.7	26.6
AB (3–23(25))	44.9	12.4	10.9	11.3	3.1	8.3	9.3
B (23(25)–40)	38.0	14.2	9.9	12.3	3.7	10.1	11.0
BC (42–52)	42.6	12.3	7.8	11.7	3.7	10.5	11.4

Во всех типах эмбриоземов доминирует крупная фракция > 10 мм, что указывает на их высокую каменистость. В ряду рассмотренных эмбриоземов, наиболее сильная каменистость (около 90 %), отмечается у эмбриозема инициального, связанная с отсутствием травяного покрова и слабой выветрелостью пород.

Таким образом, в морфологическом отношении у приведенных типов эмбриоземов прослеживаются черты, как сходства, так и отличия. Сходство состоит в том, что все имеют очень малую мощность почвенного профиля, не превышающую (до горизонта почвообразующей породы) 30–40 см, высокую каменистость, слабую степень морфологической дифференциации минеральной части почвенного профиля на генетические горизонты, меньшее (по сравнению с фоновой почвой) содержание углерода. Наиболее высокая емкость катионного обмена отмечается в верхних горизонтах эмбриоземов дерновых и органо-аккумулятивных. В отличие от слабокислой реакции фоновой горно-таежной почвы, изученные эмбриоземы характеризуются нейтральной реакцией среды (табл. 4).

Таблица 4. Свойства эмбриоземов техногенных ландшафтов.

Горизонт, глубина, см	C, %	pH водн.	ЕКО, мг-экв/ 100 г почвы
Эмбриозем органо-аккумулятивный			
A ₀ A ₁ (1–3)	11.60	6.09	39.4
AB (3–8(9))	10.40	6.21	30.5
B (8(9)–45)	10.63	6.75	17.4
BC (45–90)	10.12	6.85	27.0
Эмбриозем инициальный			
C ₁ (0–18)	11.23	6.86	26.8
C ₂ (18 и ниже)	11.26	7.01	19.0
Эмбриозем дерновый			
A _d (1–3)	6.71	6.20	46.6
AB (3–23(25))	2.13	6.13	29.1
B (23(25)–40)	4.52	6.62	28.7
BC (42–52)	4.39	6.88	20.4

Разнообразие соединений, в виде которых железо находится в почвах, определяют особый интерес к нему, как к элементу, диагностирующему многие элементарные макро- и микро-почвообразовательные процессы. Поэтому особо важна, с одной стороны, идентификация свободных форм железа с соответствующими им минералами, а с другой, – выявление устойчивых, диагностических свойств отдельных форм железа для установления процессов, формирующих почвы, и для прогнозирования их эволюции [6].

Во всех типах рассматриваемых эмбриоземов, так же, как и в фоновой горной бурой таежной почве, наибольшую долю (39.1–72.2 % от валового), составляют несиликатные формы железа (табл. 5).

Таблица 5. Групповой состав железа в эмбриоземах.

Горизонт, глубина, см	Валовое, %	Силикатное	Несиликатное	Аморфное	Связанное с органическим веществом
		в % от валового			
Эмбриозем органо-аккумулятивный					
A ₀ A ₁ (1–3)	2.88	11.45	72.20	13.10	3.12
AB (3–8 (9))	3.02	23.17	65.50	10.26	0.99
B (9–45)	3.23	29.10	54.17	15.78	0.90
BC (45–90)	3.28	26.52	49.39	23.78	0.30
Эмбриозем инициальный					
C ₁ (0–18)	2.54	6.20	40.55	16.14	16.51
C ₂ (18 и ниже)	3.20	27.18	29.68	13.43	29.68
Эмбриозем дерновый					
A _d (1–3)	3.12	48.07	39.10	4.80	8.01
AB (3–23)	3.32	57.53	34.63	0.90	6.92
B (23–40(42))	3.32	51.20	34.63	10.54	3.61
BC (40–42 и ниже)	3.75	43.73	35.73	18.13	2.40

Среди изученных техногенных почв максимальным содержанием несиликатного железа (72.2 % от валового) характеризуется эмбриозем органо-аккумулятивный. Содержание силикатных соединений железа варьирует в широких пределах и увеличивается с глубиной, что, в целом, является типовым признаком и для зональной почвы. Аморфные соединения железа представлены небольшими величинами (4.8–16.14 от валового) и какой-либо закономерности в профильном распределении этих форм не прослеживается. В профильном распределении железа, связанного с органическим веществом, отмечены следующие особенности: в эмбриоземе дерновом, так же, как и в фоновой почве, его содержание в верхнем горизонте максимально, вниз по профилю постепенно уменьшается. Подобная закономерность в распределении железа, связанного с органическим веществом, наблюдается и в эмбриоземе органо-аккумулятивном.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Почвенный покров техногенных ландшафтов Одрабашского железорудного массива представлен тремя типами эмбриоземов: инициальным, дерновым, органо-аккумулятивным. Выяснено, что в условиях антропогенного воздействия, обусловленного угледобычей и разработкой железных руд, каждый изученный тип имеет ряд особенностей, отличающих техногенные почвы от почв ненарушенных территорий (горных бурых таежных). Генетические свойства эмбриоземов, характерные для Одрабашского железорудного массива, отражают многолетнюю трансформацию экосистем. Все представленные почвы имеют очень малую мощность профиля по сравнению с ненарушенной горной бурой

таежной почвой, высокую каменистость и слабую степень морфологической дифференциации профиля на горизонты. Физико-химические свойства изученных эмбриоземов имеют существенные отличия от свойств фоновых почв. Они различаются такими параметрами, как реакция среды, процентное содержание углерода, емкость катионного обмена. Специфической особенностью группового состава железа является доминирование во всех эмбриоземах несиликатных форм железа (39 %–72 % от валового). Характер распределения железа, связанного с органическим веществом, в эмбриоземах, находящихся на более поздней стадии эволюции (дерновый и органо-аккумулятивный), близок к таковому в зональных горных бурых таежных почвах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Логун М.Т., Поляков А.Д.* Биологическое разнообразие экосистем северо-востока Кузбасса. Кемерово: Кемер. ГСХА, 2011. 112 с.
2. *Воробьева Л.А.* Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
3. *Зонн С.В.* Железо в почвах. Географические и генетические аспекты. М.: Наука, 1982. 207 с.
4. *Владыченский А.С.* Особенности горного почвообразования. М.: Наука, 1998. 187 с.
5. *Андроханов В.А.* Почвенно-экологическое состояние техногенных ландшафтов: динамика и оценка. Новосибирск.: Изд-во СО РАН, 2010. 224 с.
6. *Салтыков А.В.* Свойства, и морфология техноземов рудного Алтая // Ползуновский вестник. 2004. № 4. С. 402–404.

Работа рекомендована д.б.н., профессором В.П. Серединой.

УДК 631.10

ИЗУЧЕНИЕ ДИНАМИКИ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА МИКРОСТРУКТУР ПОЧВ В УСЛОВИЯХ ПРОМЕРЗАНИЯ И ОТТАИВАНИЯ МЕТОДОМ КОМПЬЮТЕРНОЙ МИКРОТОМОГРАФИИ

К.А. Романенко, А.В. Юдина, К.Н. Абросимов

Почвенный институт имени В.В. Докучаева, Москва,

lusteramisho@mail.ru, anna.v.yudina@gmail.com, kv2@bk.ru

Структура почвы изменяется в результате разнообразных внешних воздействий, в том числе под влиянием смены температурных условий. Динамика микроструктуры почвы при чередовании процессов промерзания-оттаивания, а также микростроение почвы в мерзлом состоянии в настоящее время остаются малоизученными. В данном исследовании с помощью микротомографического метода исследовано структурное состояние мерзлых образцов почвы, охарактеризована динамика почвенной структуры в циклах промерзания-оттаивания.

ВВЕДЕНИЕ

Процессы промерзания-оттаивания могут существенно влиять на фундаментальные свойства почв и горных пород [1, 2, 3, 5]. Под влиянием изменения температуры и, как следствие, агрегатного состояния воды, крупные частицы разрушаются, а мелкие коагулируют, тем самым повышая содержание фракции мелкой пыли в дисперсном материале [3].

Динамика температуры сильно влияет на биологическую активность почв, изменение которой отражается на характере эмиссии газов. Вызвано это тем, что вследствие понижения температуры часть микроорганизмов погибает и становится источником легкодоступного углерода. Оставшиеся бактерии поглощают мёртвую микробную биомассу,

перерабатывая его в двуокись углерода, но далее поток газа падает, так как остаётся только труднодоступная органическая часть почвы, а количество бактерий, способных её переработать становится меньше [1].

Одним из путей изучения влияния морозных процессов является анализ динамики почвенных пор в ходе многократного промерзания-оттаивания почвенной массы. Современные неразрушающие методы рентгеновской микротомографии позволяют исследовать строение мерзлой и талой почвы в одном и том же образце на всех этапах опыта.

Цель проводимых исследований заключалась в установлении специфики изменения структуры почвенной массы и порового пространства насыпных модельных образцов почв в повторяющихся циклах промерзания и оттаивания.

Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

1. Разработка и испытание методики микротомографического исследования порового пространства увлажненных насыпных образцов в мерзлом и талом состояниях.
2. Проведение серии микротомографических сканирований модельных образцов в мерзлом состоянии на протяжении их многократного замораживания и оттаивания.
3. Установление специфики изменения порового пространства в модельных почвенных образцах при их увлажнении и циклическом замерзании-оттаивании.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования был выбран материал генетических горизонтов различных суглинистых почв Европейской территории России. Исследовали гумусовый (АУ), элювиальный (ЕЛ) и текстурный (ВТ) горизонты целинной дерново-подзолистой почвы под ельниками Московской области (Зеленоградский стационар Почвенного института имени В.В. Докучаева), гумусовый горизонт АУ целинного чернозёма типичного (Стрелецкая степь Центрально-черноземного заповедника), горизонт Вса целинного солонца под разреженной полевой растительностью Джаныбекского стационара Института лесоведения РАН. Также была исследована модельная смесь из каолинита (90 %) и песка (10 %).

Пробоподготовка образцов была осуществлена следующим образом. Образцы почвы были протёрты пестиком с резиновым наконечником и просеяны через сито 250 мкм. Так как работа ориентирована на изучение микроструктуры почв, решено было выбрать масштаб микроагрегатного порядка. Почва растиралась для того, чтобы нивелировать различия в макроорганизации почвенной массы. Далее образцы засыпались в пластиковые цилиндры высотой 12 мм и внутренним диаметром 8 мм, после чего капиллярно насыщались водой на ленте из фильтровальной бумаги с опущенными в воду концами. После насыщения почвы водой, пластиковые цилиндры закрывались резиновой пробкой и помещались в пенопластовый штатив. Пенопластовый штатив служил термоизолятором и предотвращал латеральное промораживание, позволяя таким образом изучать непосредственно фронтальные процессы. Чередование промораживания и оттаивания проводили циклически с помощью климатической камеры Espec SH-241. Каждый цикл состоял из фазы промораживания (10 часов при температуре -30°C) и фазы оттаивания (10 часов при температуре $+20^{\circ}\text{C}$). Переход температуры с $+20^{\circ}\text{C}$ до -30°C и обратно осуществлялся равномерно в течение 2-х часов.

Сканирование образцов производили на компьютерном рентгеновском микротомографе Bruker SkyScan 1172 с использованием терморегуляционного модульного столика, осуществляющего охлаждение и нагрев при помощи элементов Пельтье, при температуре -15°C . Меньшую температуру при съёмке было невозможно поддерживать в связи с малой мощностью элемента Пельтье. Разрешение съёмки 2.5 мкм/pix.

Гранулометрический состав был определён методом лазерной дифракции на приборе Analysette 22 comfort (Fritsch, Германия) (таблица 1). Диспергация образцов проводилась с помощью ультразвуковой обработки на приборе Digital Sonifir 250 (Branson Ultrasonics, США) при заданной мощности (40 % W) в течение 5 минут. Определение

гранулометрического состава горизонта Вса целинного солонца не требовало проведения дополнительного этапа пробоподготовки для удаления легкорастворимых солей [4].

Таблица 1. Содержание гранулометрических фракций в исследованных образцах

Образец		Содержание (%) фракций ЭПЧ (мкм)						Содержание физической глины (%)	Градация по кл. Н.А. Качинского
		песок		пыль			ил		
		средний, крупный	мелкий	крупная	средняя	мелкий			
Почва	Горизонт (глубина, см)	1000–250	250–50	50–10	10–5	5–1	<1	<10	
Дерново-подзолистая	АУ (0–4)	0.04	5.88	52.98	17.85	21.52	1.73	41.10	
	ЕL (17–23)	0.00	2.28	62.32	17.42	16.69	1.29	35.40	
	ВТ (50–60)	0.01	1.59	52.51	17.06	22.92	5.91	45.89	
Чернозем типичный	А1(10–15)	0.00	2.74	41.04	17.84	33.27	5.11	56.22	
Солонец	Вса (8–15)	0.82	24.56	29.98	12.41	24.56	7.46	44.64	

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сканирования модельных смесей из песка и каолинита при полной влагоёмкости и быстрой заморозке показало, что быстрая заморозка ведёт к вертикальному растрескиванию субстрата (рис.). Так как песчинки имеют большую теплопроводность по сравнению с вмещающей их глинистой массой, под ними образуются ледяные линзы, которые нарастают снизу вверх за счёт термоградиентных токов воды. Кристаллизирующаяся вода увеличивается в объёме и выпирает песчинки вверх, таким образом, линзы льда под песчинками выталкивают их к фронту промерзания. В целом влага также перемещается по температурному градиенту к поверхности образца, за счёт чего основная масса шлирового льда сосредоточена в верхней части сканированного объекта. Помимо ледяных линз и шлир в результате промораживания и морозного выпучивания в образце образуются также кольцевые структуры из песчинок.

Помимо искусственной смеси был проведён микротомографический анализ почвенных образцов. Установлено, что в гумусовом горизонте дерново-подзолистой почвы после однократного промораживания заметно слабое растрескивание, видны микроагрегаты размерами 100–150 мкм в поперечнике и трещины шириной около 30 мкм. После 5-и циклов промораживания–оттаивания агрегаты разрушились, образовались трещины ~35 мкм шириной.

Иначе ведёт себя материал из элювиального горизонта дерново-подзолистой почвы. Однократное промораживание сформировало отдельные трещины 800–900 мкм в длину и 70–80 мкм в ширину, а также множество трещин 200–300 мкм в длину и 60–70 мкм в ширину. После многократного промораживания большие трещины захлопнулись. Трещиноватость в целом стала менее явной.

В мерзлом образце из текстурного горизонта дерново-подзолистой почвы (ВТ1) неагрегированная масса стала разбита сетью трещин 200 мкм длиной, 50 мкм шириной. Ближе к краю образца трещинная сеть стала гуще, в то время как сами трещины уменьшились по ширине (~20 мкм). Многократное промораживание–оттаивание не сильно влияет на структуру объекта, однако наблюдается увеличение размера пустот в центре.

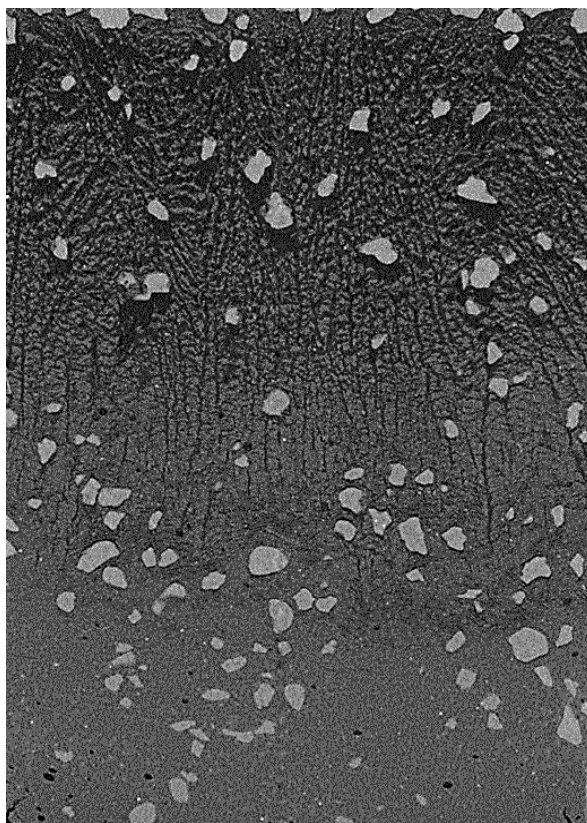


Рисунок. Вертикальный срез через микротомографическое изображение модельной смеси 90 % каолинита и 10 % песка в мерзлом состоянии после 1-кратного промерзания. Ширина среза 5 мм. Ледяные включения черные, песчаные зерна – светло-серые.

В гумусовом горизонте чернозёма промораживание не сильно изменило структуру объекта относительно непромороженного варианта. Образование крупномерных трещин не обнаружено, видны микроагрегаты размером 200x250 мкм и 130x170 мкм в поперечнике, имеются мелкие межагрегатные трещины диаметром 10–30 мкм. После пяти циклов промораживаний и оттаиваний часть макроагрегатов разрушилась, заполняя обломками трещинную сеть, в результате чего трещинная сеть стала менее заметной.

Материал солонцового горизонта после однократного промораживания представлял собой агрегированную массу, состоящую из структурных отдельностей различного размера: небольших до ~120–150 мкм в поперечнике и более крупных до 200–250 мкм. Между микроагрегатами были обнаружены пустоты до 120–130 мкм в диаметре и отдельные трещины до 1500 мкм длиной и 180 мкм шириной. После 5-и промораживаний значительных изменений в структуре объекта не обнаружено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования нами сделаны следующие выводы:

1. При фронтальном промораживании насыпного образца высотой 12 мм и диаметром 8 мм в направлении сверху вниз основная часть заполненных льдом трещин формируется в верхней части образца. Зона активного трещинообразования имеет толщину от 1000 до 2000 мкм.
2. Почвенный материал, имеющий различный генезис, по-разному реагирует на циклическое промораживание–оттаивание. Это можно объяснить сохранением насыпными образцами их изначальной микроструктуры.
3. В гумусовом горизонте чернозёма и горизонте Вса солонца разрушение микроагрегатов в результате многократного промораживания–оттаивания выражено слабее, чем в образце горизонта АУ дерново-подзолистей почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курганова И.И., Тупе Р. Влияние процессов замерзания-оттаивания на дыхательную активность почв. Почвоведение, 2003 № 9 С. 1095–1105.
2. Домжал Х., Зотов К.В., Усъяров О.Г. Влияние криогенных процессов на водоудерживание почв. Почвоведение. 1997. № 6. С. 705–710.
3. Чжан Цзе, Пендин В.В. Преобразование моренных суглинков при многократном промерзании-оттаивании. // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2010. № 2. С. 58–63.
4. Юдина А.В. Гранулометрический состав и литологическая гетерогенность генетических горизонтов почв бугра бэра и сопряженных ландшафтов / Материалы по изучению русских почв. Вып. 8 (35): Сб. науч. докл. / Под ред. Б.Ф. Апарина.– СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 2014. – с. 205–209
5. *Structural strength of frozen soils during thawing.* Vodolazkin V.M., Sorokin V.A., Fedoseev Yu.G. Soil Mechanics and Foundation Engineering. 1990. Т. 26. № 5. С. 207–209.

Работа рекомендована д.с.-х.н. заведующей лабораторией физики и гидрологии почв Скворцовой Е.Б. и д.г.н. профессором В.В. Роговым.

УДК 631.47

АНАЛИЗ ВРЕМЕННОЙ ДИНАМИКИ СВОЙСТВ ПОЧВ ГОРОДСКИХ ПАРКОВ ДО И ПОСЛЕ РЕКОНСТРУКЦИИ НА ПРИМЕРЕ ПАРКА АРТЕМА БОРОВИКА (г. МОСКВА)

О.Н. Ромзайкина

Российский университет дружбы народов, г. Москва

В данной статье рассмотрена динамика содержания элементов питания (K_2O и P_2O_5) в городских почвах до и после реконструкции на примере парка имени Артема Боровика в г. Москве. На основании сравнительного анализа данных 2012 и 2014 годов, при помощи ГИС-ПО QGIS 2.4 составлены карты исследуемых почвенных параметров. Отмечено высокое пространственное разнообразие содержания K_2O и P_2O_5 по слоям 0–10, 10–30, 30–50 и 50–100 см как до, так и после реконструкции. В ходе пространственного анализа были выявлены возможные факторы изменения содержания K_2O и P_2O_5 в результате нового функционального зонирования территории.

ВВЕДЕНИЕ

Для улучшения качества жизни населения в условиях высоких темпов урбанизации требуются структурно и эстетически организованные ландшафты внутри города. Примерами таких ландшафтов могут быть городские рекреационные зоны: парки, скверы, объекты зеленой инфраструктуры. Почва – ключевой компонент урбоэкосистем. Городские почвы выполняют ряд важных экологических функций: очищение воздуха и поверхностных вод, нейтрализация вредных веществ и сохранение зеленой составляющей города (Курбатова, 2004). Почва – динамичная система, на изменение свойств которой в условиях урбанизации доминирующее влияние оказывает антропогенный фактор (Прокофьева, 2011). Так, в процессе модернизации парковых территорий человек воздействует на почву, химические, физические и биологические характеристики которой будут меняться в зависимости от выбранного зонирования территории. Сравнение свойств почв до и после реконструкции позволит определить, как зонирование территории влияет на изменение почвенных свойств в результате реконструкции. Принимая во внимание высокое про-

Работа выполнена при поддержке Гранта президента РФ № МК.3962.2014.4 и Гранта РФФИ № 14-04-31992.

© О.Н. Ромзайкина, 2017

пространственное разнообразие почвенных свойств, для объективной оценки изменения почвенного покрова целесообразно применение ГИС-технологий. Это позволяет использовать значительный объем информации в виде тематических векторных слоев, таким образом, чтобы наглядно отобразить количественное состояние химических показателей почвенных горизонтов.

В рамках данной работы проведено сравнение пространственного распределения содержания питательных элементов в почвах парка Артема Боровика до и после реконструкции парка на основании полевых данных 2012 и 2014 годов и пространственного анализа с применением ГИС. Сравнительный анализ позволил оценить влияния зонирования территории на изменение почвенных свойств в результате реконструкции парка.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования является парк имени Артёма Боровика, расположенный в районе Марьино Юго-Восточного административного округа, до и после реконструкции. Парк был открыт в сентябре 2001 года. Парк имени Артёма Боровика имеет правильную круглую форму, так как находится в центре кругового движения на пересечении улиц. До реконструкции в северо-западной части был расположен пруд, обрамленный посадками деревьев и кустарников. В юго-западной и юго-восточной части парка находились два насыпных холма с посадками берез. Также, в юго-восточной части находилось необорудованное футбольное поле. После реконструкции в 2013 году парк сохранил деление главными дорогами на четыре части, пруд и насыпные холмы, появилась развитая дорожно-тропиночная сеть. В настоящее время парк имеет четкое функциональное зонирование по видам отдыха и возрастным категориям: северо-западная часть – зона тихого отдыха, северо-восточная – «детская» зона, юго-восточная часть – зона активных видов спорта, юго-западная часть – прогулочная зона и зона выгула собак.

На территории парка исследовались городские почвы (рекреаземы, конструктороземы и собственно урбаноземы). В ходе исследований были отобраны почвенные образцы до и после реконструкции (лето 2012 и 2014 соответственно). Образцы отбирались в точках, характеризующихся сменой форм растительности и функционально-тематических зон в результате реконструкции (рис. 1).

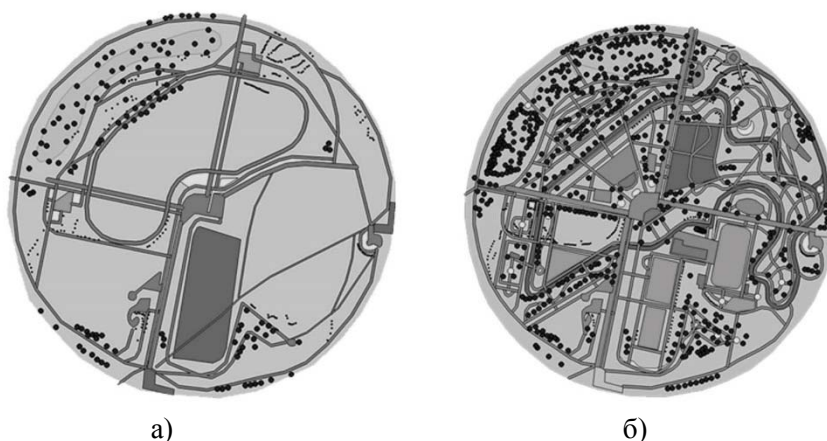


Рисунок 1. Реконструкция парка имени Артёма Боровика: а) 2012 год; б) 2014 год.

Непосредственно до отбора образцов была проведена рекогносцировка данных, включающая анализ динамики функционального зонирования в результате реконструкции 2013 года и выбор характерных точек обследования.

В 2012 году на территории рекреационной зоны парка и селитебной территории вокруг него было отобрано 439 проб со 110 точек (Васенев и др., 2013). Для дальнейшей работы было использовано 30 точек (100 проб). Координаты точек для пробоотбора в 2014 году были получены при помощи составления карт смены функционального зониро-

вания территории: было получено 82 точки, характеризующиеся сменой форм растительности и функциональных зон, среди которых было отобрано 20 точек. Отбор образцов проходил почвенным буром на глубину 100 см, так как именно эта глубина нужна для дальнейшего составления почвенных карт. Каждый почвенный профиль был описан. Были определены: почвенные горизонты, мощность, гранулометрический состав, цвет. Результаты химических анализов были перераспределены для слоев 0–30 см, 30–50 см, 50–100 см для составления карт пространственного распределения веществ. В отобранных образцах после пробоподготовки проводился анализ химических свойств почв: pH водной и солевой вытяжки; содержания органического вещества в почве по методу Тюрина, и элементов питания (P_2O_5 , K_2O , $N_{общ}$).

Полученные результаты были обработаны с использованием ГИС-ПО QGIS 2.4 для создания электронных карт почвенных параметров и пространственного анализа динамики почвенных свойств в результате реконструкции. Построение почвенных карт производилось методом интерполяции. Далее, основываясь на построенных в QGIS 2.4 картах пересечения функциональных зон, были проанализирована динамика почвенных свойств парка.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для парка до реконструкции были получены следующие результаты (Табл. 1). До реконструкции показано закономерное уменьшение содержания углерода и азота в слоях 0–30 см и 30–50 см. Для слоя 0–50 см отмечено относительное превышение, что может быть связано с воздействием культурного слоя или погребенных горизонтов. Среднее содержания фосфора – выше верхних значений норматива для почвогрунтов (ПП-514) и увеличивается вниз по профилю, что может быть связано с утяжелением гранулометрического состава. Содержания калия, напротив, меньше рекомендуемого для газонных почвогрунтов и убывает по профилю.

Таблица 1. Результаты химических анализов проб, отобранных в 2012 г.

Слой, см	pH _{H2O}	Corg, %	Ntot, мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
0–30	6.6±0.14	1.85±0.26	0.11±0.002	395.87±50.52	75.64±8.77
30–50	7.1±0.23	1.36±0.18	0.08±0.009	433.16±50.6	54.06±5.38
50–100	6.9±0.39	1.68±0.38	0.07±0.011	580.89±61.67	51.26±7.02

В результате реконструкции результаты изменились следующим образом (Табл. 2). После реконструкции отмечено увеличение содержания углерода и азота в слоях 0–30 и 30–50 см и уменьшение в слое 50–100 см, что может объясняться влиянием посадочных ям и внесением плодородного грунта. Среднее значение азота одинаково по всему профилю. Отмечено общее увеличение содержания азота и углерода в результате реконструкции, вероятно, в результате внесения плодородного грунта, влияния посадочных ям и внесения удобрений. Среднее содержания фосфора близко по средним значениям к 2012 году и динамике распределения вниз по профилю. Содержания калия меньше рекомендуемого для газонных почвогрунтов и возрастает по профилю в 2014 году.

Таблица 2. Результаты химических анализов проб, отобранных в 2014 г.

Слой, см	pH _{H2O}	Corg, %	Ntot, мг/кг	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
0–30	7.6±0.09	2.25±0.36	0.30±0.031	377.21±42.37	35.79±4.11
30–50	7.7±0.11	2.38±0.49	0.30±0.030	430.67±49.49	44.62±12.74
50–100	7.4±0.13	2.31±0.42	0.31±0.098	567.38±117.21	51.01±23.47

И до, и после реконструкции было отмечено высокое пространственное разнообразие агрохимических свойств почв.

Временная динамика пространственного распределения была рассмотрена на примере изменения содержания K_2O (рис. 2) и P_2O_5 (рис. 3) до и после реконструкции парка, для этого были построены карты почвенных параметров в программе QGIS 2.4.

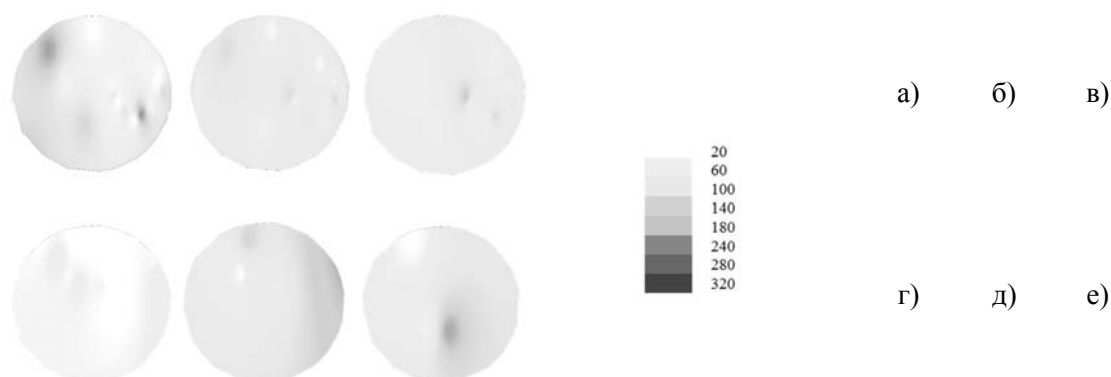


Рисунок 2. Карты распределения K_2O (мг/кг) до и после реконструкции. K_2O . В 2012 году: а) 0–30 см; б) 30–50 см; в) 50–100 см; в 2014 году: г) 0–30 см; д) 30–50 см; е) 50–100 см.

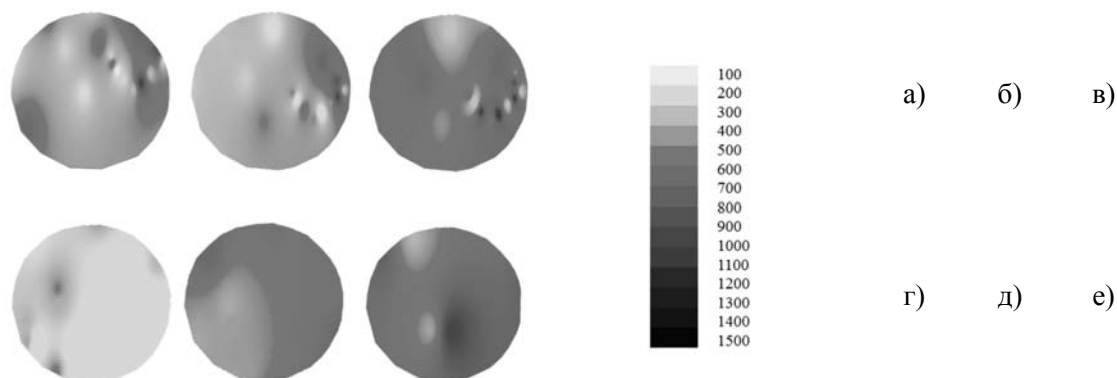


Рисунок 3. Карты распределения P_2O_5 (мг/кг) до и после реконструкции. В 2012 году: а) 0–30 см; б) 30–50 см; в) 50–100 см; в 2014 году: г) 0–30 см; д) 30–50 см; е) 50–100 см.

Используя ГИС-ПО QGIS 2.4 и полученные карты, можно проанализировать динамику K_2O и P_2O_5 по профилю и во времени в любой точке. По найденной разнице между значениями показателей в 2012 году и 2014 году была составлена таблица динамики P_2O_5 и K_2O (табл. 3), показывающая во сколько раз изменилось значение содержания данных веществ в результате реконструкции парка в зависимости от смены форм растительности или изменения функциональной зоны.

После реконструкции не изменился уровень обеспеченности почв элементами питания – среднее содержание P_2O_5 выше, а K_2O – ниже, чем нормативные значения для почвогрунтов (ПП-514, 2008); Среднее содержание K_2O уменьшалось вниз по профилю до реконструкции, а после реконструкции – увеличивалось. Содержание P_2O_5 увеличивалось вниз по профилю и до, и после реконструкции.

Отмечено высокое пространственное разнообразие содержания P_2O_5 и K_2O в почвах городского парка как в поверхностных горизонтах, так и по профилю, и до, и после реконструкции. В слое 0–30 см показано уменьшение содержания P_2O_5 и K_2O , в то время как в нижележащих горизонтах – содержания обоих элементов сохранились или увеличились. Наиболее заметное уменьшение содержания элементов в слоях 30–50 и 50–100 см после реконструкции отмечено для участка сформированного пруда, а наиболее значимое увеличение – для кустарников и деревьев, для которых формировались посадочные ямы. Отмечено содержания элементов питания на участках сформированных цветников.

Уменьшение P_2O_5 и K_2O в слое 0–30 см и увеличение может быть связано с: миграцией в нижележащие слои, вследствие легкого гранулометрического состава; использованием менее плодородных или менее устойчивых грунтов с быстрой минерализацией;

также обеднение почвы может быть связано с нарушением устойчивой системы в результате увеличения количества деревьев и кустарников в десятки раз. Исключение для P_2O_5 может быть связано с использованием фосфорных удобрений при разбивке цветника и выгулом собак в случае с газоном. Уменьшение P_2O_5 и K_2O в низине может быть связано с повышенным гидроморфизмом, причиной увеличения P_2O_5 в слое 30–50 см в низине может быть смыв и миграция вследствие легкого гранулометрического состава. Уменьшение P_2O_5 и K_2O в результате посадки деревьев и кустарников может быть связано с отсутствием или недостаточным использованием удобрений при посадке, качественными показателями почвогрунта, а также резким увеличением потребления P_2O_5 и K_2O вследствие смены форм растительности.

Таблица 3. Динамика P_2O_5 и K_2O (знак и кратность изменения) в результате реконструкции для различных вариантов смены функциональных зон и типов поверхности.

Изменение зоны		Изменение P_2O_5			Изменение K_2O		
2012 г.	2014 г.	0–30	30–50	50–100	0–30	30–50	50–100
газон	низина/пруд		+1.5	–1.5	–2	–1.5	–1.5
газон	цветник	+1.5	+1.5	–1.5	–2	–2	
газон	газон	+2	+2	+1.75	–2		+2
газон	дерево	–1.5			–3		
газон	кустарник	–3		+1.5	–3		+2
дерево	газон	–4			–3		+1.5
дерево	дерево	–3		+1.25	–3	+1.5	+2
детская площадка	газон	–2	+1.5		–3	+1.5	+1.25
покрытие	газон	–3			–2.5	+1.5	+1.5
кустарник	кустарник	–3			–3		
низина/пруд	низина/пруд	–1.5	+1.5		–4		
футбольное поле	кустарник	–4		+1.5	–3	+1.5	+2
цветник	цветник	–2	–1.5		–1.5	+2	+1.25

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе на основании использования ГИС-ПО QGIS 2.4 был проведен анализ временной динамики P_2O_5 и K_2O вследствие реконструкции парка имени Артема Боровика в качестве нового метода исследования временной динамики свойств почв городских парков. Были выявлены общие закономерности и возможные причины изменения содержания данных элементов вследствие изменения растительных форм и функциональном зонировании. Пространственная неоднородность и высокая динамичность во времени – характерные черты городских почв, значительно осложняющие количественную оценку их свойств и функций и использование этой информации в проектировании. Успешный опыт применения ГИС-технологий для решения этой проблемы на примере отдельного парка может быть применен для более объективного анализа почвенных свойств при создании объектов зеленой инфраструктуры городов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Курбатова А.С., Башкин В.Н. Экологические функции городских почв. Смоленск. 2004 г.
2. Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А., Иванников Ф.А. Систематика почв и почвообразующих пород Москвы и возможность их включения в общую классификацию. Почвоведение. 2011. № 5. С. 611–623.
3. Васенев В.И., Фатиев М.М., Лакеев П.С., Иванников Ф.А., Валентини Р. Опыт оценки пространственного разнообразия городских почв на локальном уровне. Вестник РУДН. 2012. № 5.

4. *Постановление Правительства Москвы* от 17 июня 2008 г. N 514-ППОб утверждении методических рекомендаций и требований по производству компостов и почвогрунтов, используемых в городе Москве.

Работа рекомендована к.б.н., доцентом кафедры ландшафтной архитектуры и дизайна Васеневым В.И.

УДК 58.1+58.051:631.413.3

АДАПТАЦИЯ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ К УСЛОВИЯМ ПОЧВЕННОГО ЗАСОЛЕНИЯ ПУТЕМ КУЛЬТИВАЦИИ *TAMARIX RAMOSISSIMA*

А.М. Сафарова

Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова

Рассматривается возможность выращивания местного галофитного кустарника *Tamarix ramosissima* на землях, подверженных вторичному засолению. Проводилось геоботаническое описание местности, анализ почвенных образцов и растительности на содержание основных легкорастворимых ионов, а также пролина в вегетирующих органах кустарника. В результате было установлено, что данный вид кустарника способен произрастать на почвах, подверженных различным типам засоления, и имеет широкий экономический и экологический потенциал для выращивания на маргинальных землях.

ВВЕДЕНИЕ

Отрицательные свойства засоленных почв могут быть в известной мере ослаблены в результате их биологической мелиорации. Этот вид мелиорации осуществляется путем возделывания на засоленных почвах галофитов. В данной работе ставилась задача исследования возможности использования местного галофита *Tamarix ramosissima* для выращивания на засоленных почвах. Для достижения данной цели определялись местные почвенные условия, а также оптимальные условия произрастания данного вида, которые в дальнейшем позволят составить рекомендации по его выращиванию.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проходили в октябре 2013 г. в дельте реки Амударья и в сентябре 2014 г. в Джейранском экоцентре (Бухара, Узбекистан). Гранулометрический состав почв дельты Амударьи разнообразен из-за аллювиального происхождения и представлен песчаными, пылеватыми, глинистыми фракциями. В основном почвы супесчаные, легко и тяжелосуглинистые, частично глинистые, то есть профили орошаемых луговых почв имеют слоистое сложение. Согласно схематической почвенной карте (Кузиев, Сектименко, 1977), район исследования находился в подзоне суббореальных умеренных пустынь пустынной зоны, на территории, соответствовавшей почвам орошаемых лугово-сазовых и аллювиальных почв с вкраплениями болотно-луговых, суглинистых, реже супесчаных, незасоленных и слабозасоленных почв. На территории экоцентра «Джейран» располагались песчаные почвы. Геоботаническое обследование местности в дельте реки Амударья выявило следующие типы сообществ: ажреково-гребенщиковые, гребенщико-ксерофитные и гребенщико-тростниковые. На территории Джейранского экоцентра присутствуют гребенщико-ксерофитные сообщества. На основании совокупности факторов окружающей среды для биологической мелиорации был выбран дикорастущий кустарник рода Тамарикс (сем. *Tamaricaceae*).

Почвы классифицировались по Классификации и диагностике почв СССР (1977) и по международной классификации WRB (IUSS Working Group WRB, 2014). Определение количественного содержания ионов Na^+ и K^+ в образцах, взятых из почвенных разрезов,

проводили в водной вытяжке методом пламенной фотометрии, Cl^- , HCO_3^- , SO_4^{2-} – титриметрическим методом, pH водной вытяжки определяли потенциометрически.

Количественное определение содержания ионов Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4^{2-} в фотосинтезирующих побегах кустарника *Tamarix ramosissima* проводили в водной вытяжке методом пламенной фотометрии

Количественное определение содержания пролина в воздушно-сухих вегетативных органах тамарикса проводилось спектрофотометрически на длине волны 520 нм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В результате описания почвенных разрезов, во время экспедиции в дельту Амударьи, были определены следующие типы почв: разрез № 4 Гидроморфный солончак типичный (1977), Глеевый солончак (хлоридиковый) (WRB); разрез № 6 Солончак гидроморфный луговой (1977), Моллик-глейиковый Солончак (хлоридиковый) (WRB); разрез № 7 – Песчаная пустынная полевошпатовая (1977), Гапλικовая ареносоля (калькариская, аридиковая) (WRB); разрез № 10 Лугово-пустынная почва (1977), Гапλικовая камбисоля (гиперохриковая) (WRB); разрез № 11 Орошаемая болотная почва полупустынь и пустынь аллювиальная (1977), Молликовская глееоля (эутриковская, арджеликовская) (WRB); разрез № 12 Солончак гидроморфный луговой (1977), Глеевый солончак (хлоридриковый, арджеликовый) (WRB).

На каждой точке исследования было проведено геоботаническое описание территории, результаты которой приведены ниже. Разрез № 4, расположенный в локальном понижении территории, Ажреково-гребенщиковое сообщество (*Tamarix sp.*, *Aeluropus litoralis*); разрез № 6 Гребенщико-ксерофитное сообщество (*Tamarix ramosissima*, *Halostachys belangeriana*), понижение около оросительного канала вдоль дороги; разрез № 7 песчаный участок, барханы, белосаксаульник (*Haloxylon persicum*); разрез № 10, Заросший орошаемый канал, понижение в рельефе, Гребенщико-тростниковое сообщество (*Phragmites communis*, *Tamarix ramosissima*); разрез № 11 склон к рисовым чекам и № 12 опытные поля, Ажреково-гребенщиковое сообщества (*Tamarix sp.*, *Aeluropus litoralis*).

На рис. 1 представлены результаты анализа почвенных образцов. Все описанные профили относятся к засоленным почвам с различной степенью засоления, относящиеся по химизму к сульфатно-хлоридному, хлоридно-натриевому и сульфатно-содовому засолению. Почвенный профиль в разрезе № 7 незасолен. Все почвы, кроме разреза № 12, относятся к щелочным почвам. Лугово-пустынная почва (Haplic Cambisol (Hyperochric) по WRB), разрез № 11, наименее засолен среди представленных засоленных почв: сумма токсичных солей в верхнем горизонте 0.45 %. Солончак гидроморфный луговой (Mollic Gleyic Solonchak (Chloridic) по WRB), разрез № 6 – наиболее засоленная почва: сумма токсичных солей в верхнем горизонте 57.61 %.

На рис. 2 представлены результаты ионного анализа образцов кустарника тамарикса, произрастающего на территории дельты реки Амударья.

Наибольшая концентрация ионов Na^+ в вегетирующих органах кустарника *T. ramosissima* наблюдалась на участке № 6 (65.47 ± 1.75 мг/г сухой массы), наименьшая концентрация – характерна для высокого (211 см) кустарника, произраставшего на участке № 11 (17.40 мг/г сухой массы).

Максимальная концентрация K^+ обнаружена в высоком (211 см) кустарнике *Tamarix sp.*, собранном на участке № 11 (3.18 мг/г сухой массы). Наименьшая концентрация калия (1.98 мг/г сухой массы) – в низком (28 см) кустарнике с участка № 6.

Наибольшая концентрация Cl^- в растениях тамарикса соответствует высокому кустарнику с участка № 6 (77 см): 138.47 ± 1.33 мг/г сухой массы. Наименьшая концентрация хлорид-иона обнаружена в высоком (272 см) растении с участка № 11: 51.00 мг/г сухой массы.

Максимальная концентрация сульфат-иона в кустарнике наблюдается на участке № 12: 93.63 ± 4.43 мг/г сухой массы. Минимальная концентрация – в кустарнике с участка № 7: 46.30 мг/г сухой массы.

Корреляция между содержанием иона в растении и в почве наблюдается для Na^+ ($r=0.94$, $p<0.05$) и для Cl^- ($r=0.67$, $p<0.05$).

Для успешного проведения мелиоративных мероприятий были установлены неблагоприятные условия среды путем анализа биологических маркеров. Таким биологическим маркером в данном исследовании стал пролин.

Результаты представлены на рис. 3: первые восемь образцов побегов кустарника отобраны на территории дельты Амударьи, а последние четыре – на территории экоцентра «Джейран».

Минимальное количество пролина было зафиксировано в растениях с точки № 7, незасоленного песчаного участка: 0.63 мг/г сухой массы. Наибольшее количество пролина было обнаружено в высоком (211 см) тамариксе с точки № 11; величина составила 9.45 мг/г сухой массы.

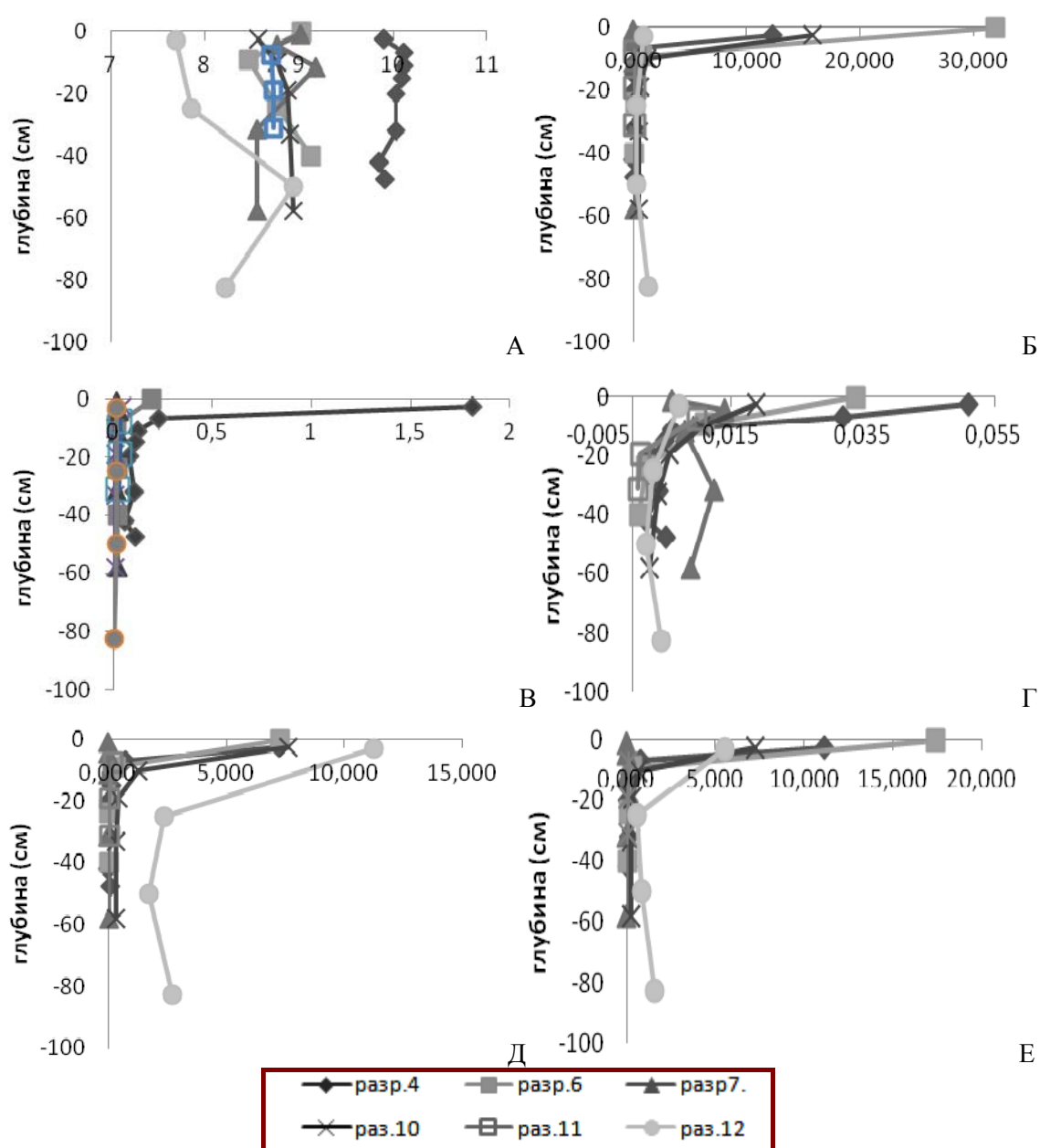


Рисунок 1. pH и ионный состав водных вытяжек образцов почв, развитых в дельте реки Амударья, %. А – pH; Б – SO_4^{2-} ; В – HCO_3^- ; Г – K^+ ; Д – Cl^- ; Е – Na^+ .

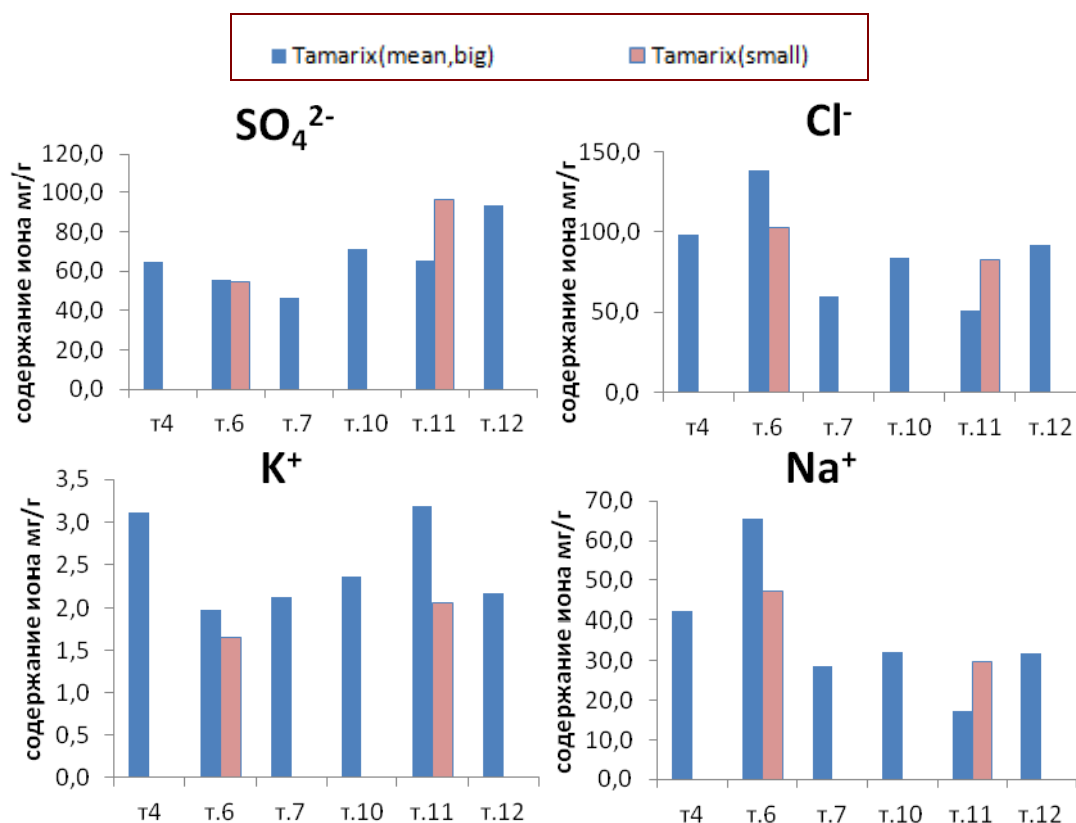


Рисунок 2. Содержание ионов в растительности (мг/г сух.м.).

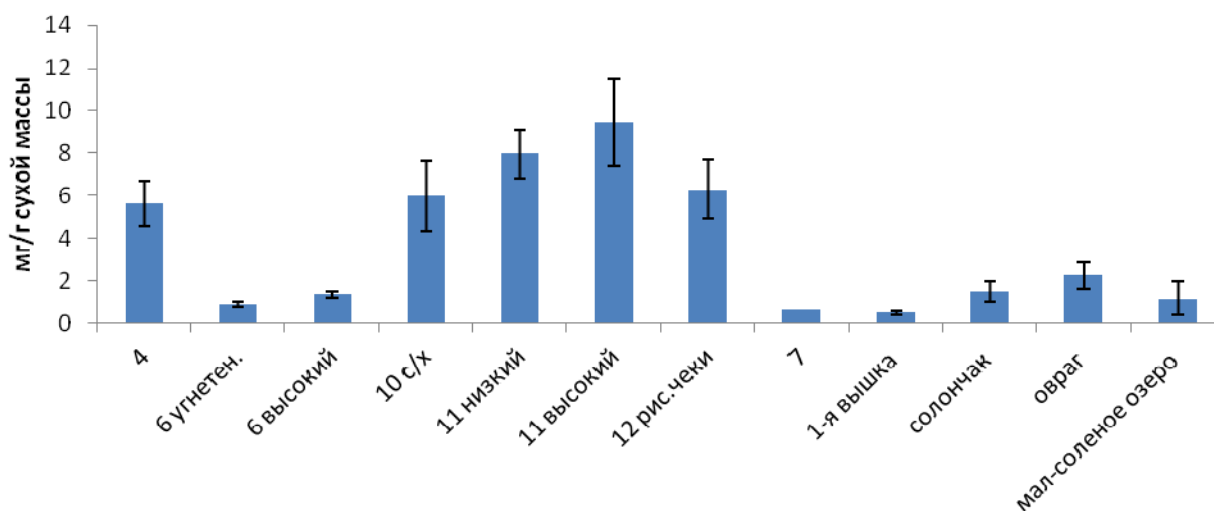


Рисунок 3. Содержание свободного пролина в фотосинтезирующих побегах кустарника *Tamarix ramosissima*.

Анализ полученных результатов позволяет утверждать, что увеличение содержания пролина соответствует высокому темпу метаболизма, заключающегося в осморегулирующей функции пролина в биохимических процессах растения. По мере повышения устойчивости растений к токсичным веществам содержание свободного пролина в вегетативных органах (листьях) декоративных кустарников увеличивается (Логачева, Любимов, 2014). Наименьшее количество пролина, зафиксированное на незасоленном участке, согласуется с литературными данными, которые показывают, что пролин не накапливается при отсутствии солевого стресса (Moftah, 1987). Известно, что тамарикс является факультативным галофитом, то есть может расти и на незасоленных почвах. Также проведенные исследования в области изучения солевыведения тамариксом показали, что солевые железы неселективны к солевой экстракции (Kleinkopf, 1974). Эти два фак-

та объясняют тот факт, что тамарикс, произрастая как на засоленных, так и на незасоленных почвах, выделяет соль посредством экстракции через солевые железы на поверхность вегетирующих органов, впоследствии выпадающую на поверхность почвы (Taletal., 19979). Это объясняет локальное засоление под кронами кустарника. Уменьшение биомассы тамарикса с повышением уровня засоления может быть результатом потерь энергии на транспорт соли, для поддержания обеспечения нормального водного баланса и метаболизма (Kleinkopf, 1974).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Суть адаптации землепользования на землях, потерявших сельскохозяйственное значение и подвергающихся деградации, в данном регионе заключается в выращивании местного галофита – кустарника *Tamarix ramosissima*. Этот вид кустарника был выбран благодаря наличию таких положительных сторон, как широкий диапазон условий произрастания, быстрый прирост биомассы, мощная корневая система и раскидистая крона. Образовавшуюся древесину предлагается использовать как топливо, предотвращая повторное попадание задержавшихся в его тканях солей в почву. Также *Tamarix ramosissima* является лекарственным растением.

У тамарикса имеется экологический предел произрастания при наличии засоления более 20 г/л. Также на кустарник губительно влияет наличие сульфатного засоления. Необходимость адаптации землепользования в данном регионе вполне оправдана и имеет большие перспективы для сохранения и развития экосистем.

Данные по количественному содержанию ионов в почвенных образцах были любезно предоставлены д.с.-х.н. М.П. Лебедевой, ведущим научным сотрудником лаборатории минералогии и микроморфологии почв Почвенного института им. В.В. Докучаева.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акжигитова Н.И. Галофильная растительность Средней Азии и ее индикаторные свойства. Ташкент: ФАН, 1982.
2. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977.
3. Кузиев Р.К., Сектименко В.Е. Почвы Узбекистана. Ташкент, 2009.
4. Логачева Е.А., Любимов В.Б. Оценка степени устойчивости декоративных кустарников по накоплению свободного пролина в вегетативных органах // Фундаментальные исследования. 2014. №. 8–7.
5. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
6. Kleinkopf G.E., Wallace A. Physiological basis for salt tolerance in *Tamarix ramosissima* // Plant Science Letters. 1974. V. 3. №. 3. P. 157–163.
7. Mofiah A.B., Michel B.B. The effect of sodium chloride on solute potential and proline accumulation in soybean leaves // Plant Physiol. 1987. V. 83. P. 283–286.
8. Tal M., Katz A., Heiken H., Dehan K. Salt tolerance in the wild relatives of the cultivated tomato: proline accumulation in *Lycopersicon esculentum* Mill., *L. peruvianum* Mill., and *Solanum pennellii* Cor. treated with NaCl and polyethylene glycol // New Phytol. 1979. V. 82. P. 349–360.
9. Wang F. et al. Relationship between proline and Hg21-induced oxidative stress in a tolerant rice mutant // Arch. Environ. Contam. Toxicol. 2009. V. 56. P. 723–73.

Работа рекомендована д.б.н., профессором Красильниковым П.В.

АМИНОКИСЛОТЫ В ИНЕРТНОМ ОРГАНИЧЕСКОМ ВЕЩЕСТВЕ
ИЛИСТОЙ ФРАКЦИИ ЛЕСОСТЕПНЫХ ПОЧВ

Е.В. Тарасова, Р.В. Окунев, А.А. Шинкарев (мл), А.А. Шинкарев

Казанский федеральный университет

Казанский национальный технологический университет

В профильных образцах целинных лесостепных почв сформировавшихся на исходно вертикально однородных почвообразующих породах исследован аминокислотный состав органического вещества связанного во фракции с размером частиц <2.5 мкм в форме устойчивой к обработке H_2O_2 . В гидролизатах инертного органического вещества обнаружены типичные белковые аминокислоты. В основе закономерностей определяющих особенности аминокислотного состава органического вещества связанного в устойчивой к окислению форме лежит селективное связывание нейтральных и гидрофобных аминокислот.

ВВЕДЕНИЕ

Первые результаты детальных исследований органического вещества (ОВ) связанного глинистыми минералами с лабильной кристаллической решеткой в устойчивой к окислительной деструкции форме были опубликованы в 1995–1996 гг. (Righi et al., 1995; Schulten et al., 1996). Объектами исследования была глинистая фракция сподосоли Новой Зеландии. Принималось, что обработка H_2O_2 удаляет ОВ с поверхностей глинистых кристаллитов, не затрагивая межслоевые пространства. Для характеристики ОВ использовали пиролитическую масс-спектрометрию с метилированием и ЯМР-спектроскопию. Анализ пиролизатов показал наличие моно- и дикарбоновых кислот, алканов, алкенов, п-алкилмоноэфиров и N-содержащих соединений.

Позже появилась серия работ, связанных с исследованием пулов ОВ в почвах, в которых для исследования инертного ОВ в почвах и выделенной из них фракции с размером частиц <20 мкм использованы пиролитическая масс-спектрометрия, ЯМР-спектроскопия и ИК-Фурье-спектрометрия (Leifeld, Kögel-Knabner, 2002; Eusterhues et al., 2005; Mikutta et al., 2006). Было показано, что инертное ОВ обогащено алифатическими соединениями и часто – N-содержащими соединениями. В ряде работ той же серии для отделения от минеральной матрицы органических компонентов устойчивых к окислительной деструкции использована обработка растворами HF. Было обнаружено (Mikutta et al., 2006), что обработка 10 % HF приводит к переводу в раствор до 96–97 % углерода и азота из ОВ, устойчивого к окислению NaOCl. Состав растворимых органических компонентов не изучался.

Цель работы – анализ аминокислотного состава продуктов кислотного гидролиза устойчивого к окислительной деструкции ОВ илистой фракции лесостепных почв, сформировавшихся на исходно вертикально однородных почвообразующих породах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В экспериментах использованы профильные образцы темно-серой лесной легкоглинистой почвы на желто-бурых карбонатных легких глинах (Алексеевский район РТ) и чернозема выщелоченного среднemosного тучного легкоглинистого на желто-бурых делювиальных карбонатных легких глинах (Камско-Устьинский район РТ). Исходная вертикальная однородность почвообразующих пород показана по отношениям концентраций Ti, Zr и Y (Шинкарев и др., 2010).

Обработку H_2O_2 использовали как проверенный временем способ селективного удаления ОВ перед гранулометрическим и минеральным анализом глинистых пород и почв (Pansu, Gautheyrou, 2006). Появление новообразованной фазы оксалата кальция в пробах,

содержащих карбонаты и обменный кальций, при обработке H_2O_2 хорошо известно, поэтому окислительной деструкции ОВ в образцах предшествовала обработка 0.1 моль/л раствором CH_3COOH , с последующей отмывкой деионизованной водой.

Обычная процедура удаления ОВ основана на обработке декальцированных и отмываемых образцов свежими порциями водного раствора H_2O_2 без их предварительного высушивания (Carrado et al., 2006). Следует, однако, учитывать, что ОВ может присутствовать и в межслоевых промежутках смектитов. Состояние предельного структурного набухания предполагает, что доступность органических компонентов в пористом объеме смектитов для молекул окислительного реагента будет определяться транспортным процессом межфазного молекулярно-диффузионного переноса в межслоевом пространстве. Кинетика этого процесса может быть очень медленной, однако полноту удаления ОВ можно попытаться повысить, накладывая на кинетику внутренней диффузии кинетику гидратации, путем повторения обработки окислительным реагентом после высушивания обработанного образца.

В экспериментах с окислительной деструкцией последовательность операций включала обработку образцов 0.1 моль/л раствором CH_3COOH , отмывку их деионизованной водой, многократную обработку в течение 30–40 дней 30 % H_2O_2 при комнатной температуре, отделение фракции частиц со стоковым эквивалентным диаметром <2.5 мкм (после расчетной седиментации в столбе жидкости), ее высушивание и гомогенизацию. Проводили несколько повторных обработок 30 % H_2O_2 отдельных препаратов фракции <2.5 мкм, каждый раз после высушивания обработанной пробы.

Для сравнительных исследований из профильных образцов лесостепных почв выделяли фракцию <2.5 мкм методом отмучивания из устойчивой суспензии полученной после обработки 1 моль/л CH_3COOH и ультразвуком при частоте 22 Гц без обработки 30 % H_2O_2 .

Кислотный гидролиз илистой фракции проводили 6 моль/л HCl при 110 °С в течение 24 ч. Определение аминокислотного состава проводили на ВЭЖХ Flexar (Perkin Elmer, США) с обратно-фазной колонкой Brownlee Analytical C18 и УФ-детектором настроенным на длину волны 254 нм. Обработку результатов проводили с помощью программы «Chromera».

Определение углерода органических соединений проводили на CHN анализаторе PE 2400 Series II производства Perkin Elmer. Спектры отражения регистрировали на спектрофотометре V-650 производства Jasco (программное обеспечение Spectra Manager II). Цветовые характеристики определяли на спектрофотометре X-RiteColor Digital Swatchbook DTP22 производства X-Rite, Inc. (программное обеспечение X-Rite ColorPort 2.0.5).

Обработку данных проводили с использованием MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Остаточное содержание органического углерода во фракции <2.5 мкм после одного цикла обработки 30 % H_2O_2 составило от 0.28 % (в слое 140–150 см гор. С темно-серой лесной почвы) до 1.54 % (в слое 4–10 см гор. А₁ выщелоченного чернозема). Оно показывает сильную прямую корреляционную связь с содержанием органического углерода в исходных образцах и закономерно уменьшается с глубиной по профилю. Для лесостепных почв это явление было обнаружено ранее и обсуждалось в печати (Гиниятуллин с соавт., 2012).

Повторение циклов обработки фракции <2.5 мкм окислительным реагентом и высушивания обработанного образца приводит к дополнительному удалению ОВ из препаратов. Эффективность окислительной деструкции ОВ можно выразить как долю остаточного органического углерода от его исходного содержания в препарате фракции <2.5 мкм, полученном после удаления карбонатов 1 моль/л CH_3COOH . Оказалось, что к четвертому последовательному циклу обработки 30 % H_2O_2 и высушивания полнота удаления органического углерода из фракции <2.5 мкм стабилизировалась и к восьмому циклу практически не изменилась, составляя для образца из верхней части профиля чернозема ~94–95 %, а из нижней части профиля – ~67–68 %. Поэтому более, чем двукратное повторение циклов обработки окислителем едва ли целесообразно, поскольку остающиеся компоненты ОВ явно обладают повышенной устойчивостью к окислительной деструкции.

Визуальная оценка препаратов фракции <2.5 мкм, выделенных без обработки и после обработки H_2O_2 , показывает, что окислительная деструкция ОВ приводит существенному осветлению окраски. По спектрам отражения в видимой области исходные образцы характеризуются регулярно увеличивающимся отражением, выражающимся в форме простой выпуклой кривой. Обработка окислителями приводит к сильному увеличению отражения. При этом на спектрах отражения появляются перегибы в областях 400–500 и 500–600 нм, которые связаны с присутствием в образцах соединений железа, окраска которых уже в меньшей степени маскируется ОВ. Численная оценка цвета в цветовом пространстве CIELAB показывает, что обработка H_2O_2 приводит к росту значений координаты L (светлоты). Особенно четко это проявляется для образцов из верхнего слоя лесостепных почв. Таким образом, можно заключить, что изменение окраски вполне однозначно связано с удалением ОВ.

В гидролизатах инертного ОВ илистой фракции лесостепных почв обнаружены типичные белковые аминокислоты. Группировка аминокислот в кислые, основные и нейтральные показала, что в составе инертного ОВ практически отсутствуют кислые аминокислоты. Основная часть аминокислот представлена нейтральными. В составе нейтральных аминокислот преобладают аминокислоты не несущие парциальных зарядов и не сольватирующиеся водой (гидрофобные).

По критерию Шапиро-Уилка для уровня значимости $\alpha=0.05$ экспериментально измеренные значения содержания групп аминокислот в препаратах илистой фракции, выделенных до и после окислительной деструкции ОВ, характеризовались нормальным распределением, поэтому для оценки различий между ними использовали параметрические показатели. Результаты t-теста оценки различий величин средних двух несвязных и неравных по численности выборок, которые распределены по нормальному закону, показали, что в темно-серой лесной почве для содержания всех групп аминокислот (рис.) окислительная деструкция ОВ приводит к значимым различиям. Для основных аминокислот значение t-критерия Стьюдента составляет 2.51, для кислых – 8.50, для гидрофильных – 6.99, для гидрофобных – 6.12, для нейтральных – 7.11, при критическом значении $t_{\text{ст}}=2.23$.

По сравнению с препаратами фракции <2.5 мкм, выделенными из профильных образцов темно-серой лесной почвы без обработки H_2O_2 , в групповом составе аминокислот инертного ОВ содержится больше основных (в 1.21 раза), гидрофобных (в 1.19 раза) и нейтральных аминокислот (в 1.13 раза). В то же время, в групповом составе аминокислот инертного ОВ меньше кислых и гидрофильных аминокислот (в 5.71 и 1.27 раз, соответственно).

Установлено, что повторение последовательных циклов обработки илистой фракции 30 % H_2O_2 и высушивания, не приводит к удалению аминокислот из инертного ОВ (таблица). При этом основные закономерности группового состава аминокислот гидролизатов инертного ОВ практически не претерпевают изменений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее очевидным результатом работы является то, что в составе аминокислот инертного ОВ илистой фракции лесостепных почв преобладают нейтральные и гидрофобные аминокислоты. Присутствие полипептидов в составе инертного ОВ представляется маловероятным. Реалистичные объяснения, имеющие ясный физический смысл, могут быть основаны на сорбции низкомолекулярных органических компонентов на поверхностях глинистых минералов с лабильной кристаллической решеткой. Определяющими становятся сродство молекул аминокислот к фазе водного раствора и сродство их к функциональным группам минеральных поверхностей. Белковые аминокислоты принято представлять общей формулой $\text{RCH}(\text{NH}_2)\text{COOH}$ и различать по характеру боковой группировки (R). Наиболее растворимы аминокислоты, у которых группировка R представлена гидрофильными группами. Таким образом, в основе закономерностей определяющих особенности аминокислотного состава ОВ связанного тонкодисперсными минеральными

фазами лесостепных почв в устойчивой к окислению форме лежит селективное связывание нейтральных и гидрофобных аминокислот, которое обусловлено физико-химическими причинами.

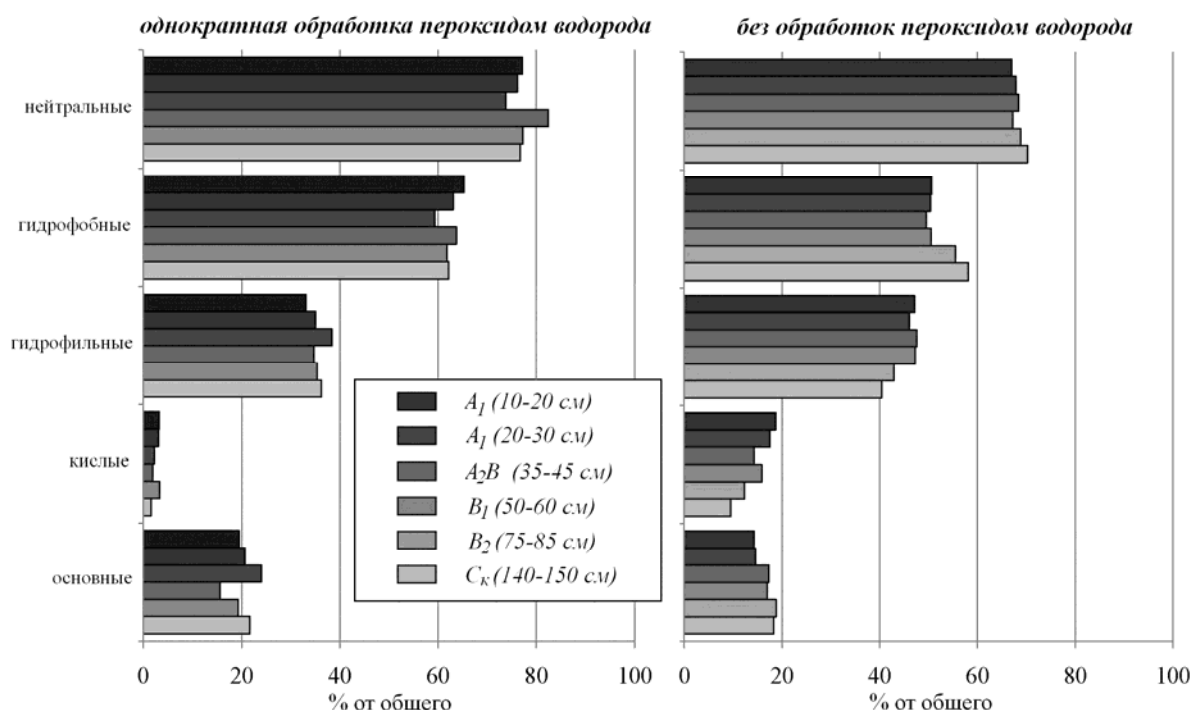


Рисунок. Групповой состав аминокислот в кислотных гидролизатах илистой фракции темно-серой лесной почвы.

Таблица. Влияние повторных обработок илистой фракции из горизонта A_1 (слой 15–25 см) выщелоченного чернозема окислительным реагентом на аминокислотный состав гидролизатов, в мольных %.

Аминокислота	Без обработки	Один цикл обработки H_2O_2	Четыре цикла обработок H_2O_2
<i>Lys</i>	4.43	3.38	6.10
<i>His</i>	3.51	6.79	6.36
<i>Arg</i>	3.96	5.74	6.42
Основные:	11.90	15.91	18.89
<i>Asp</i>	6.91	0.97	0.34
<i>Glu</i>	13.16	2.48	1.29
Кислые:	20.06	3.46	1.62
<i>Tre</i>	5.58	4.33	2.11
<i>Ser</i>	6.32	8.96	6.11
Гидрофильные:	43.86	32.66	28.73
<i>Pro+Ala</i>	17.65	21.49	23.96
<i>Gly</i>	16.05	14.87	14.37
<i>Val</i>	7.89	9.46	9.50
<i>Ile</i>	4.19	5.29	5.44
<i>Leu</i>	5.42	10.80	12.08
<i>Phe</i>	2.23	3.19	4.05
Гидрофобные:	53.43	65.10	69.40
<i>Tyr</i>	2.70	2.25	1.88
Нейтральные:	68.03	80.63	79.49

ЛИТЕРАТУРА

1. Гиниятуллин К.Г., Шинкарев А.А., Кринари Г.А., Шинкарев (мл.) А.А., Шинкарев А.А., Кринари Г.А., Лыгина Т.З., Губайдуллина А.М., Корнилова А.Г., Мельников Л.В. Необратимая фиксация органических компонентов в лабильных промежутках как механизм кинетической стабилизации глино-органических структур // Почвоведение. 2012. № 11. С. 1211–1225.
2. Шинкарев А.А., Корнилова А.Г., Лыгина Т.З., Гиниятуллин К.Г., Гильмутдинов Р.Р. Использование элементного анализа для оценки исходной вертикальной однородности почвообразующей породы // Ученые записки Казанского государственного ун-та. Естеств. науки. 2010. Т. 152, Кн. 4. С. 78–91.
3. Carrado K.A., Decarreau A., Petit S., Bergaya F., Lagaly G. Synthetic clay minerals and purification of natural clays // Handbook of Clay Science. Vol. 1. Developments in Clay Science. Amsterdam: Elsevier Ltd, 2006. P. 115–140.
4. Eusterhues K., Rumpel C., Kögel-Knabner I. Stabilization of soil organic matter isolated via oxidative degradation // Org. Geochem. 2005. V. 36. P. 1567–1575.
5. Leifeld J., Kögel-Knabner I. Organic carbon and nitrogen in fine soil fractions after treatment with hydrogen peroxide // Soil. Biol. Biochem. 2002. Vol. 33. P. 2155–2158.
6. Mikutta R., Kleber M., Torn M.S., Jahn R. Stabilization of soil organic matter: association with minerals or chemical recalcitrance? // Biogeochemistry. 2006. Vol. 77. P. 25–56.
7. Pansu M., Gautheyrou J. Handbook of soil analysis. Mineralogical, organic and inorganic methods. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. 2006. 993 p.
8. Righi D., Diné H., Schulten H.-R., Schnitzer M. Characterization of clay-organic-matter complexes resistant to oxidation by peroxide // Europ. J. Soil Sci. 1995. Vol. 46. P. 423–429.
9. Schulten H.R., Leinweber P., Theng B.K.G. Characterization of organic matter in an inter-layer clay-organic-complex from soil by pyrolysis methylation-mass spectrometry // Geoderma. 1996. V. 69. P. 105–118.

УДК 631.433.3

ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ АНОМАЛИЙ НА ЭМИССИЮ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА ИЗ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ В ПОЛЕВОМ МОДЕЛЬНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Д.А. Хорошаев

Пушкинский государственный естественно-научный институт

Глобальные изменения климата, проявляющиеся не только в общем увеличении температуры воздуха, но и в увеличении частоты экстремальных погодных явлений, оказывают значительное влияние на эмиссионную составляющую углеродного цикла. В рамках полевого имитационного эксперимента установлено, что увеличение контрастности климата снижает потери $C-CO_2$ и почв на 32,8 %, а в условиях «мягкого» климата они увеличиваются на 10,3 %. Промерзание почвы снижает потери $C-CO_2$ из почв на 61–72 %, а увеличение аридности – на 5,4–38,1 % для умеренно засушливых и экстремально засушливых условий, соответственно. Показана достоверная взаимосвязь температуры и влажности с почвенными потоками CO_2 .

ВВЕДЕНИЕ

В рамках концепции глобальных изменений климата активно ведутся прогнозные расчеты будущих изменений климатических условий в различных частях земного шара (IPCC, 2014). Существует множество климатических моделей и сценариев, которые, в том числе, предполагают увеличение частоты возникновения климатических аномалий (Nikulin et al., 2010), а также увеличение засушливости для большей части Европейской части

Работа выполнялась при поддержке РНФ (№ 14-14-00625), РФФИ (№ 15-04-05156а) и гранта НШ-6123.2014.4.

© Д.А. Хорошаев, 2017

России (Второй оценочный доклад..., 2014). Известно, что основные составляющие биогенного цикла углерода в наземных экосистемах в значительной степени зависят от климатических условий. Интенсификация процессов промерзания-оттаивания и иссушения-увлажнения могут неравнозначно воздействовать на потоки углерода (С), связанные с отдельными компонентами наземных экосистем (Курганова, Лопес де Гереню, 2015; Курганова, Типе, 2003; Курганова и др., 2011). Целью нашей работы стало изучение влияния климатических аномалий на потоки CO_2 из почв в полевом модельном эксперименте, позволяющем имитировать климатические условия различной контрастности за счет регулирования увлажнения летом и глубины снежного покрова зимой.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводили в 2014–15 гг. на опытных площадках Института физико-химических и биологических проблем почвоведения ИФХиБПП РАН (Пушино, Московская область). В рамках круглогодичных наблюдений предусматривались 3 варианта опыта, имитирующие различные климатические условия: (1) оптимальное увлажнение (Ув) летом и утепление (Ут) зимой – «мягкий» климат, (2) кратковременные засухи (КЗ) и естественный уровень снежного покрова (К) – контроль, (3) длительная засуха (ДЗ) и отсутствие снежного покрова (П) – «контрастный» климат. Каждый вариант опыта включал в себя по 4 площадки размером 2×2 м: две с луговой растительностью (разнотравно-злаковая ассоциация) и две под паром. Определение интенсивности потоков проводили в среднем один раз в 3 дня, с помощью газового анализатора LiCOR 6400 в летний период и LiCOR 820 в зимний. Температура почвы измерялась автоматическими логгерами на глубинах 0–5–10–20 см, 6 раз в сутки. Влажность измеряли с помощью полевого электронного влагомера (DELTA-T HH2) в момент определения дыхания почв.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Суммарные годовые потери углерода в виде CO_2 (C-CO_2) из почв в зависимости от варианта опыта из почв паровых участков составляли $347\text{--}446 \text{ г С/м}^2$, а на участках под травой – $1182\text{--}1933 \text{ г С/м}^2$. Летняя эмиссия CO_2 на травянистых участках превышала зимнюю в 12–42 раза, в то время как на пару это увеличение было менее существенным (в 2–11 раз).

В летний период суммарные потери углерода на пару не зависели от продолжительности засух, в то время как на травянистых участках наблюдалось достоверное снижение газообразных потерь углерода на 5.4 % для КЗ и на 38.1 % для ДЗ по отношению к Ув (рис. 1б). При этом режим увлажнения в значительной мере влиял на динамику летних потоков С. Так, для пара, максимум потерь C-CO_2 из почв на варианте Ув пришелся на июнь–июль, на вариантах КЗ и ДЗ – на май. В варианте КЗ наблюдается дополнительный локальный максимум выделения CO_2 из почв в августе. Для участков с травой максимум потерь C-CO_2 на вариантах Ув и ДЗ пришелся на июнь, а на варианте ДЗ локальный максимум наблюдался еще и в сентябре. Для варианта КЗ наблюдали иную ситуацию: максимум потерь пришелся на август, в то время как потери в июне становятся вторым, локальным максимумом.

В целом промерзание почвы снижало потери C-CO_2 на 61–72 % на площадках с травой и на 69–76 % – на парующей почве (рис. 1а). Во время первого оттаивания почвы после первого осеннего заморозка в конце октября 2014 г., потоки с неутепленных участков на траве увеличились на 33–37 %, на пару увеличение составило 21–35 %. В конце ноября произошло глубокое промерзание почвы. Температура на глубине 20 см достигала –3.7 °С. Средняя скорость выделения CO_2 в этот период на неутепленных участках упала в 2 раза. На участках с искусственным утеплением дыхание снизилось на треть. Во время сильной зимней оттепели 17.12–25.12 наблюдалась неравномерная динамика потоков. Выделение CO_2 стало расти с увеличением температуры почвы до начала оттаивания, несмотря на то, что температура находилась в отрицательной области и достигло максимальных значений к первому дню оттепели – 17 декабря, после чего стало снижаться, что

можно связать с эффектом затопления. Пиковое значение эмиссии CO_2 в этот период было выше среднего за предшествующий морозный период на 14–29 % для контроля и на 58 % выше для участков без снежного покрова. Меньшие значения в варианте К могут быть связаны также с дополнительным притоком влаги от таяния снега.

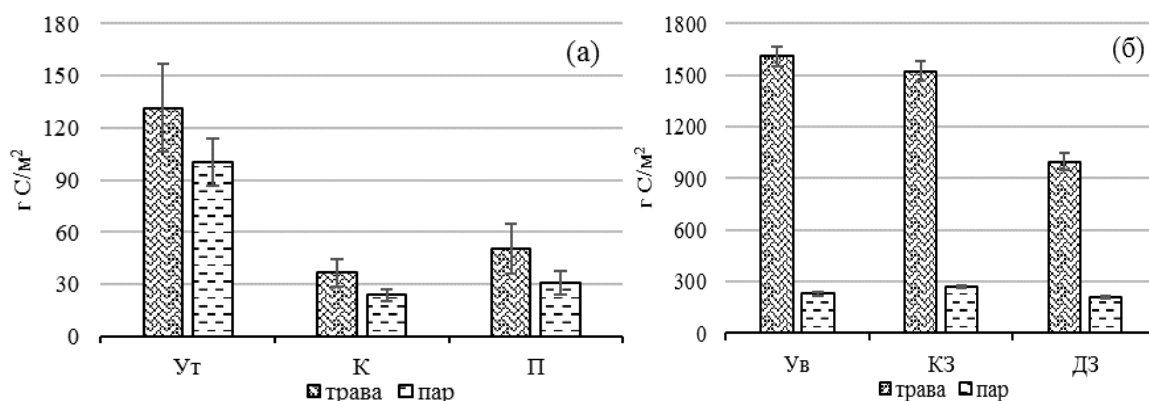


Рисунок 1. Кумулятивные потоки С- CO_2 из почв эксперимента за период октябрь 2014 – апрель 2015 (а) и апрель – сентябрь 2015 (б).

Выявлено устойчивое снижение годовых потоков CO_2 из почв травянистых ценозов с увеличением засушливости и контрастности почвенных температур (рис. 2). По сравнению с контролем (КЗ-К) наблюдалось увеличение потоков CO_2 на 10.3 % при моделировании «мягких» климатических условий и снижение потоков CO_2 на 32.8 % – при контрастном климате. Потери С- CO_2 на парующих участках достоверно отличаются лишь на варианте с контрастным климатом, где по сравнению с контролем потери уменьшились на 25.6 %.

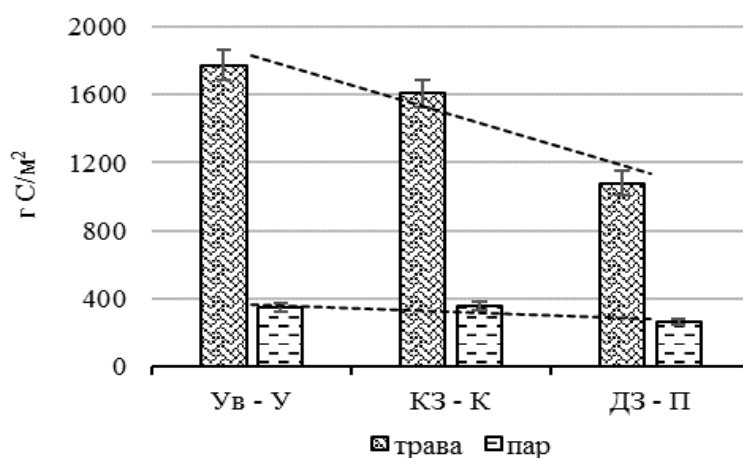


Рисунок 2. Кумулятивные потери С- CO_2 из почв эксперимента за 2014–15 гг.

Многофакторные регрессионные модели показывают тесную взаимосвязь между величиной среднесуточных потоков С- CO_2 из почв, их влажностью (W) и температурой на глубине 5 см за весь годовой цикл измерений (табл. 1). При этом парный корреляционный анализ не выявил наличие взаимосвязи между влажностью почвы и скоростью потоков С- CO_2 , в отличие от температуры верхнего слоя почвы. Но стоит обратить внимание на наблюдаемую разницу между вариантами опыта в потерях С- CO_2 . Возможно это связано с тем, что влажность контролирует скорость эмиссии CO_2 не напрямую, но оказывает ключевое влияние через множество опосредованных механизмов, таких как: формирование специфических микробоценозов, развитие растительного покрова, степень аэрации профиля почвы и т.д. Также невозможно было учесть конденсат, образующийся из-за разницы температур и вносящий огромный вклад в процессы почвенного дыхания.

Таблица 1. Регрессионные модели взаимосвязи температуры-влажности с потоками C-CO₂.

Факторы	Вариант опыта		R ²	F	X ₁ (W)	p-value	X ₂ (T ₅)	p-value
Влажность, температура почвы на глубине 5 см	травя	УВ	0.62	X → 0	0.14	0.96	17.98	0.0006
		КЗ	0.74	X → 0	0.17	0.90	17.79	X → 0
		ДЗ	0.73	X → 0	2.77	0.002	9.84	X → 0
	пар	УВ	0.94	X → 0	0.62	0.006	2.91	X → 0
		КЗ	0.80	X → 0	0.60	0.03	3.35	X → 0
		ДЗ	0.94	X → 0	0.84	X → 0	2.72	X → 0

Наблюдается тесная взаимосвязь между динамикой температур и эмиссией CO₂ на большинстве вариантов опыта в течение зимней стадии эксперимента (таблица 2). При этом связи более выражены на участках с травой. Это может быть связано, с одной стороны, с буферной функцией корнеобитаемого слоя для микроорганизмов, а с другой – реакцией самих растений на изменение температуры. Помимо этого, наблюдается отсутствие взаимосвязи между температурой почвы и скоростью потоков C-CO₂ на утепленном паре, где температура верхнего слоя почвы за зимний период колебалась вокруг отметки 0 °С. Возможно, в данном случае определяющим фактором является динамика влажности, которая сильно варьирует из-за постоянной смены агрегатного состояния воды.

Таблица 2. Корреляционная матрица (R²) взаимосвязи между скоростью потоков C-CO₂ и температурой почвы на различных глубинах в течение зимней стадии эксперимента.

	Трава					Пар				
	T воздуха	T ₀	T ₅	T ₁₀	T ₂₀	T воздуха	T ₀	T ₅	T ₁₀	T ₂₀
УТ	0.06	0.73	0.74	0.74	0.73	0.03	0.20	0.19	0.18	0.17
К	0.47	0.71	0.75	0.77	0.72	0.10	0.20	0.38	0.51	0.69
П	0.24	0.75	0.83	0.84	0.80	0.23	0.64	0.65	0.65	0.64

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования позволили заключить, что создание контрастных климатических условий сильно влияет на суммарные потери углерода из почв, снижая их в зависимости от силы проявления фактора (длительности засух или интенсивности промерзания почв). Наряду с изменением суммарной величины потерь C-CO₂ из почв, меняется сезонная структура почвенного дыхания, система переходит в другой режим функционирования, подстраиваясь под изменения окружающей среды. Таким образом, при оценке влияния изменений климата на эмиссионную составляющую углеродного цикла необходимо учитывать весь возникающий спектр микроклиматических условий и более глубокое изучение механизмов воздействия гидротермических условий на дыхание почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории российской федерации.* Росгидромет, 2014.
2. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О. Вклад абиотических факторов в усиление эмиссии CO₂ из почв при процессах замораживания – оттаивания // Почвоведение, 2015, № 9, с. 1145–1152.
3. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Петров А.С., Мякина Т.Н., Сапронов Д.В., Аблеева В.А., Кудяров В.Н. Влияние наблюдаемых климатических изменений и экстремальных погодных явлений на эмиссионную составляющую углеродного цикла в различных экосистемах южно-таежной зоны // Доклады академии наук, 2011, том 441, № 6, с. 845–849.
4. Курганова И.Н., Туне Р. Влияние процессов замерзания – оттаивания на дыхательную активность почв // Почвоведение, 2003, № 9, с. 1095–1105.

5. Nikulin G., Kjellström E., Hansson U., Strandberg G. and Ullerstig A. Evaluation and future projections of temperature, precipitation and wind extremes over Europe in an ensemble of regional climate simulations // *Tellus*, 2010, p. 1–15.
6. IPCC, 2014: *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.

Работа рекомендована д.б.н. И.Н. Кургановой и к.т.н. В.О. Лопесом де Гереню, ведущими научными сотрудниками лаборатории почвенных циклов азота и углерода ИФ-ХиБПП РАН, г. Пущино.

КАФЕДРЫ ПОЧВЕННОГО ОТДЕЛЕНИЯ ЛГУ В ГОДЫ ВОЙНЫ (1941–1945)

А.Ф. Цыганенко

До и во время войны, а затем и после войны до 1949 г. кафедра экспериментального почвоведения и кафедра географии почв были в составе геолого-почвенного факультета. После печальной памяти Августовской сессии ВАСХНИЛ (1948 г.) в 1949 г. обе кафедры были переведены на биологический факультет и вместе с вновь организованной кафедрой агрономии (ныне агрохимии) образовали почвенное отделение биолого-почвенного факультета. В 1963 г. при сокращении числа кафедр на факультете две почвенные кафедры были объединены в кафедру почвоведения и географии почв, готовящей почвоведов по трём специализациям: почвенно-химической, почвенно-географической и почвенно-мелиоративной. (О рождении, развитии и современном состоянии почвоведения и агрохимии в Петербургском – Ленинградском университете см. в газете «Ленинградский университет» № 36–37, 25 ноября и 2 декабря 1983 г.).

Сотрудниками кафедры экспериментального почвоведения в 1941 г. были зав. кафедрой чл.-кор. АН СССР проф. Б.Б. Польшов, и.о. доцента М.Д. Рыдалевская и ассистенты (кандидаты геолого-минералогических наук): Л.Н. Александрова, П.А. Яцюк и Е.И. Шилова, аспиранты С.М. Миневич и Н.М. Орехова. На кафедре читались курсы: почвоведение, почвенный анализ, почвенные коллоиды, почвенная микробиология, основы земледелия.

Кафедра географии почв в 1941 г. имела преподавательский штат: зав. кафедрой проф. М.И. Рожанец, и. о. доцента (к.г.-м.н.) А.Ф. Цыганенко и ассистент (к.г.-м.н.) И.Н. Скрынникова. На кафедре читались курсы: география почв (для специальности почвоведение), почвоведение и география почв (для географического факультета), почвенное картирование, почвы СССР, мелиорации почв.

Начало войны (22 июня 1941 г.) застало студентов младших курсов и преподавателей на учебной практике в Саблино и на полях Донского сельхозинститута (п. Персиановка Ростовской области). Многие студенты старших курсов уже успели уехать на производственную практику в различные районы страны. С первых дней войны почти все сотрудники кафедр участвовали в строительстве оборонных сооружений в пригородах Ленинграда и на территории Ленинградской и Новгородской областей. П.А. Яцюк был призван в армию, а А.Ф. Цыганенко вступил в ополчение. Б.Б. Польшов ещё до блокады уехал в Москву, а потом с Почвенным институтом АН СССР выехал в Среднюю Азию.

До 1 сентября почти все студенты и преподаватели участвовали в оборонных работах, а с 1 сентября начались занятия, хотя многие оставались на строительстве оборон-

Статья подготовлена к печати А.А. Цыганенко и профессором кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ Н.Н. Матинян

© А.Ф. Цыганенко, 2017

ных сооружений на Карельском перешейке и в пределах города, работали в госпиталях, в командах МПВО. До 30 июля я находился в ополчении и перед отправлением на фронт был признан годным только к нестроевой службе и «за невозможностью использования в полку» направлен по месту работы. С 1 по 18 августа был на строительстве противотанковых рвов под г. Лугой, с 19 по 31 августа – под Гатчиной, с 3 по 6 сентября – на Карельском перешейке. 6 сентября заболел (приступ почечных колик) и был доставлен в больницу им. К. Маркса (в Ленинграде). С 8 сентября 1941 г. до середины января 1942 г. – в команде МПВО ЛГУ (дежурство на вышке над зданием во дворе университета). С 4 сентября начались систематические обстрелы города дальноточной артиллерией, а с 8 сентября – регулярные ночные налеты авиации. В сентябре было разрушено университетское студенческое общежитие на 5-й линии, погибли несколько студентов. В октябре (кажется в ночь на 13 октября) на здания и двор главного здания университета посыпались зажигательные бомбы. Успешное тушение пожара командой МПВО было отмечено в приказе ректора от 23 октября 1941 г. В декабре бомба замедленного действия упала перед входом в 8-ю (университетскую) столовую. При попытке её обезвредить она взорвалась, погибло 7 человек.

Главной бедой ленинградцев были голод и холод. С конца августа стали уменьшаться нормы хлеба и продуктов. Преподаватели и студенты получали продукты по категории служащих: хлеб в июле и августе 600 г, с 2 сентября – 400 г, с 12 сент. – 300 г, с 1 октября – 200 г, с 13 ноября – 150 г, с 20 ноября – 125 г; с 25 декабря норма хлеба была повышена – мы стали получать 200 г.

Появилась какая-то надежда на спасение от голода. В связи с этим радостным событием профорг кафедры почвоведения, старший лаборант Анастасия Михайловна Мясникова как-то достала билеты на праздничный дневной новогодний концерт в Большом зале Филармонии. Этот концерт нельзя забыть: промерзшие стены зала и покрытые инеем колонны, дующие на пальцы пианисты и скрипачи, вокальных номеров, конечно, не было. Нас, почвоведов было трое: А.М. Мясникова, Е.И. Шилова и я. Мне и Анастасии Михайловне с её мужем было по пути, и мы после концерта долго шли по заваленному снегом Невскому, по Владимирскому пр. (я жил в районе Варшавского вокзала). В дни свободные от дежурства в команде МПВО я ночевал дома и мог преодолевать расстояние от университета до 11-й Красноармейской улицы в один конец. После 10-тилетней жизни по общежитиям (студенческим, аспирантским) мне удалось (при содействии семьи А.А. Хантулева) снять комнату в коммунальной квартире. В этой комнате меня и застала война. Питался я по столовым, и дома никаких продуктов не было. 29 июня 1941 г. я ушёл в ополчение, август – начало сентября – оборонные работы, а потом МПВО. В начале января 1942 г. я настолько ослабел, что мог дойти только до булочной, чтобы получить 200 г. блокадного хлеба. О моей неявке на дежурство в команде МПВО стало известно в деканате. Декан факультета С.С. Кузнецов внес меня в список лиц, направляемых в городской стационар-пансионат для дистрофиков (гостиница «Астория»), и попросил учёного секретаря факультета Е.И. Шилову разыскать меня. Помню эти дни. Жильцы квартиры редко появлялись, так как на работе было теплее и сытнее. В квартире давно уже не горел газ, водопровод не действовал, и за водой нужно было идти в подвал соседнего дома, где ещё не замерз водопровод. Но воду не на чём было кипятить. Хозяйка, у которой я снимал комнату, работала на мебельной фабрике и иногда приносила щепки и обрезки досок, и тогда можно было в печке что-нибудь сварить. Оторвавшись от команды МПВО, я совсем обессилел, несколько дней питался только хлебом и холодной водой. Для меня стало ясно, что я обречён. Донимал ещё и холод. Я не высыпался, в постели было ещё холоднее, чем сидеть одетым и обутым.

Наступил, как мне казалось, последний день. Я попытался сходить за хлебом, вышел на улицу, но почувствовал, что до Измайловского проспекта не дойду. Вспомнил, как несколько дней назад, возвращаясь из университета, я помог подняться такому же, как

теперь я, дистрофику, довёл его домой. Жена его сразу спросила: – А где карточки? – Ук-
рали. Душераздирающий крик: – Мы погибнем.

Не дойдя до булочной, вернулся домой. Помню как во сне: открывается дверь и по-
является мой спаситель – Екатерина Ивановна. До меня не сразу дошло то, что она гово-
рила. В команде МПВО были разговоры об «Астории», но это стационар для учёных, ар-
тистов, художников. Неужели и я могу туда попасть? Но Екатерина Ивановна вручила
мне направление. Появилась вера в спасение, а с нею и силы, и я смог дойти до спаси-
тельной «Астории», где пробыл около месяца. С нашего факультета, кроме меня, там бы-
ли Л.Б. Рухин и С.А. Персин. С географического – декан факультета С.В. Калесник и
С.П. Шустров.

5 февраля на факультете в помещении кафедры гидрогеологии состоялись защиты
двух кандидатских диссертаций: М.Д. Рыдалевской – «Исследования в области изучения
гуминовых кислот различных типов почв» (оппоненты: М.И. Рожанец и Е.И. Шилова) и
С.М. Миневича «Приёмы улучшения песчаных почв Полесской с.-х. опытной станции»
(оппоненты: М.И. Рожанец и Л.Н. Александрова). Ещё в декабре я был назначен и.о. зав.
кафедрой географии почв и введен в состав учёного совета факультета. Поэтому меня
пригласили (из «Астории») на это заседание. М.И. Рожанца в Ленинграде уже не было,
он уехал на Алтай с Пушкинским сельхозинститутом, где он заведовал кафедрой почво-
ведения.

Выписавшись из «Астории», я вернулся в команду МПВО ЛГУ. В конце февраля
началась эвакуация университета в Саратов: первый эшелон отправился 26 февраля, вто-
рой – 28 февраля и третий – 2 марта. На каждой кафедре оставались по 1–2 сотрудника
как хранители. Это были те, кто по семейным обстоятельствам не могли уехать. Кафедру
почвоведения охраняла на протяжении всей блокады старший лаборант А.М. Мясникова.
На кафедре географии почв никого не было, и её помещения, находившиеся в здании
университета на 10-й линии, остались без надзора. Я по состоянию здоровья не решился
уехать с первыми эшелонами и уехал только 23 марта в сборном эшелоне, следовавшем
на Северный Кавказ, и нам, сотрудникам и студентам университета, пришлось в
г. Мичуринске пересаживаться на поезд, идущий до Саратова. Ехали мы 19 дней (в Сара-
тов прибыли 10 апреля) в товарных вагонах. Первые три университетских эшелона со-
стояли из пассажирских вагонов и шли до Саратова не больше двух недель. Я прибыл в
Саратов в тяжелом состоянии и не скоро стал на ноги. Сотрудников ЛГУ поселили в од-
ной из гостиниц, а студентов – в общежитиях Саратовского университета, в помещениях
которого проходили и учебные занятия. Наши студенты-почвоведы имели возможность
работать в лабораториях кафедры почвоведения Саратовского университета. Хуже было с
аудиториями: студентов было мало, но студенческих групп много. Часто приходилось
читать лекции в коридорах или в комнатах общежитий.

Нас, преподавателей-почвоведов, было четверо: на кафедре почвоведения доцент
М.Д. Рыдалевская (и.о. зав. кафедрой) и ассистент Е.И. Шилова; на кафедре географии
почв доцент А.Ф. Цыганенко (и.о. зав. кафедрой) и ассистент И.Н. Скрынникова. Кафед-
ра географии почв, кроме своего геолого-почвенного факультета, обслуживала и геогра-
фический.

После окончания занятий со студентами в июне 1942 г. я ездил по районам Саратов-
ской области по вербовке абитуриентов средних школ в ЛГУ. В июле был откомандиро-
ван в распоряжение Военпроекта Приволжского военного округа и работал в экспедиции
по проектированию военных аэродромов в Куйбышевской области. В августе со студен-
тами ездил на уборочные работы в районы Саратовской области, а в сентябре–октябре
учебные занятия сочетались с заготовкой дров для университета. Очень трудно было про-
водить практические занятия по читаемым курсам из-за отсутствия пособий, картографи-
ческих материалов. Учебная полевая практика ограничивалась экскурсиями в окрестно-
стях Саратова. Ещё труднее было устроить студентов на производственную практику. Но
Е.И. Шилова и И.Н. Скрынникова сумели не только найти места практики, но и руково-

дили в поле: Е.И. Шилова на Краснокутской сельскохозяйственной опытной станции и на Валуйской мелиоративной станции, а И.Н. Скрынникова в экспедиции по исследованию заморных для рыбы водоёмов поймы Волги.

Осенью 1942 г. Нижнее Поволжье стало прифронтовым. Еще летом Саратов часто подвергался интенсивным бомбёжкам (заводы, пристани, железнодорожный мост, аэродромы). Город был перенаселен беженцами. Зима 1942–43 г. для Ленинградского университета во многом повторяла зиму 41–42 г.: скудное питание, неотапливаемые помещения и прочее. Особенно трудно было семейным сотрудникам с детьми. Помню, каким радостным событием была неожиданная дополнительная (разовая) выдача сотрудникам университета различных продуктов. Только ограниченный круг лиц знал, как это произошло. А дело было так. Профессор нашего факультета, заведующий кафедрой минералогии С.М. Курбатов переписывался с академиком В.И. Вернадским (он тогда находился в Боровом, в Казахстане). Владимир Иванович написал вице-президенту АН СССР А.Е. Ферсману о тяжёлом положении ЛГУ. А.Е. Ферсман обратился к наркому торговли А.И. Микояну с просьбой помочь университету, и нарком дал указание саратовским снабженцам оказать посильную помощь. Положение научных работников и преподавателей вузов, имеющих учёные степени, резко улучшилось с середины 1943 г., когда для них были введены т.н. лимитные карточки.

Осенью 1942 г. было открыто Саратовское месторождение газа (у пос. Елшанка близ северо-западной окраины Саратова) и началось строительство газопроводов: Саратов–Москва и Елшанка–Саратов. К этим работам привлечён был и наш университет. К концу зимы 1942–43 г. саратовская электростанция уже работала на газе. Наши геологи во главе с деканом факультета С.С. Кузнецовым, в содружестве с Саратовским геологическим управлением, включились в разведочные работы, увенчавшиеся открытием в окрестностях Саратова и месторождений нефти. В этой ситуации почти все студенты старших курсов, которые должны были специализироваться по почвоведению, ушли к геологам и производственную практику проходили по геологии. Учебную летнюю практику после 1-го и 2-го курсов по геологии, ботанике и почвоведению, как и в предыдущем, в 1943 г. пришлось проводить, экскурсируя в окрестностях Саратова. Теперь эта практика сочеталась с работами в подсобном хозяйстве университета.

Ранней весной 1943 г. мне пришлось участвовать в поисках земельного массива для подсобного хозяйства университета. В пределах правобережной части довоенной Саратовской области было несколько немецких колхозов, их летом 1942 г. переселили в Сибирь (автономную республику немцев Поволжья ликвидировали, и её население было переселено в Казахстан и Сибирь ещё летом 1941 г.). В одном из ближайших от подсобного хозяйства Саратовского университета колхозов, организованных из беженцев, мы увидели скошенные, но не убранные поля проса и пшеницы. Колхоз не был заинтересован в этом земельном массиве и уступил его Саратовскому университету. Но на этом участке, площадью около 50 га, был только один большой сарай. Поэтому хозяйственную базу пришлось организовывать в подсобном хозяйстве Саратовского университета, находившемся примерно в 15 км. Директором хозяйства был назначен бывший аспирант кафедры экспериментального почвоведения С.М. Миневич, а почвенные кафедры как бы курировали это хозяйство. Несмотря на то, что я был помощником декана, мне пришлось много времени уделять этому хозяйству. Директор жил на базе и в основном добывал все необходимое для ведения хозяйства. Постоянно на этом «хуторе» жили только завхоз, сторож и кухарка. Все работы, кроме пахоты и посева, выполняли студенты и преподаватели. Многие преподаватели и служащие имели там огороды. Место для огородов было удобное, в долине небольшой речки Курдюм, притока Волги. Соседом у меня по огороду был С.М. Курбатов. На склоне долины близ глубокого суффозионного озера я вырыл землянку, которой пользовались многие, работавшие на огородах.

Для студентов геолого-почвенного и географического факультетов работа в хозяйстве чередовалась с учебной практикой. Эти места были удобны для геологической и почвенной практики, так как коренные породы и разнообразные почвы обнажались в окопах, вырытых в предыдущем году и свежих траншеях, в которые укладывались трубы для подачи воды из рек к буровым разведочным скважинам. Из некоторых скважин вырывался газ и его с трудом укрощали, а одна горела несколько недель. Интерес к геологии и даже к почвам проявляли также некоторые студенты и преподаватели других факультетов. Помню как Борис Петрович Никольский, работавший со своими сотрудниками и студентами-химиками на прополке и окучивании картофеля, услышав разговор о солонцах, попросил меня показать ему солонец. «Много лет я, – сказал он – занимался физико-химией почв, а многих почв и в глаза не видел».

В это лето мы, преподаватели со студентами-почвоведом, посетили Научно-исследовательский институт зернового хозяйства Юго-Востока. Экскурсию по полям института проводил классик нашей агрономической науки – Алексей Григорьевич Дояренко. Он был однокашником и другом С.П. Кравкова (по кафедре агрономии Петербургского университета), вольнослушателем окончил юридический факультет нашего университета и Петербургскую консерваторию, а после того – Петровскую сельскохозяйственную академию (ныне Тимирязевка), 30 лет работал в Тимирязевке, в 1929 г. изгнан. После этого работал на Фаленковской (вятской) опытной с.-х. станции в г. Кирове. Перед войной поселился в Саратове, где умер в возрасте 84 лет (1958 г.). А.Г. Дояренко жил в институте, далеко от центра города, и это, к сожалению, лишило возможности привлечь его к работе родной ему каф. экспериментального почвоведения ЛГУ.

Памятным событием в жизни и деятельности ЛГУ в Саратове была научная сессия по истории русской и советской науки. В период с 22 мая по 10 июня 1943 г. состоялось 10 заседаний. Наш факультет представил 4 доклада: «Русские тектонические идеи» (С.С. Кузнецов), «Великий кристаллограф Е.С. Федоров» (И.И. Шафрановский), «Великий палеонтолог В.О. Ковалевский» (М.Э. Янишевский) и «Роль русских в создании науки о почве» (А.Ф. Цыганенко). Заседания были многочисленными, так как секций не было, все заседания были смешанными. Например, на заседании, где я читал доклад, выступали химик, географ и археолог. Труды этой сессии долго готовились к печати и почему-то не были опубликованы. Почти сразу после окончания научной сессии распоряжением ректора было поручено декану географического факультета С.В. Калеснику и ассистенту геолого-почвенного факультета Е.И. Шиловой возглавить группу в 100 человек студентов для участия в сельхоз работах в одном из заволжских районов Саратовской области. Другие отряды студентов и сотрудников университета направлялись на заготовку дров или в подсобное хозяйство. Когда начались уборочные работы, общежития студентов и сотрудников университета совсем опустели. Моя деятельность в подсобном хозяйстве в августе прекратилась, как помощник декана я должен был участвовать в приеме поступающих на факультет. А с октября начались занятия, чередующиеся с участием в уборочной кампании. Но постепенно учебная жизнь возрождалась.

Для кафедры географии почв начало 1943–44 учебного года осложнилось тем, что ассистент И.Н. Скрынникова была приглашена А.А. Роде в очную докторантуру в Почвенный институт АН СССР. Ирина Николаевна с радостью рассталась с Саратовом. Мне одному справиться с учебной нагрузкой невозможно. Была некоторая надежда, что удастся добиться демобилизации А.А. Хантулева. Он после ранения в первом же бою под Кингисеппом долго лежал в госпитале, был признан годным только к нестроевой службе, весной 1942 г. направлен в распоряжение Приволжского военного округа (в Саратов) и получил назначение преподавателем химии в Моршанское военное училище. В Саратове он несколько дней жил со мной в общежитии, и мы с ним договорились, что при первой возможности кафедра будет хлопотать об его откомандировании в распоряжение ЛГУ. Дело осложнялось тем, что Александр Александрович не работал в ЛГУ, а был аспиран-

том Пушкинского сельхозинститута. Декан факультета С.С. Кузнецов одобрил моё предложение, и ходатайство было послано в Моршанск. Но скоро ректорат получил отказ.

Конец 1943 и начало 1944 гг. были ознаменованы дальнейшими успехами на фронтах Великой Отечественной войны, снятием блокады Ленинграда. Для ЛГУ 1944 г. был юбилейным (125-летие). Многогранная деятельность учёных ЛГУ в 1942–1943 гг. получила признание научной общественности страны. На состоявшихся в 1943 г. выборах в АН СССР 13 университетских учёных были избраны академиками и членами-корреспондентами АН СССР. Весной 1943 г. ЛГУ было вручено Красное знамя саратовского горкома ВКП(б) и исполкома городского совета за лучшие среди вузов города показатели в работе. 21 февраля 1944 г. Президиум Верховного Совета СССР в связи с 125-летием со дня основания ЛГУ принял Указ о награждении ЛГУ орденом Ленина «за выдающиеся заслуги в деле развития русской науки и культуры, за большие успехи в подготовке высококвалифицированных кадров для страны». Одновременно 47 преподавателей и сотрудников университета награждались орденами и медалями Советского Союза.

24 февраля 1944 г. в саратовском театре оперы и балета им. В.Г. Чернышевского состоялось торжественное заседание коллектива ЛГУ совместно с общественными организациями города, посвященное юбилею ЛГУ и награждению его орденом Ленина. Буря оваций потрясла зрительный зал театра, когда поднялся занавес, и зрители увидели декорации, изображавшие Главное здание ЛГУ. На этом заседании были оглашены Указы Президиума Верховного Совета СССР, заслушаны многочисленные приветствия и доклад ректора А.А. Вознесенского, посвященный истории университета и его роли в развитии русской, советской и мировой науки.

Тяжёлый из-за учебной перегрузки 1943–44 год закончился (для меня) неожиданно: 18 марта 1944 г. я, в числе 30 сотрудников и студентов был командирован в Ленинград для подготовки эвакуации университета. В Москве нашу группу задержали, так как въезд в Ленинград ещё строго регулировался, и нужно было получить разрешение высшего начальства. И мы двое суток сидели на Ленинградском вокзале Москвы, пока не появился в Москве наш всемогущий ректор. За эти два дня мне удалось встретиться с несколькими лицами, имеющими отношения к нашим кафедрам. Навестил Б.Б. Польшова. Узнав от меня, что факультет против возвращения М.И. Рожанца на кафедру географии почв, Борис Борисович сказал, что он не прочь вернуться на кафедру географии почв. Зайдя в Почвенный институт, я попал на защиту диссертации и там встретил многих знакомых. В.А. Ковда просил не занимать в штате кафедры должность ассистента, освободившуюся после ухода И.Н. Скрынниковой, так как она не имеет возможности получить жилплощадь в Москве и живет в гостинице. Будучи в МГУ, у В.В. Геммерлинга по делам Госсортосети (до войны я работал у них по совместительству), встретил там Л.Н. Александрову. Она временно устроилась работать у Геммерлинга. Узнав о планах Б.Б. Польшова, Людмила Николаевна высказала опасение, что ей трудно будет вернуться на кафедру почвоведения ЛГУ, и ей действительно это не удалось.

От Москвы до Ленинграда мы ехали не прямо, а от Окуловки через Неболчи – Будогощь – Тихвин – Волховстрой и по построенной в 1943 г. в полосе прорыва блокады железной дороге от ст. Жихарево до Шлиссельбурга, по временному (деревянному) мосту пересекли Неву, снова переехали через Неву в Ленинграде и прибыли на Московский вокзал. Это было 26 марта 1944 г. Через несколько дней возобновилось движение пассажирских поездов по всей линии Ленинград–Москва.

Весна 1944 г. в Ленинграде была поздняя, в конце марта снег ещё не таял, и наша прибывшая из Саратова бригада занялась расчисткой тропинок во дворе Главного здания университета. Приехавший несколькими днями позже нас ректор созвал нас и распределил между нами обязанности. Начальнику отдела снабжения ЛГУ С.В. Лапину (нач. военной кафедры ЛГУ) и мне было поручено организовать подсобное хозяйство.

В сельхоз управлении Ленинградского облисполкома нам посоветовали обратиться в Гатчинский райсовет, так как в этом районе было много финского населения, которое во

время оккупации было немцами переселено в Финляндию. В Гатчине нам порекомендовали организовать подсобное хозяйство на землепользовании бывшего финского колхоза «Корпиково». Работу по организации хозяйства (до подыскания директора) ректорат поручил мне и аспирантке В.И. Гореловой. При освобождении Гатчины на этой территории шли ожесточённые бои, и в деревне и на полях было много трупов, боеприпасов, военной техники. Не вся территория была разминирована. В конце мая – начале июня университет был эвакуирован, в хозяйстве появилась рабочая сила и, наконец, ректорату удалось найти директора подсобного хозяйства

В 1944 г. у студентов каникул не было. Все силы были брошены на восстановление университета. Но геолого-почвенному, географическому и биологическому факультетам необходимо было провести летнюю учебную практику студентов. Ещё до возвращения университета ректор обязал доцента геофака И.И. Бабкова и меня выяснить состояние Саблинской учебной станции. 15 мая мы посетили Саблино. Здания станции уцелели, но были в таком состоянии, что проводить практику в это лето не представлялось возможным. Когда университет приехал и встал вопрос о практике, то было решено практику студентов географического и геолого-почвенного факультетов провести на базе подсобного хозяйства, а студентов-биологов – в Петергофе. Практику по почвоведению и картированию я провел со студентами почвоведов и геологами, попутно с изучением почв землепользования подсобного хозяйства.

К началу 1944–45 учебного года положение на почвенных кафедрах было следующим. Кафедра экспериментального почвоведения имела штат: зав. кафедрой проф. И.В. Тюрин, доценты М.Д. Рыдалевская и Е.И. Шилова, ассистент А.М. Мясникова. Кафедра географии почв: зав. кафедрой Б.Б. Полынов и доцент А.Ф. Цыганенко. Б.Б. Полынов продолжал работать в Почвенном институте АН СССР, жил, в основном, в Москве и в учебной работе кафедры участвовал мало (руководил аспирантами). Зачисленный им научным сотрудником С.В. Зонн тоже работал в Москве, и на кафедре не бывал. Центральным событием в жизни университета в 1944–45 учебном году стала юбилейная научная сессия, проходившая с 20 ноября по 8 декабря 1944 г. На геологической секции конференции были заслушаны два доклада почвоведов: И.В. Тюрина «Заслуги кафедры почвоведения ЛГУ в развитии проблемы почвенного гумуса» и А.Ф. Цыганенко «Почвы земледельческих районов Забайкалья». Исследования почв на территории Читинской области и Бурятии производились мною в 1939–1940 гг. по поручению Государственной комиссии по сортоиспытанию зерновых культур при Наркомземе СССР.

1945 год для кафедры географии почв был трудным и переломным: трудным в результате фактического отсутствия заведующего и необходимого штата преподавателей, а переломным потому, что кафедре удалось вдвое увеличить помещения, развернуть учебный почвенный музей. К концу года Б.Б. Полынов передал заведование кафедрой сотруднику Центрального музея почвоведения А.А. Завалишину и, наконец, на кафедру пришел демобилизованный из армии А.А. Хантулев. В 1947 г. кафедра вступила в состав заведующего – профессора (совместителя), доцента, ассистента и 2 лаборантов.

ХАРАКТЕРИСТИКА МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА ТОНКИХ ФРАКЦИЙ ПОДЗОЛИСТЫХ СУГЛИНИСТЫХ ПОЧВ В РИЗОСФЕРЕ ЕЛИ (НА ПРИМЕРЕ ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОГО ЗАПОВЕДНИКА)

Т.С. Чалова

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова

Ризосфера – небольшой объем почвы, отличающийся от основной почвы по ряду химических, физических, биологических и других характеристик. Целью нашего исследования было изучение специфики некоторых химических свойств, минералогического состава и трансформационных процессов в ризосфере ели горизонта АЕЛ подзолистой почвы. Результаты показали, что почва ризосферы характеризуется большим содержанием органического вещества и некоторых обменных оснований, повышенной кислотностью. Минеральные компоненты почвы ризосферы наиболее подвержены трансформационным изменениям.

ВВЕДЕНИЕ

Ризосфера – это небольшой объем почвенного пространства, прилегающего к корням растений и испытывающий непосредственное действие корневых выделений и почвенных микроорганизмов. Термин «ризосфера» был введен Гильтнером (Hilthner, 1904, цит. по [4]), который обратил внимание на специфику свойств почв в ризосфере бобовых растений. Позднее было показано, что почва в ризосферном пространстве отличается от почвы вне ризосферы по ряду химических, биологических, биохимических и физических показателей. Причиной является активное механическое и химическое воздействие корней, симбиотических микроорганизмов и их выделений на почву ризосферы.

Несмотря на то, что большая часть лесных почв в данный момент времени представляет собой внеризосферное пространство, почва корневой зоны непосредственно контактирует с корнями деревьев и поэтому является важнейшим компонентом лесного цикла питательных веществ [16]. Многие ученые [11, 12, 16, 17, 19, 20] отмечают повышенное содержание органического углерода, азота, обменных оснований, относительно низкие значения рН водных и солевых суспензий, увеличение показателей катионообменной способности почвы ризосферы. Кроме того, минеральные зерна ризосферы характеризуются высокой пористостью, трещиноватостью, специфической переориентировкой частиц относительно корневой поверхности [11].

Минеральные компоненты почвы – один из основных источников питательных элементов для растений. В ряде работ представлены результаты, оценивающие влияние различных растительных видов [12, 15, 18, 19, 20, 21], эктомикоризных грибов [12, 13, 17] и симбиотических бактерий [14, 18] на интенсивность процессов трансформации минералов в ризосфере. Характеризуя минералогический состав ризосферы, авторы [15, 19, 21] отмечают низкое содержание первичных минералов и их высокую степень выветрелости, а также повышенное количество глинистых (вторичных) силикатов по сравнению с основной почвой.

ОБЪЕКТЫ

Центрально-Лесной заповедник расположен на западе Европейской части России, на стыке двух административных районов Тверской области – Нелидовского и Андреапольского. Исследуемая подзолистая почва развита на хорошо дренированном слабонаклонном участке под пологом смешанного леса с участием ели и широколиственных пород с неморальным разнотравьем в напочвенном покрове. Почвообразующие породы двучленные – покровные суглинки, подстилаемые суглинистой мореной. Климат территории устойчиво влажный и прохладный. Средняя многолетняя температура составляет 3.6°[3, 6].

Объектами исследования являются образцы из ризосферы и внеризосферного пространства ели, отобранные из горизонта АЕЛ подзолистой почвы. Образцы отобраны в пятикратной повторности с площади около 6–7 м² под елями 15–20-летнего возраста.

Образцы почвы из ризосферы и внеризосферного пространства отбирали следующим образом. Сначала из горизонта АЕЛ отбирали общий образец, и из него извлекали корни с прилипшей на ней почвой. После встряхивания на корнях оставались «бусы» из почвенного материала, этот материал рассматривали как почву ризосферы. Остальная часть образца рассматривалась как почва внеризосферного пространства.

МЕТОДЫ

Углерод органических соединений определяли по методу Тюрина с фотометрическим окончанием. Значения рН водных и солевых суспензий (разбавление 1:2.5) определяли потенциометрически. Содержание обменных оснований было измерено в NH₄Cl вытяжке методом ААС. Значения обменной кислотности были определены методом непрерывного потенциометрического титрования [2].

Илистую и тонкопылеватую фракции выделяли методом отмучивания по Айдиняну [1] без предварительной химической обработки. Изучение минералогического состава тонких фракций проводилось методом рентген-дифрактометрии на приборе ДРОН-3 [7]. При статистической обработке были использованы приемы непараметрической статистики. Значимость различий оценивалась по двум непараметрическим критериям – знаковому тесту (signtest) (P1) и критерию Вилкоксона (P2).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Сравнение некоторых химических свойств ризосферы и почвы внеризосферного пространства

В ходе исследования было выявлено, что образцы ризосферы исследуемой почвы характеризуются более кислой реакцией среды. Причиной, вероятно, является активная жизнедеятельность организмов ризосферы – усиленное поглощение катионов металлов растением из почвы; выделение протонов с корневым экссудатами для поддержания электронейтральности в системе.

Таблица 1. Некоторые химические свойства ризосферы и основной почвы горизонта АЕЛ (n=5).

Свойство	Ризосфера	Почва вне ризосферы
рН водной вытяжки	3.90	4.13
рН солевой вытяжки	3.20	3.35
Обменная кислотность, ммоль/кг	25.75	17.80
Сорг, %	4.72	2.51
Обменные основания, ммоль/кг		
Ca	16.1	28.5
Mg	4.8	6.5
K	6.6	4.8
Na	2.6	2.1

Значения медиан рН водной и солевой суспензий ризосферы ниже в среднем на 0.2 единицы (табл. 1). Достоверность различий подтверждается двумя непараметрическими критериями (P₁=93 %, P₂=96 %). Основная причина различий между показателями рН водной и солевой суспензий заключается в том, что калий вытесняет в раствор дополнительное количество кислотных компонентов, представленных в минеральных горизонтах преимущественно Al, а в органогенных – протоном или смесью протона и алюминия.

Обменная кислотность ризосферы выше в 1.5 раза по сравнению с образцами основной почвы. Значения достоверно различаются только по критерию Вилкоксона (P₂ = 92 %). Знаковый тест более точный и чувствительный – поэтому здесь вероятность отно-

сительно мала ($P_1=63\%$). Значение одной из повторностей ризосферы сильно отличается от остальных (9.3 ммоль/кг). Медианные значения составляют 25.75 ммоль/кг и 17.8 ммоль/кг для ризосферы и внеризосферного пространства соответственно.

По содержанию Сорг ризосфера и внеризосферное пространство горизонта AEL различаются достоверно по обоим критериям ($P_1=93\%$, $P_2=96\%$). Медианные значения составляют 4.72 % и 2.51 % для ризосферы и внеризосферного пространства соответственно. Различия объясняются более активной жизнедеятельностью организмов в ризосфере и постоянным обогащением ризосферы отмирающими корневыми остатками.

При сравнении данных по содержанию обменных оснований достоверные различия между почвой ризосферы и внеризосферного пространства обнаружены для ионов калия и кальция ($P_1=93\%$, $P_2=96\%$).

В ризосфере Ca^{2+} содержится в меньшем количестве. Это можно объяснить тем, что в процессе жизнедеятельности растения выделяют большое количество кислотных компонентов, содержащих ионы H^+ , которые вытесняют обменный Ca из почвы ризосферы.

Обменный калий в большем количестве содержится в ризосфере по сравнению с внеризосферным пространством в горизонте AEL. В почве присутствует в легкодоступной (соли) и труднодоступной (калий минералов) формах. Растения в первую очередь активно поглощают K из почвенного раствора. По мере того, как содержание легкодоступного калия в ризосфере сокращается, труднодоступный калий минералов высвобождается и также становится усвояемым.

По содержанию обменных натрия и магния почва ризосферы и внеризосферного пространства горизонта AEL достоверно не отличаются.

Характеристика минералогического состава тонких фракций почвы

Образцы ризосферы характеризуются несколько большим содержанием тонких фракций. Объяснить этот эффект можно воздействием корней и симбиотических микроорганизмов ризосферы на почвенные частицы, в результате которого более интенсивно происходят процессы физического дробления частиц и химического выветривания.

Таблица 2. Среднее содержание (%) глинистых минералов во фракциях ила и тонкой пыли образцов ризосферы и внеризосферного пространства ($n=5$).

Образец	% от суммы трех компонентов		
	Каолинит + хлорит	Иллит	Лабильные силикаты
Ризосфера: ил (тонкая пыль)	51 (38)	30 (50)	19 (12)
Вне ризосферы: ил (тонкая пыль)	52 (40)	30 (48)	18 (12)

Во всех исследуемых образцах ила методом рентген-дифрактометрии [7] были обнаружены следующие минералы: кварц, каолинит, диоктаэдрический иллит, хлорит, почвенный хлорит, смешанослойные минералы с участием смектитовых пакетов. Процентное содержание отдельных групп минералов было рассчитано по методике Э.А. Корнблюма [5]. Значимых различий между образцами ризосферы и внеризосферного пространства илистой фракции по процентному содержанию отдельных групп минералов выявлено не было (табл. 2).

Важнейшую отличительную особенность образцов ризосферы можно наблюдать на рентген-дифрактограммах ила, насыщенного этиленгликолем (рис. 1). Смещение 1.4 нм пика в сторону малых углов θ , его ширина и степень асимметричности отражают степень трансформационных изменений минералов группы хлорита. Этот пик на рентгенограммах илистой фракции из образца внеризосферного пространства во всех повторностях характеризуется относительно высокой симметричностью и остротой. На рентгенограммах или-

стой фракции образцов из ризосферы практически во всех повторностях 1.4 нм максимум более широкий и асимметричный, он смещается в сторону малых углов при насыщении этиленгликолем, и иногда наблюдается самостоятельный максимум в области 1.7 нм (например, в повторности 5). Это свидетельствует о более глубоких трансформационных изменениях иллитов и, возможно, хлоритов в лабильные группы минералов (смешанослойные минералы с участием смектитовых пакетов и в минералы группы смектита) [10].

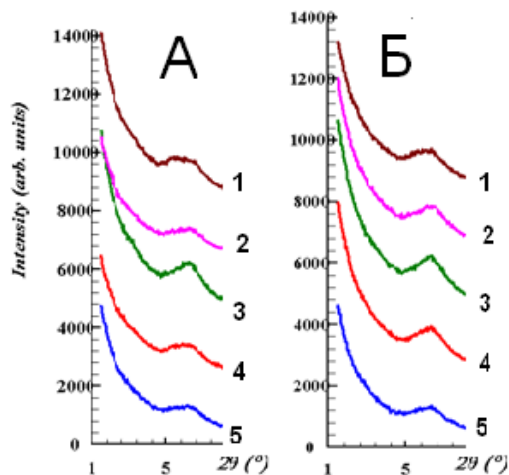


Рисунок 1. Фрагменты рентген-дифрактограмм препаратов ила ризосферы (А) и почвы внеризосферного пространства (Б), насыщенных этиленгликолем.

Тонкопылеватая фракция по набору глинистых минералов имеет много общего с илистой фракцией и представлена, в основном, каолинитом, диоктаэдрическим иллитом, почвенными хлоритами, лабильными силикатами. Большая роль по сравнению с илистой фракцией принадлежит неглинистым минералам – кварцу, полевым шпатам, амфиболу.

Процентное содержание отдельных групп глинистых минералов в процентах от суммы трех компонентов было рассчитано по методике Э.А. Корнблума [5]. По сравнению с илистой фракцией тонкопылеватая фракция относительно обогащена первичными минералами и минералами группы иллита. Содержание лабильных силикатов уменьшается в 1.5–2 раза. Это обстоятельство связано, очевидно, с меньшей степенью выветрелости минералов пылеватой фракции по сравнению с илистой. При сравнении тонкопылеватой фракции ризосферы и внеризосферного пространства явных различий выявлено не было. Полученные данные по содержанию и минералогическому составу тонких фракций почв согласуются с литературными данными для ранее исследованных почв заповедника [8, 9].

ВЫВОДЫ

1. В горизонте AEL почва ризосферы ели по сравнению с почвой внеризосферного пространства характеризуется достоверно (при $P > 95\%$):

- более кислой реакцией среды и более высоким содержанием С орг. в почве;
- более высоким содержанием илистой и тонкопылеватой фракций;
- более высоким содержанием С орг. в илистой и тонкопылеватой фракциях.

2. Во всех образцах и в ризосфере, и во внеризосферном пространстве, в составе илистой фракции были обнаружены следующие минералы: каолинит, диоктаэдрический иллит, хлорит, почвенный хлорит, смешанослойные минералы с участием смектитовых и вермикулитовых пакетов, кварц. Тонкопылеватая фракция относительно обеднена лабильными силикатами, но содержит больше неглинистых силикатов и минералов группы иллита.

3. По процентному содержанию отдельных групп глинистых минералов (каолинит + хлорит, иллит и лабильные минералы) илистая и тонкопылеватая фракции ризосферы значимо не отличаются от соответствующих показателей во внеризосферном пространстве горизонта AEL.

4. Илистая фракция ризосферы характеризуется более глубокими трансформационными изменениями иллитов и, возможно, хлоритов в смешанослойные иллит-сметитовые минералы вплоть до образования самостоятельной смектитовой фазы. Эту особенность можно объяснить более кислой реакцией среды в ризосфере, что способствует снижению заряда за счет реакций протонирования решеточных кислородов силоксановой поверхности.

5. При сравнении минералогического состава тонкопылеватой фракции ризосферы и внеризосферного пространства не было выявлено достоверных различий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айдинян Р.Х. Извлечение ила из почв: Краткая инструкция. М.: Гипроводхоз, 1960
2. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв, М., «Геос», 2006, – 400 с.
3. Гончарук Н.Ю. Почвенная карта заповедника и закономерности пространственного размещения почв. В сб. Труды Центрально-Лесного заповедника, выпуск 4. Тула, 2007, 195–219 с.
4. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 445 с.
5. Корнблум Э.А., Дементьева Т.Г., Зырин Н.Г., Бирин А.Г. Изменение глинистого материала при образовании южного и слитого черноземов, лиманной солоди и солонца // Почвоведение. 1972. № 1. С.107–114.
6. Регуляторная роль почв в функционировании таежных экосистем. М., «Наука», 2002, – 363 с.
7. Соколова Т.А., Дронова Т.Я., Толпешта И.И. Глинистые минералы в почвах. М., 2005. 336 с.
8. Соколова Т.А., Трофимов С.Я., Толпешта И.И., Дронова Т.Я., Строганова М.Н., Шоба С.А. Глинистый материал в почвах Центрально-лесного заповедника в связи с вопросами их генезиса и классификации // Вестн. Моск. Ун-та. сер. 17, Почвоведение. 1990. вып. 4. стр. 14–24.
9. Толпешта И.И., Соколова Т.А. Бонифачио Э., Фальсонэ Г. Почвенные хлориты в подзолистых почвах разной степени гидроморфизма// Почвоведение, 2010, № 7 с. 831–842.
10. Толпешта И.И., Соколова Т.А. Трансформация слоистых силикатов в почвах бореального и суббореального поясов: обзор литературы// Почвоведение 2013 № 9 с. 110–127.
11. April R., Keller D. Mineralogy of the rizosphere in forest soils of the eastern United States // Biogeochemistry. 1990. v. 9. p. 1–18.
12. Arocena J.M., Glowa K.R., Massicotte H.B., Lavkulich L. Chemical and mineral composition of ectomycorrhizosphere soils of subalpine fir (*Abies lasiocarpa* (Hook) Nutt.) in the E horizon of a luvisol // Canadian Journal of Soil Science. 1999 v. 79. p. 25–35.
13. Balogh-Brunstad Z., Keller K. C., Dickinson J.T., Stevens F., Li C.Y., Bormann B.T. Biotite weathering and nutrient uptake by ectomycorrhizal fungus, *Suillus tomentosus*, in liquid-culture experiments // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2008. v 72, p. 2601–2618
14. Calvaruso C., Turpault M.-P. & Frey-Klett P. Root-Associated Bacteria Contribute to Mineral Weathering and to Mineral Nutrition in Trees: a Budgeting Analysis // Applied and Environmental Microbiology. 2006. v. 72, p. 1258–1266.
15. Courchesne F., Gobran G.R. Mineralogical variations of bulk and rhizosphere soils from a Norway spruce stand // Soil Sci. Soc. Am. 1997. v. 61. p. 1245–1249.
16. Gobran G.R., Clegg S., Courchesne F. Rhizosphere processes influencing the biogeochemistry of forest ecosystems // Biogeochemistry. 1998. v. 42. p. 107–120.
17. Griffiths R.P., Baham J.E., Caldwell B.A. Soil solution chemistry in ectomycorrhizal mats in forest soil // Soil soil. biochem. 1994. v 26. p. 331–337.
18. Leyval C., Berthelin J. Weathering of a Mica by roots and rhizospheric microorganisms of pine // Soil Sci. Soc. Am. 1991. v. 55. p. 1009–1016.

19. Nordborg F., Olsson S. Changes in soil mineralogy and exchangeable cation pools in stands of Norway spruce planted on former pasture land // Plant and Soil. 1999. v. 207. p. 219–229.
20. Turpault M.-P., Utrerrano C., Boudot J.-P., Ranger J. Influence of mature Douglas fir roots on the solid soil phase of the rhizosphere and its solution chemistry // Plant and Soil. 2005. v. 275. p. 327–336.
21. Turpault M.-P., Nys C., Calvaruso C. Rhizosphere impact on the dissolution of test minerals in a forest ecosystem // Geoderma. 2009. v. 153. p. 147–154.

Работа рекомендована д.б.н., профессором Т.А. Соколовой.

УДК 631.41

ПРОЯВЛЕНИЕ БАРЬЕРНЫХ ФУНКЦИЙ ТРАВЯНИСТОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В УСЛОВИЯХ ПОЛИМЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

В.А. Чаплыгин, Т.М. Минкина, С.С. Манджиева, Л.Ю. Маштыкова

Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону

Изучено влияние свойств почвы и расстояния от источника техногенных выбросов на поступление Pb, Zn, Cd, Cu, Mn, Cr и Ni в травянистые растения. Установлено, что в растениях, произрастающих вблизи НЧГРЭС, выявлено загрязнение Pb, Cd, Cr и Ni. Основным источником поступления металлов в растения являются их подвижные формы в почве.

ВВЕДЕНИЕ

Территории, подверженные многолетнему техногенному загрязнению, являются важными объектами исследований, направленных на изучение аккумуляции тяжелых металлов (ТМ) в растительных сообществах. Полиметаллическое загрязнение способно оказывать значительное влияние на состав и численность сообществ травянистых растений, поскольку различные виды растений накапливают в своей надземной части и корневой системе различные количества ТМ в соответствии с уровнем техногенной нагрузки и физиологическими особенностями культуры (Демедчик и др., 2001; Минкина и др., 2013; Marques etc., 2009; Кашин, 2014). Поэтому актуальность изучения содержания ТМ в растениях растет с каждым годом в связи с усилением антропогенного воздействия (Лукин, 2005; Motuzova etc., 2014). Попадая в растения из почвы и воздуха, ТМ способны аккумулироваться в растительных тканях в большом количестве и по трофической цепочке переходить в организмы животных, а затем и человека.

Особого внимания заслуживает территория Нижнего Дона, поскольку регион является одновременно производителем сельскохозяйственной продукции и крупным промышленным центром. Такое тесное соседство сельского хозяйства и промышленности ведет к ряду экологических проблем, одной из которых является загрязнение окружающей среды ТМ. Предприятия энергетики, как и предприятия металлургической и рудодобывающей отраслей промышленности, являются источниками загрязнения окружающей среды ТМ. Так, 1 % всех выбросов поллютантов в атмосферный воздух в РФ приходится на филиал ОАО «ОГК-2» «Новочеркасская» ГРЭС (НЧГРЭС), в Ростовской области – свыше 50 %, на Новочеркасске – приходится порядка 90 % (Экологический вестник Дона, 2014). Негативные последствия выбросов предприятия, ведущие к накоплению металлов в растениях, могут отчетливо проявиться во времени. В связи с этим, важны результаты многолетних стационарных наблюдений за состоянием растений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 16-35-60055 мол_а_дк и Гранта Президента Российской Федерации МК-7285.2016.5.

© В.А. Чаплыгин, Т.М. Минкина, С.С. Манджиева, Л.Ю. Маштыкова, 2017

Несмотря на ряд работ, посвященных исследованию содержания микроэлементов в растениях и почвах различных регионов России (Вагун, 2011; Кашин, Убугунов, 2012; Жуйкова и др., 2009), влияние техногенного загрязнения ТМ растений Нижнего Дона изучено слабо (Соборникова, Кизильштейн, 1990).

Цель работы – изучение накопления и распределения Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Mn и Cr в травянистых растениях зоны влияния НчГРЭС.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Мониторинговые площадки были заложены в 2000 году на разном расстоянии (от 1 до 20 км) от НчГРЭС и приурочены к точкам отбора проб воздуха, производимого в рамках проекта по организации и обустройству санитарно-защитной зоны северного промышленного узла г. Новочеркасска. Почвенный покров большинства мониторинговых площадок (№ 1, 4, 5, 7, 9, 10, 11) представлен черноземом обыкновенным, лугово-черноземной (площадки № 3, 6, 8) и аллювиальной песчаной (площадка № 2, 12) почвами поймы р. Тузлов. В соответствии с данными многолетних метеорологических наблюдений было определено северо-западное преобладающее направление ветров, по линии которого отбирались образцы почв и растений мониторинговых площадок № 4, 8, 9, 10 и близлежащей к данному направлению площадки № 5.

Растительный покров обследованной территории является переходным от типчаково-разнотравно-ковыльных степей к типчаково-ковыльно-злаковым (Блажний, 1985). В качестве объектов исследования были выбраны произрастающие на мониторинговых площадках травянистые растения. Отбор образцов растений проводился ежегодно в период 2000–2015 гг. во второй декаде июня в фазу массового цветения, поскольку именно к ней приурочено максимальное поступление элементов в растения (Ильин, Сысо, 2012). Одновременно с отбором растений проводилось геоботаническое описание мониторинговых площадок.

В образцах растений и почв определялись такие ТМ как Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Mn и Cr, присутствующие в выбросах НчГРЭС (Экологический вестник Дона, 2014).

Общее содержание ТМ в почве определялось рентгенофлуоресцентным методом. Подвижные формы соединений ТМ в почвах извлекали ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH = 4.8 (ААБ) (Методические указания., 1992). В полученных фильтратах определяли ТМ методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии (ААС).

Минерализацию проб растений проводили методом сухого озоления по ГОСТ 26657-85. Кислотная экстракция ТМ из золы осуществлялась 20 %-ным раствором HCl с последующим определением методом ААС (Методические указания., 1992).

Для оценки поведения ТМ в системе почва-растение и защитных возможностей этой системы был рассчитан коэффициент накопления (КН) металлов растениями. КН представлен отношением концентрации элемента в сухой массе растения к содержанию его подвижных форм в почве (Брукс, 1996).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Наблюдается зависимость содержания металлов в растениях от уровня техногенной нагрузки. По мере удаления от источника эмиссии содержание ТМ в растениях уменьшается (табл. 1). Превышение максимально допустимого уровня (МДУ) для Pb, отмечается на большинстве мониторинговых площадок в радиусе 20 км от НчГРЭС. Наибольшее содержание металла обнаружено в растениях мониторинговых площадок «преобладающего» направления ветров. Для растений средняя концентрация Pb лежит в пределах от 0.1 до 10.0 мг/кг сухого вещества (Beker, Chesnm, 1975; Ильин, 1991), фитотоксичная – более 60 мг/кг (Verloo etc., 1982). Содержание Pb выше МДУ для всех мониторинговых площадок, испытывающих высокую техногенную нагрузку, указывает на присутствие загрязнения территории данным элементом из выбросов НчГРЭС.

На протяжении всего периода исследований отмечается превышение МДУ для Pb в растениях мониторинговой площадки № 10 в связи с выбросами автотранспорта. Данная площадка расположена в 400 м от автомагистрали и находится внутри V-образного пространства, образованного двумя автомагистралями. Автомобильные выхлопы загрязняют исследованную территорию при различных направлениях ветра.

На близлежащих к электростанции площадках содержание Ni превышает МДУ. На расстоянии 15 км и более от источника эмиссии содержание Ni уменьшается в 3 раза и составляет 1.4 мг/кг. Содержание элемента в различных видах растений составляет от 1.0 до 8.1 мг/кг (Beker, Chesnm, 1975; Тарабрин, 1980).

Содержание Mn и Cd является наиболее высоким в растениях мониторинговых площадок, находящихся на минимальном удалении от источника выбросов – в пределах 2 км от предприятия. Содержание Cd более, чем в 4 раза превышает МДУ в растениях ближайших к НЧГРЭС мониторинговых площадок (1.2; 1.4 км от источника эмиссии).

Таблица 1. Содержание ТМ в надземной части травянистых растений, произрастающих на территории, прилегающей к НЧГРЭС, мг/кг (среднее за 2000–2015 гг.).

№ площадки	Направление и расстояние от источника, км	Mn	Zn	Cr	Cu	Pb	Ni	Cd
1	1.0 СВ	37	44	17	7	8	3	0.8
2	3.0 ЮЗ	42	48	7	11	4	4	0.5
3	2.7 ЮЗ	35	32	6	4	6	2	0.2
4	1.6 СЗ	52	77	36	11	14	3	1.3
5	1.2 СЗ	58	62	15	14	9	5	1.2
6	2.0 СЗ	40	34	17	11	8	3	0.4
7	1.5 С	60	42	2	6	6	3	0.4
8	5.0 СЗ	28	53	12	8	4	2	0.3
9	15.0 СЗ	33	27	10	6	4	2	0.2
10	20.0 СЗ	33	26	30	4	12	2	0.2
11	1.0 ЮВ	18	49	3	8	5	2	0.1
12	1.1 Ю	9	29	11	15	11	4	0.1
НСР _{0.95}		4.5	3.0	0.5	1.6	1.3	0.4	0.06
МДУ для грубых и сочных кормов (Временные максимально допустимые..., 1991)		–	50	–	30	5	3	0.3

Примечание: полужирным шрифтом выделено превышение МДУ для кормовых трав

Содержание Zn в растениях мониторинговых площадок находилось в пределах 26–50 мг/кг (при МДУ 50 мг/кг), что соответствует среднему содержанию этого элемента в травах (Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989; Luo, Rimmer, 1995).

Среднее содержание Cu в растениях мониторинговых площадок не превышало 14.5 мг/кг (при МДУ 30 мг/кг). Тем не менее, наибольшие количества Cu обнаруживаются в растениях мониторинговых площадок, расположенных в пределах 2 км от НЧГРЭС, что является следствием воздействия выбросов предприятия (Minkina etc., 2012).

Содержание Cr в растениях составляет от 2 до 65 мг/кг. Высокая концентрация данного ТМ отмечается на всех мониторинговых площадках что, по-видимому, связано с исходно высоким содержанием данного элемента в почвах региона исследований (Минкина и др., 2013), а также с высоким содержанием хромового ангидрида в выбросах ГРЭС (Экологический вестник Дона, 2014). Наибольшее содержание Cr отмечается в непосредственной близости от источника выбросов (табл. 1).

По величине абсолютного содержания в растениях ТМ располагаются в следующем порядке: Mn > Zn > Cr > Cu > Pb > Ni > Cd (табл. 1). Превышение МДУ для Zn, Pb, Cd и Ni обнаруживается в растениях площадок № 4 и № 5, наиболее близко расположенных к ис-

точнику выбросов по линии преобладающего направления ветра. Различия в содержании металлов в растениях, произрастающих в условиях минимальной и максимальной техногенной нагрузки, составляют для Cd – 7 раз, Cu – 5 раз, Ni и Pb – 3 раза, Mn и Zn – 2 раза.

Величины коэффициента накопления (КН) ТМ в растениях площадок, близлежащих к НЧГРЭС, были ниже, чем на отдаленных (табл. 2). Это, возможно, связано как с преимущественным поглощением растениями металлов из почвы, так и с проявлением защитных механизмов растений при увеличении подвижности ТМ в почве. Следует отметить, что не всегда наблюдается четкая закономерность в изменении показателей КН в зависимости от уровня техногенной нагрузки, что, вероятно, обусловлено также накоплением ТМ в надземной части растений вследствие фоллиарного загрязнения.

Таблица 2. Коэффициент накопления подвижных форм ТМ дикорастущими травянистыми растениями.

№ площадки	Направление и расстояние от источника, км	Mn	Zn	Cr	Cu	Pb	Ni	Cd
1	1.0 СВ	1.6	4.1	5.0	2.9	2.3	1.4	26.7
2	3.0 ЮЗ	1.4	4.1	2.9	3.1	2.0	1.9	16.7
3	2.7 ЮЗ	1.9	6.9	3.3	2.3	3.1	1.8	10.0
4	1.6 СЗ	0.8	4.8	5.3	2.3	2.1	1.0	7.7
5	1.2 СЗ	0.8	2.6	2.1	4.1	1.4	1.3	6.3
6	2.0 СЗ	0.8	2.7	3.3	2.8	1.6	1.2	2.7
7	1.5 С	1.9	7.8	0.6	5.3	1.6	1.8	12.5
8	5.0 СЗ	1.3	3.8	4.6	2.5	1.4	1.5	15.0
9	15.0 СЗ	2.6	13.1	5.5	3.2	4.2	2.4	20.0
10	20.0 СЗ	2.9	18.4	16.7	11.7	3.9	1.7	20.0
11	1.0 ЮВ	0.4	28.8	1.6	13.3	3.2	2.0	5.0
12	1.1 Ю	0.3	11.9	6.1	12.1	7.9	4.0	2.0

Примечание: полужирным шрифтом выделены площадки генерального направления и прилегающая к нему площадка № 5.

Рассчитанные КН указывают на значительное поступление в растения Cd, Cr, Cu и Zn из подвижных форм металлов в почве. Низкие значения КН для Pb, Mn и Ni свидетельствуют о проявлении растениями барьерной функции по отношению к данным элементам. Следует отметить, что не наблюдается интенсивного поступления в растения Ni из почвы, хотя загрязнение этим ТМ растений установлено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, отмечается превышение МДУ по Cd, Pb, Ni для растений, преимущественно произрастающих на мониторинговых площадках преобладающего направления ветров. Содержание ТМ снижается по мере удаления от источника выбросов. Наибольшие значения величин КН растениями из почвы обнаружены для Cd, наименьшие – для Mn.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блажний Е.С., Гаврилюк Ф.Я., Вальков В.Ф., Редькин Н.Е. Черноземы Западного Предкавказья // Черноземы СССР (Предкавказье и Кавказ). – М., 1985. – С. 3–50.
2. Брукс Р.Р. Биологические методы поисков полезных ископаемых. – М., 1996. – 201 с.
3. Вагун И.В. Продукционный процесс и фиторемедиационный потенциал сортов рапса на загрязненных тяжелыми металлами почвах Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Москва, 2011. 21 с.
4. Временный максимально-допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках 123-4/281-8-87 / Государственный агропромышленный комитет СССР; Главное управление ветеринарии. – М., 1987.

5. Демедчик В.В., Соколик А.И., Юрин В.М. Поступление меди в растения и распределение в клетках, тканях и органах // Успехи современной биологии. 2001. Т. 121, № 2. С. 190–197.
6. Евдокимова Г.А., Мозгова Н.П., Корнейкова М.В. Содержание и токсичность тяжелых металлов в почвах зоны воздействия газоздушных выбросов комбината «Печенганикель». Почвоведение. 2014. № 5. С. 625–631.
7. Жуйкова Т.В., Мелинг Э.В., Жуйкова В.А. Изменение проективного покрытия луговых сообществ техногенно нарушенных территорий // Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф., 1-2 декабря 2009. Вып. VII. Ч. 2. Киров, 2009. С. 107–110.
8. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. – Новосибирск: Наука, 1991. – 151 с.
9. Ильин В.Б., Сысо А.И. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва-растение / РАН, Сибирское отделение, ин-т. Почвоведение и агрохимии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 220 с.
10. Ларина Т.Е., Обухов А.И. Тяжелые металлы в растительности с газонов вдоль автомагистралей // Вестн. МГУ. 1995. № 3. С. 41–48.
11. Лукин С.В. Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук, 2005, № 4. С. 27–28.
12. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 61 с.
13. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Мирошниченко Н.Н., Фатеев А.И., Манджиева С.С., Чаплыгин В.А. Накопление и распределение тяжелых металлов в растениях зоны техногенеза // Агрохимия. 2013а. № 9. С. 78–88.
14. Соборникова И.Г., Кизильштейн Л.Я. Медь, цинк, свинец в почвах и растениях полыни г. Ростова-на-Дону и его окрестностей // Изв. Сев.-Кав. центра выс. школы. Естест. Науки. 1990. № 4. С. 3–8.
15. Тарабрин В.П. Физиология устойчивости древесных растений в условиях загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами // Микроэлементы в окружающей среде. Киев: Наукова думка, 1980. С. 17.
16. Шашурин М.М., Журавская А.Н. Изучение адаптивных возможностей растений в зоне техногенного воздействия // Экология. 2007. № 2. С. 93–98.
17. Экологический вестник Дона: О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2014 году. Ростов-на-Дону. 2014. С. 283.
18. Beker D.E., Chesnm L. Chemical monitoring of soil for environmental quality animal and health // Advances in Agronomy 1975. V. 27. P 306–366.
19. Blaylock M.J., Huang J.W. Phytoextraction of metals in Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment, I. Raskin and B.D. Ensley, Eds., P. 53–70. Wiley, New York, NY, USA, 2000.
20. Luo Y., Rimmer D.L. Zinc-copper interaction affecting plant growth on a metal-contaminated soil. Environmental Pollution. vol. 88. 1995. № 1. P. 79–83.
21. Minkina T.M., Motusova G.V., Mandzhieva S.S., Nazarenko O.G. Ecological resistance of the soil-plant system to contamination by heavy metals // Journal of Geochemical Exploration. 2012. № 123. P. 33–40.
22. Motuzova G.V., Minkina T.M., Karpova E.A., Barsova N.U., Mandzhieva S.S. Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment // Journal of Geochemical Exploration. 2014. 144. P. 241–246. DOI: 10.1016/j.gexplo.2014.01.026.
23. Verloo M., Coftenie A., Landschoot G. Analytical and biological criteria with regard to soil pollution // Landwirtschaftliche Forschung: Kongressband. 1982. S.-H. 39. P. 394–403.

Работа рекомендована д.б.н., профессором Т.М. Минкиной.

ТРАНСФОРМАЦИЯ СОЕДИНЕНИЙ АЗОТА В ПОЧВАХ СОСНОВЫХ ЛЕСОВ

А.Ф. Шаяхметова, М.А. Надпорожская

Санкт-Петербургский государственный университет, biosoil@bio.pu.ru

В данной работе лесные подстилки рассматриваются не только как источники фульвокислот и органических кислот, преобразующих минеральную часть почвенного профиля, но и как почвенные подсистемы, где так же происходят процессы взаимодействия гумусовых кислот и их закрепления на поверхности песчаных частиц почвенными агентами. В подзолах и подбурах сосновых лесов такими агентами являются соединения железа и алюминия. Высказано предположение, что именно дефицит полуторных оксидов в лесных подстилках может приводить к формированию подстилок олиготрофного типа, где нет относительного накопления азота по стадиям трансформации опада в подгоризонтах L-F-H.

ВВЕДЕНИЕ

По классификации почв России в отделе альфегумусовых почв выделены подбуры и подзолы. Обе группы почв формируются в условиях свободного дренажа на рыхлых отложениях легкого гранулометрического состава [1]. Подбуры чаще приурочены к полиминеральным, а подзолы – к мономинеральным пескам. В.Д. Тонконогов [2, 3] проводил сравнительное изучение подзолов на полиминеральных и кварцевых ($\text{SiO}_2 > 80\text{--}85\%$) песках. Основное внимание в работе уделено срединным горизонтам почвенного профиля, так же как и в классификации почв России. Для анализа генезиса почв это верный подход, базирующийся на рассмотрении долгосрочных процессов. В экологических исследованиях нужна оценка менее длительных процессов, связанных с динамикой органического вещества почв. Состав и свойства органогенных горизонтов, содержание в них азота и его доступность растениям в значительной степени определяют продуктивность древостоя. Изучение качества лесной подстилки в большинстве исследований проведено обобщенно, когда образцы отбирали и анализировали на всю мощность лесной подстилки. В некоторых работах, посвященных региональным особенностям лесных почв [4, 5], проведено изучение лесных подстилок по подгоризонтам, но полученные данные не рассматривали как характеристики стадий трансформации опада и не оценивали влияние почвообразующих пород на качество поступающего опада в совокупности с дальнейшей трансформацией соединений азота. Зависимость формирования зольного состава лесных подстилок от качества почвообразующих пород известна, но до сих пор лесные подстилки рассматриваются только в качестве источника кислот, вымываемых в минеральную часть профиля почв. Между тем нельзя отрицать существование взаимодействий между растворимыми компонентами в самих органогенных горизонтах, этому следует уделить внимание. Цель работы – выявить зависимость трансформации соединений азота в лесных подстилках от химического состава почвообразующих пород.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являются автоморфные почвы сосновых лесов Ленинградской области (табл. 1). Два подзола: камовый ландшафт пос. Толмачево Лужского района, пос. Молодежное, Курортного района. И два подбура: сельговый ландшафт пос. Кузнечное Приозерского района Ленинградской области; равнинный ландшафт Нижнесвирского заповедника Лодейнопольского района. По гранулометрическому составу почвы участков Толмачево и Молодежного идентичны – пески, Нижнесвирского – супесь, Кузнечного – щебнистый опесчаненый легкий суглинок. Морфологическое описание профилей и отбор образцов почв в пятикратной повторности провели на каждом участке с 25 июня по 15 июля 2014 г. Образцы подстилки отбирали послойно, по подго-

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ № 15-04-08707.

© А.Ф. Шаяхметова, М.А. Надпорожская, 2017

ризонтам, соответствующим стадиям трансформации опада (L, F, H). Отдельно собирали свежий опад с поверхности почвы и моховой покров, разделяя его на живую и отмершую части по окраске.

Таблица 1. Ключевые участки сосновых лесов Ленинградской области.

Почва	Горизонты	Тип растительности	Гранулометрический состав	Местоположение
Подзол иллювиально-железистый	O–E–BF–C	Сосняк-зеленомошник	Песок	Толмачево, Лужский р-н
Подзол иллювиально-железистый	O–E–BF–C	Сосняк-зеленомошник	Песок	Молодежное, Курортный р-н
Подбур иллювиально-железистый	O–BH(BF)–BF–C	Сосняк-зеленомошник	Супесь	Нижнесвирский заповедник, Лодейнопольский р-н
Подбур иллювиально-железисто-гумусовый	O–BHF–BF–C	Сосняк-зеленомошник	Щебнистый опесчаненый легкий суглинок, щебнистый	Кузнечное, Приозерский р-н

Отобранные образцы были помещены в чистые пакеты и доставлены в лабораторию. Каждый образец в лаборатории был гомогенизирован. При этом включения (крупные корешки, шишки, веточки и др.) удалили. На следующие сутки после отбора образцов была проведена их аналитическая обработка для получения физико-химических характеристик (минеральные формы азота, влажность, полная влагоемкость). Оставшиеся образцы высушивали до воздушно-сухого состояния и измельчались для последующих определений (физико-химических характеристик и содержание валовых форм углерода и азота; валового химического состава).

Физико-химические свойства почв определяли с помощью общепринятых методов, описанных в руководствах по анализу почв [6, 7].

В работе были использованы следующие методы сбора и обработки материалов: 1. системно-топологический сопряженный анализ почвенных материалов для анализа морфологического строения профиля; 2. сравнительно-аналитический – анализ данных по физико-химическим свойствам почв с акцентом на аккумулирующие органическое вещество горизонты.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Ключевые участки максимально совпадают по параметрам древостоя (сосновые леса, близких возраста, высоты и диаметра ствола), для всех характерно накопление грубогумусовых лесных подстилок и кислая реакция почвенного профиля. Полевая влажность лесных подстилок за период наблюдений колебалась в пределах от 20 до 40 % от их полной влагоемкости (данные не приведены). Для всех ключевых участков характерно поступление опада хвойных пород, который обеднен азотом (C/N от 50–90), за исключением участка Кузнечное, где имеется примесь ели, осины и березы, во втором ярусе рябина, а напочвенный покров характеризуется большим видовым разнообразием травяно-кустарничкового и мохового ярусов (C/N свежеопадавшей хвои сосны – 69, смешанного опада листьев и трав – 27).

Почвы различаются по валовому составу почвообразующих пород (табл. 2). По степени «богатства» почвообразующих пород полуторными оксидами участки образуют ряд: Толмачево – Нижнесвирский – Молодежное – Кузнечное. Зольный состав лесных подстилок менялся в соответствии с качеством почвообразующих пород. В таблице 2 представлены данные для гумифицированного подгоризонта лесных подстилок Н. Наимень-

шее количество полуторных оксидов содержится как в минеральных, так и в органо-генном горизонте на участке Толмачево.

Таблица 2. Зольный и валовый составы образцов почв, % на навеску.

Горизонт, см	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	MgO
Толмачево, подзол иллювиально-железистый					
Н (3–5)	34.4	0.3	0.9	0.4	следы
A2 (5–15)	96.8	0.3	1.0	0.1	следы
B (40–50)	96.0	0.4	1.7	0.1	следы
Молодежное, подзол иллювиально-железистый					
АН (7–9)	68.6	2.4	9.2	1.8	0.4
A2 (5–15)	82.4	1.3	8.8	0.8	0.1
B (40–50)	83.8	1.0	8.8	0.8	0.2
Нижнесви́рский, подбур оподзоленный					
АН (6–9)	67.1	1.1	6.0	0.8	0.3
BHF (10–20)	80.09	1.3	7.8	1.0	0.3
B (60–70)	84.7	1.4	7.8	1.1	0.3
Кузнечное, подбур грубогумусовый					
Н (4–8)	45.4	2.6	8.4	1.0	0.5
BFH (8–15)	56.5	5.4	15.3	1.4	1.0
B (40–50)	46.2	4.1	15.2	1.4	1.3

По содержанию валовых углерода и азота в подгоризонтах по подгоризонтам L, F, H лесных подстилок ключевых участков сосновых лесов (данные не показаны) рассчитаны отношения углерода и азота, как основные показатели характеризующие эффективное плодородие и скорость трансформации органического вещества (рис. 1).

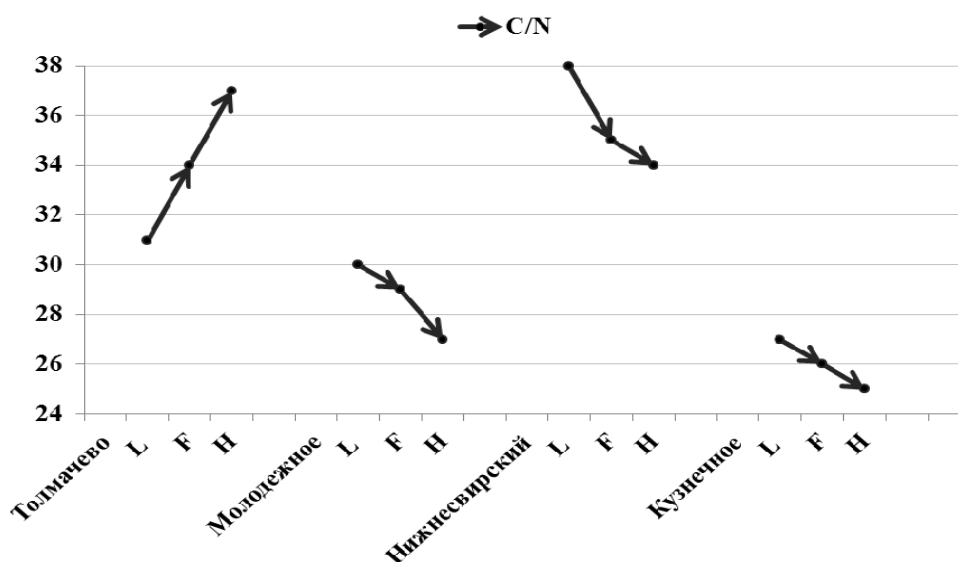


Рисунок 1. Соотношения валовых углерода и азота (C/N) в подгоризонтах лесных подстилок (L, F, H) ключевых участков сосновых лесов (средние значения из 5 определений).

По классической концепции в процессе гумификации растительных остатков всегда наблюдается накопление азота, стабилизированного в составе гумусовых веществ. На изученных участках относительное накопление азота в лесных подстилках по стадиям трансформации опада (L – F – H) выявлено везде кроме подзола Толмачево, где отмечена относительная потеря азота при разложении опада в лесной подстилке – увеличение отношения валовых углерода и азота (C/N). Похожие данные об отсутствии относительного

накопления азота в лесных подстилках подзолов на кварцевых песках получены голландскими учеными [8; 9], но не были обсуждены. Полагаем, что влияние литогенного фактора на лесные подстилки опосредованное. Чем меньше полуторных оксидов в почвообразующей породе, тем меньше их в зольном составе органогенных горизонтов. Дефицит соединений алюминия и железа в органогенных горизонтах тормозит проявление процессов адсорбции и соосаждения новообразованных гумусовых веществ на материале лесной подстилки, вследствие этого нет относительного накопления азота. То есть аккумуляция гумусовых веществ и азота в их составе в почвах на кварцевых песках менее выражена не только в иллювиальных горизонтах [2, 3], но и в органогенных.

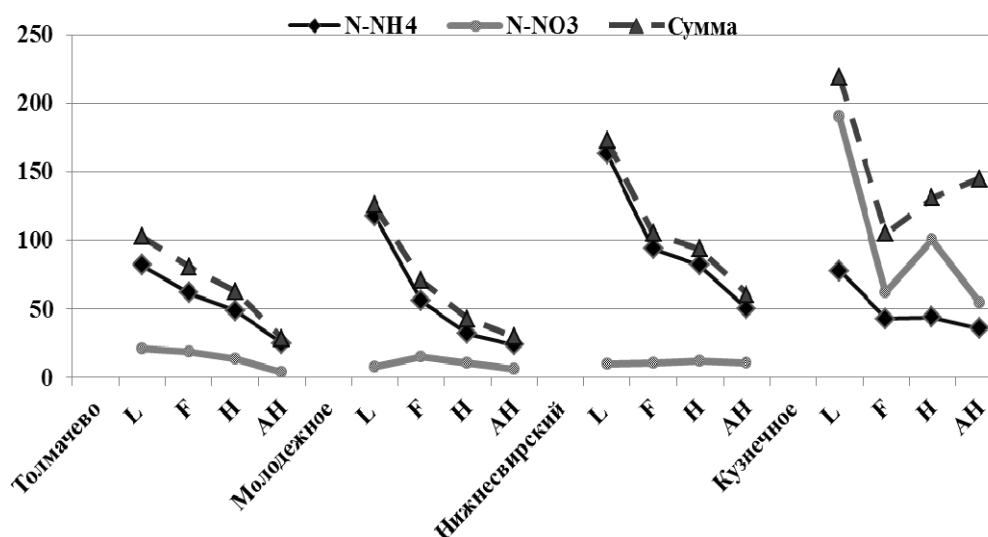


Рисунок 2. Содержание минеральных форм азота в почвах ключевых участков (мг/кг).

Содержание минеральных форм азота в почвах ключевых участков представлено на рисунке 2. В целом концентрации аммонийных и нитратных форм соответствуют литературным данным [10]. В лесных подстилках почв подзолов и подбюра оподзоленного (Нижнесвирский) преобладают аммонийные формы азота (80–90 %), в образцах подбюра грубогумусового (Кузнечное) – нитратные (70 %) формы азота, что может быть вызвано комплексом факторов (более обогащенный азотом опад, благоприятные условия для гумификации, а также накопления гумусовых веществ и ассоциированного с ними азота вследствие вероятного закрепления при взаимодействии с железом и алюминием, подобно тому, как это происходит при протекании подобных реакций в иллювиальных горизонтах). Накопление нитратов в лесной подстилке подбюра участка Кузнечного говорит о более глубокой стадии трансформации азота. Вопрос, почему в подбюре участка Нижнесвирского доминируют процессы аммонификации, требует дальнейшего исследования.

ВЫВОДЫ

Частично подтверждено предположение о влиянии полуторных оксидов на накопление азота в лесных подстилках. Азот не накапливался в лесных подстилках подзола на кварцевых песках, где содержание Fe_2O_3 было меньше 1 %, а Al_2O_3 – меньше 1–2 %.

Однократное определение содержания минеральных форм азота в лесных подстилках не позволяет сделать вывод о влиянии химического состава почвообразующих пород на пути минерализации азота.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России / Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

2. *Тонконогов В.Д.* Подзолы на кварцевых песках Русской равнины, генезис и пути их использования в народном хозяйстве // Почвы Нечерноземья и перспективы их сельскохозяйственного освоения / Науч. труды Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1977. С. 45–86.
3. *Тонконогов В.Д.* Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. М.: Почв. Ин-т им В.В. Докучаева. 2010. 304 с.
4. *Чертов О.Г.* Экология лесных земель (почвенно-экологическое исследование лесных местообитаний). Л.: Наука, 1981, 192 с.
5. *Морозова Р.М.* Лесные почвы Карелии. Л.: Наука, 1991. 184 с.
6. *Химический анализ почв: Учеб. пособие* / Растворова О.Г., Андреев Д.П., Гагарина Э.И., Касаткина Г.А., Федорова Н.Н. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 1995. 264 с.
7. *Растворова О.Г.* Физика почв (Практическое руководство). Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1983. 196 с.
8. *Emmer I.M.* Humus form and soil development during a primary succession of monoculture *Pinus sylvestris* on poor sandy substrates. Amsterdam. 1995. 135 p.
9. *Nierop K.* Origin and fate of organic matter in sandy soils along primary vegetation succession. Veenendaal: Universal Press – Science Publishers. 1999. 160 p.
10. *Попова Э.П.* Азот в лесных почвах. Новосибирск: Наука, 1983. 136 с.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны Нинель Васильевне Ковш за всемерную поддержку и помощь в работе. Авторы выражают благодарность Игорю Андреевичу Лыскову за участие в начальных этапах полевых и лабораторных исследований по данной теме.

УДК 631.4

МОНИТОРИНГ ВЛАЖНОСТИ И ПЛОДОРОДИЕ ЭРОДИРОВАННЫХ СУПЕСЧАНЫХ БУРОЗЕМОВ КАЛИНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Д.С. Шерпитис, Н.И. Терехова

ФГБОУ ВПО «Калининградский государственный технический университет»,

В супесчаном буроземе под посевами озимой ржи складывается благоприятный режим увлажнения. Дефицит влаги и низкое плодородие песчаного сильноосмытого бурозема приводят к сильному снижению урожая озимой ржи.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях тренда к глобальному изменению климата такие исследования являются актуальными, так как позволяют изучить влияние метеорологических условий года на процессы водной эрозии и распределение влаги по профилю почв. От этого в значительной степени зависят продуктивность сельскохозяйственных культур, а также геохимические потоки биогенных веществ, остаточных количеств мелиорантов, удобрений, пестицидов в агроландшафте.

В задачи исследования входило: 1) определение почвенно-гидрологических констант, оценка запасов продуктивной влаги; 2) проведение мониторинга режима влажности с апреля по ноябрь в метровом слое почв; 3) оценка влияния увлажненности почв на урожай озимой ржи.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ключевой участок представляет пахотное поле площадью 41 га, землепользование сельскохозяйственного предприятия «Светлогорский», расположенное в зоне краевых ледниковых образований (западная часть Калининградской области).

В исследовании применялся комплекс методов, основанный на определении агрофизических свойств и почвенно-гидрологических констант [1, 2]. Проводился мониторинг режима влажности в метровой толще почв. Учет продуктивности озимой ржи – на площадках 1 м², уборка и обмолот вручную. Все анализы выполнены в 3–4 кратной повторности. Статистическая обработка данных выполнена в Excel.

По данным ближайшей к ключевому участку метеостанции г. Пионерский период исследований характеризуется как сухой по сравнению с многолетними данными (рис. 1).

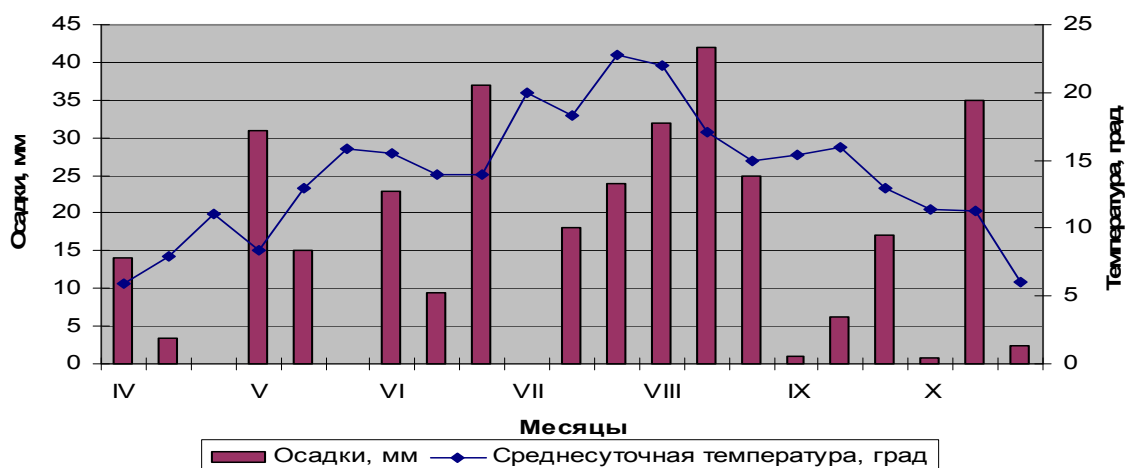


Рисунок 1. Распределение осадков по декадам 2014 г. по данным метеостанции г. Пионерский

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Почвенный покров участка «Светлогорский» представляет собой комбинацию буроземов разной степени смытости: от несмытых на плоских участках поля до сильносмытых на склонах крутизной 5–10° и намытых в понижениях [3].

Для мониторинговых исследований нами выбрана катена, включающая основные почвенные компоненты: 1) несмытый бурозем на повышении; 2) элементарную почвенную структуру (ЭПС) с преобладанием сильносмытого бурозема на склоне 5–7° восточной экспозиции; 3) мощную намытую почву (гумусированный делювий) в понижении. Для изучения морфологических свойств почв на каждом ареале были заложены почвенные разрезы. Диагностика почв, гранулометрический состав, физические и физико-химические анализы проведены к.с.-х.н., доцентом Анциферовой О.А.

Несмытый бурозем имеет супесчаный состав, содержание гумуса 2.3 %. Мощность профиля почвы 140 см, глубже наблюдается подстиление белесым слоистым водно-ледниковым песком. Распределение ила по профилю почвы нарастающее с глубиной (табл. 1) с максимумом в слое 100–120 см. Это типичное явление для буроземов западной части Калининградской области [4]. Потенциальные запасы продуктивной влаги в буроземе удовлетворительные.

Влажность несмытого супесчаного бурозема на повышении до середины апреля по всему профилю была выше НВ. Максимальной влажностью характеризовался слой 80–100 см, где скапливалась капиллярно-посаженная влага, застаивающаяся на заиленном горизонте на глубине 100–120 см. Последние две декады апреля выдались засушливыми (рис.), что явилось причиной кратковременного просыхания верхней части почвы и перехода влажности до глубины 40 см в диапазон ВРК – НВ. Однако осадки в начале мая привели к промачиванию этого слоя и формированию фронта капиллярно-подвешенной влаги. Повышение температурного фона, активная транспирация и испарение способствова-

ли быстрому просыханию толщи супесчаного бурозема. С конца мая до конца июля полевая влажность пребывала в границах диапазона ВРК – НВ с глубины в среднем 40 см. С середины октября влажность слоя 0–30 см превысила границы НВ и в таком состоянии почва ушла в зиму.

Пахотный горизонт сильно смытого бурозема имеет мощность 15–20 см, состоит из смеси горизонта «А», «В», «ВС», гранулометрический состав песчаный, на поверхности под посевами озимой ржи в осенний период наблюдалась эрозионная сеть ручейков (струйчатых размывов) глубиной 2–6 см и шириной 4 – 12 см. Содержание гумуса в гор. Ап 1.1 %. Мощность профиля 40 см, глубже залегает слоистый водно-ледниковый песок, подстилаемый суглинком с глубины 120 см. Почвенно-гидрологические константы сильно смытого бурозема отличаются низкими значениями и узкими интервалами между показателями МГ, ВЗ, ВРК, НВ (табл. 1). Запасы продуктивной влаги в слое 0–20 см неудовлетворительные (12.3 мм), в метровой толще плохие (71 мм). Для горизонтов почвы характерны рыхлое сложение и бесструктурность, способность к быстрому промачиванию и иссушению, низкая водоудерживающая способность.

Режим влажности песчаных сильно смытых буроземов оказался наиболее контрастным. Просыхание верхних горизонтов (диапазон ВРК – НВ) началось в апреле, когда влажность нижних слоев была выше НВ за счет внутрипочвенного стока с повышений. В июне и июле влажность большей части профиля укладывалась в диапазон ВЗ – ВРК. В августе выпало 98 мм осадков, произошло промачивание почвенной толщи эродированных почв склонов до глубины 70 см, что привело к увеличению влажности (выше НВ). В июле – ноябре относительно сухой оставалась нижняя часть профиля сильно смытого бурозема с глубины 70–75 см (влажность в диапазоне ВРК – НВ, в отдельных случаях ВЗ – ВРК).

Намытая почва (делювий) в понижении имеет слоистое сложение и песчано-супесчаный состав. Формирование происходит за счет аккумуляции материала, смытого со склонов. Мощность намытой почвы свыше 130 см. Слои отличаются по гранулометрическому составу (от связного песка до рыхлой супеси) и содержанию гумуса (от 1.6 до 0.8 %) в зависимости от сортировки смываемого водными потоками мелкозема. Запасы продуктивной влаги в пахотном горизонте и метровой толще удовлетворительные.

Почва характеризуется типичными для супесей водно-физическими свойствами [5].

В ареале намытых почв почвенно-грунтовые воды вскрывались на глубине 90–100 см вплоть до первой декады июля. До конца мая вся метровая толща имела влажность выше НВ. Постепенное просыхание произошло в июне до глубины 50 см. Максимальное иссушение наблюдалось в июле, когда полевая влажность опустилась ниже ВРК и приблизилась к ВЗ. Однако в августе произошло сквозное промачивание профиля вследствие вертикального и латерального движения влаги в почве. С начала сентября до конца ноября влажность большей части профиля (с 10 до 90 см) пребывала в диапазоне ВРК – НВ. Вследствие сухой осени уровень грунтовых вод опустился ниже 130 см. Только самый верхний слой до глубины 10 см увлажнялся выше НВ. Нижняя часть метровой толщи оставалась в зоне капиллярного насыщения.

В результате исследования установлено, что почвы в катене имеют неоднородный в вертикальной толще и пространстве гранулометрический состав. Это связано с литологической неоднородностью и процессами почвообразования.

Кислая реакция среды обусловлена давностью известкования, интенсивным выщелачиванием обменного кальция и магния внутрипочвенным и латеральным стоком. Озимая рожь устойчива к кислой реакции среды. Низким плодородием отличается ареал с преобладанием сильно смытого песчаного бурозема (табл. 2).

Таблица 1. Физические свойства почв в катене.

Горизонт	Гранулометрический состав, фракции		Физические свойства			Почвенно-гидрологические константы, % от объема				Pa
	< 0.001	< 0.01	d _v	d	P _{общ}	МГ	ВЗ	ВРК	НВ	
Несмытый бурозем супесчаный										
Ап 0–20	2.9	11.9	1.39	2.62	47.0	3.7	5.8	10.7	17.9	29.1
А1 20–32	3.4	12.4	1.45	2.67	45.7	3.6	5.7	9.7	16.2	29.5
В1 32–58	6.7	12.8	1.52	2.67	43.1	4.3	6.8	9.3	15.4	27.7
В2 58–70	8.5	16.6	1.56	2.68	41.8	4.2	7.0	9.4	15.6	26.2
В2 70–88	7.9	13.8	1.58	2.69	41.3	4.3	7.0	9.5	15.8	25.5
BC 88–100	9.7	14.4	1.59	2.68	40.7	5.6	8.7	12.4	20.7	20.0
BC 100–120	11.2	14.9	1.61	2.67	39.7	6.0	9.5	12.7	21.1	18.6
С 120–140	8.6	14.5	1.58	2.66	41.0	4.7	7.4	12.8	21.3	19.7
D 140–168	0.1	0.3	1.45	2.69	46.1	0.9	1.5	5.7	9.4	36.7
D 168–172	0.5	0.9	1.47	2.70	45.6	2.1	3.2	5.6	9.3	36.3
D168–195	0.1	0.3	1.45	2.70	46.3	0.4	0.7	4.4	7.3	39.0
Бурозем сильносмытый песчаный										
Ап 0–20	2.1	8.1	1.37	2.68	48.9	2.1	3.2	5.6	9.3	39.6
BC 20–40	1.6	5.8	1.46	2.69	45.7	1.0	1.4	5.2	8.6	37.1
С 40–50	0.9	4.1	1.48	2.70	45.2	0.7	1.2	5.1	8.5	36.7
С 50–70	0.7	3.2	1.45	2.70	46.3	0.4	0.7	4.8	8.0	38.3
С 70–100	0.7	3.4	1.46	2.70	45.9	0.6	0.9	5.0	8.3	37.6
Мощная намытая супесчаная почва										
Ап 0–10	1.9	9.1	1.45	2.64	45.1	3.9	6.1	8.1	13.6	31.5
Ап 10–20	4.8	13.7	1.46	2.62	44.3	3.6	5.8	13.9	23.3	21.0
[AB] 20–50	3.4	10.9	1.54	2.67	42.3	3.5	5.5	9.1	15.2	27.1
[AB] 50–80	3.6	12.0	1.58	2.68	40.0	4.1	6.6	10.7	17.8	22.2
[AB] 80–110	2.1	9.2	1.54	2.69	42.8	3.6	6.0	8.7	14.6	28.2

Примечание: d_v – плотность сложения, г/см³, d – плотность твердой фазы, г/см³, P_{общ} – общая пористость, %, Pa – пористость аэрации при влажности равной НВ, %.

Таблица 2. Агрохимические свойства пахотного горизонта (0–20 см) почв

pH _{KCl}	Гидролитическая кислотность	Сумма обменных Ca ²⁺ и Mg ²⁺	Гумус, %	Подвижный фосфор (P ₂ O ₅)	Обменный калий (K ₂ O)
	мг·экв на 100 г почвы			мг/кг	
Бурозем несмытый супесчаный					
4.5	2.6	7.4	2.3	310	133
Бурозем сильносмытый супесчаный					
4.7	1.5	3.6	1.1	206	65
Намытая мощная почва (делювий)					
4.9	1.8	4.8	1.6	290	125

ВЫВОДЫ

Изучив некоторые показатели продуктивности озимой ржи на почвах, мы сделали следующие выводы:

1. влажность несмытого супесчаного бурозема на повышении с мая по июль (фазы развития от выхода в трубку до созревания озимой ржи) находилась в оптимальном диапазоне (ВРК – НВ). Период сильного иссушения верхней части пахотного горизонта в июне (0–10 см) не повлиял на урожай, так как корневая система озимой ржи в это период охватывает слой до 50–60 см;

2. период недостатка влаги (влажность ниже ВРК) в сильносмытом песчаном буроземе на склоне составила около 40 дней (суммарно в июне и июле) и пришлось на фазы развития от цветения до восковой спелости. Это является неблагоприятным фактором для зерновых колосовых. В посевах на ареалах с преобладанием сильносмытого бурозема на фоне более низкого запаса подвижного фосфора и обменного калия в комплексе с недостатком влаги установлено снижение биометрических показателей продуктивности озимой ржи по сравнению с растениями на несмытом буроземе (рис. 2).

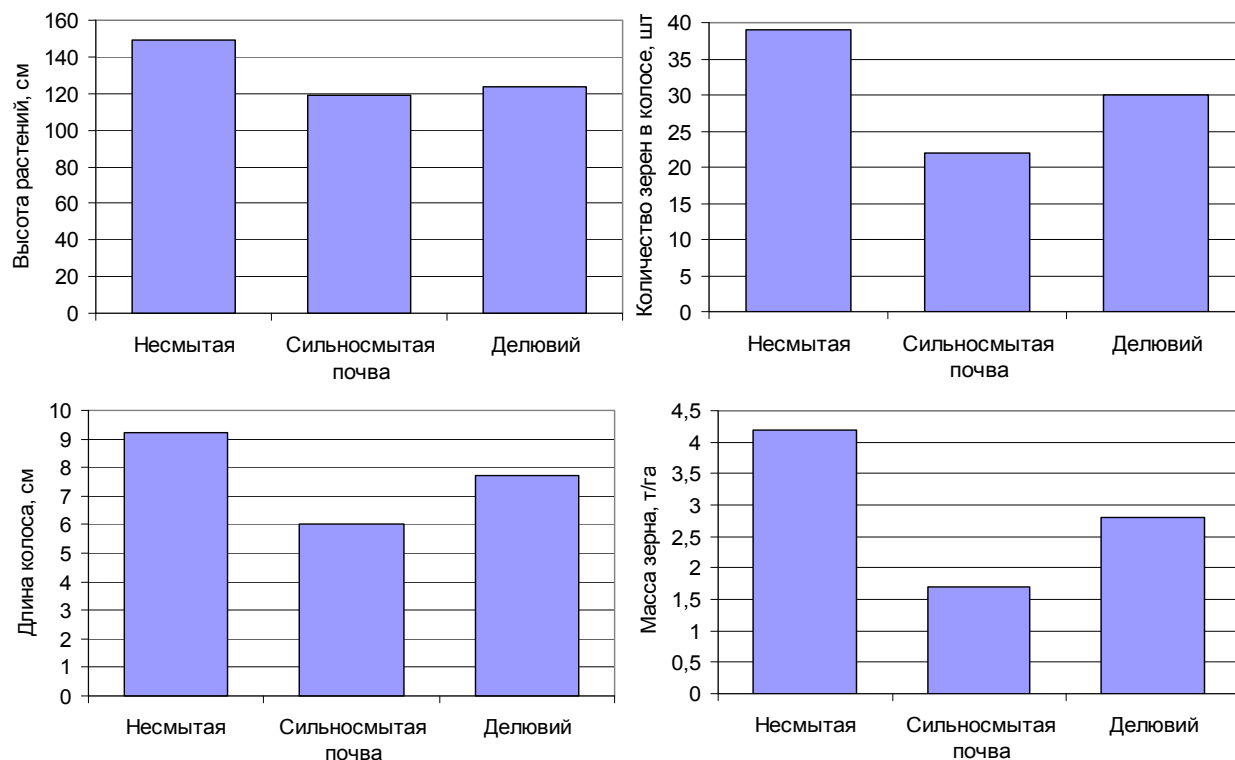


Рисунок 2. Биометрические показатели продуктивности озимой ржи на почвах разной степени эродированности.

3. на мощной намытой почве в условиях близкого залегания грунтовых вод создаются условия для интенсивного испарения и транспирации, особенно на фоне летнего повышения температурного фона. Период недостатка влаги (ниже ВРК) в намытой почве в слое 0–40 см наблюдался около 25 дней в июле. Однако основной причиной снижения урожая озимой ржи на намытой почве явилось перекрывание всходов песчаным делювием в осенний и зимний период развития водной эрозии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вадюнина, А.Ф. Методы исследований физических свойств почв / А.Ф. Вадюнина, З.А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
2. Зайдельман, Ф.Р. Методы эколого-мелиоративных изысканий и исследований почв / Ф.Р. Зайдельман. – М.: КолосС, 2008. – 486 с.
3. Анциферова, О.А. Почвы и урожай в катене с развивающейся эрозией Светлогорского участка / О.А. Анциферова, Е.В. Салаева, К.В. Витковская // Известия КГТУ, 2009, № 16. – С. 22–29.
4. Анциферова, О.А. Дифференциация профиля буроземов Калининградской области по илу/ О.А. Анциферова// Известия КГТУ, 2009, № 16. – С. 18–21.
5. Шеин, Е.В. Агрофизика / Е.В. Шеин, В.М. Гончаров. – Ростов н/Дону, 2006. – 400 с.

Работа рекомендована к.с.-х.н., доц. О.А. Анциферовой.

ПОГРЕБЁННЫЕ ПОЧВЫ АРХЕОЛОГИЧЕСКОГО ПАМЯТНИКА СТАРАЯ ЛАДОГА

К.Е. Щеглова

СПбГУ, ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева, Санкт-Петербург, Россия

Статья посвящена изучению погребённых почв Земляного городища, Любшанского городища, погребённых почв под полом Церкви Успения Богородицы и внутри Староладожской крепости, выявлению их уникальности, реконструкции природных условий и характера использования почв населением VIII–IX вв. В статье рассматриваются основные характеристики почв, гипотезы формирования их на данной территории.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее время все большее значение приобретают пограничные области наук, устанавливаются связи между гуманитарными и естественными науками, активно проводятся междисциплинарные исследования. Важность и эффективность комплексных экспедиций показал в свое время еще В.В. Докучаев. Применение почвенных методов исследований и знаний для изучения археологических объектов – это, прежде всего, требование времени: невозможно создать целостную картину реконструкции быта древних обществ без учета всего комплекса, влияющих на него факторов, где взаимодействие человека и природной среды играет ключевую роль.

Нижнее Поволховье – это район, где известны археологические памятники, начиная эпохи неолита и вплоть до позднего средневековья. Исследование различных археологических древностей района началось еще в XVIII в., продолжалось в XIX в. и в течение всего XX столетия. Эти исследования связаны с именами З.Д. Ходаковского, Н.Е. Бранденбурга, А.А. Иностранцева, В.И. Равдоникаса, С.Н. Орлова, В.П. Петренко, Е.А. Рябикина, А.Н. Кирпичникова и многих других, внесших значительный вклад в изучение археологических памятников данного района. Однако тесное взаимодействие археологов и представителей естественных наук в этом районе началось только около 10 лет назад. В ходе полевых исследований на нескольких средневековых археологических памятниках экспедиции удалось выявить уникальные погребенные почвы, чей профиль оказался слабо нарушенным и пригодным для дальнейших исследований и реконструкций. Поэтому целью работы явилось изучение генетических особенностей погребённых почв и их пространственное распределение на территории историко-архитектурного и археологического музея-заповедника Старая Ладога.

Для выполнения поставленной цели решались следующие задачи:

- изучить морфологические особенности, состав и свойства погребённых почв;
- провести сравнительный анализ погребённых гумусовых горизонтов в почвенных профилях;
- реконструировать особенности условий образования палеопочв в периоды Ладожской трансгрессии и на момент прихода на данные территории человека;
- установить специфику хозяйственного использования палеопочв до момента погребения;
- установить закономерности пространственного распределения палеопочв на территории Старой Ладоги;
- установить причину формирования вивианита в погребённых почвах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являются погребённые почвы, вскрытые в ходе раскопок на территории археологического памятника Старая Ладога: на Земляном городище в 2005, 2010 и 2013 гг., Любшанском городище, погребённые почвы в Староладожской

крепости, погребённые почвы под полом в церкви Успения Богородицы, и погребённые почвы внутри Староладожской крепости. Для фона была отобрана современная дерново-карбонатная почва на территории бывшего яблоневого сада усадьбы Шаховских, недалеко от раскопов Любшанского городища.

Применяемые методы исследования:

- проведение морфологического, мезоморфологического и микроморфологического описания почв;
- общие физико-химические методы исследования (определение С органических соединений методом мокрого сжигания по Тюрину И.В., определение $pH_{вод}$ и pH_{KCl} потенциометрическим методом, определение гранулометрического состава методом Качинского, определение содержания фосфора по методу Кирсанова);
- определение валового состава гумусовых горизонтов с помощью CHN-анализатора;
- исследование возраста почв;
- проведение анализа геологоразведочных данных;
- построение топографических карт палеорельефа;
- построение катен.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На территории Земляного городища, на глубине 3 метров от современной поверхности вскрыты темногумусовые почвы разной степени гидроморфизма, проявляющегося в сизой окраске, и вивианитовом псевдомицелии горизонтов. По-видимому, данные почвы сформировались под влиянием высокого уровня воды в русле Волхова. Под темногумусовыми почвами практически на всей площади раскопа на глубине около 40 сантиметров вскрыт профиль второй погребенной почвы – темногумусовой на аллювиальных отложениях. Над погребёнными почвами находился слой навоза толщиной около 50 см. Исследования территории раскопов позволили построить карту палеорельефа Земляного городища, абсолютные отметки палеоповерхности варьировали от 11 до 9.7 м, то есть на территории раскопов, длиной около 34 м перепад высот составляет 1.3 м. Понижение шло от русла реки Волхов вглубь материка. Это свидетельствует о том, что ранее на данной территории была либо ложбина, либо закрытое локальное понижение. Также было проведено палинологическое исследование погребённых почв раскопов Земляного городища, где были найдены зерновки культурных злаков: овёс, пшеница мягкая, пшеница двузернянка, полба, ячмень культурный шестирядный, просо обыкновенное. Также были обнаружены плодовые тела и семена малины, конопли посевной, мака снотворного, гороха посевного. Среди макроостатков дикорастущих растений были определены плоды и семена мари белой, хмеля обыкновенного, земляники лесной, купыря лесного, паслёна чёрного, лютика ядовитого, а также семена сорно-рудеральных растений: спорыш птичий, горец развесистый, звездчатка средняя, гречишка вьюнковая, крапива двудомная, одуванчик лекарственный, осот полевой. В пробах макроостатков были также обнаружены макроостатки деревьев: семена березы, рябины обыкновенной, скорлупа лещины обыкновенной и много еловой хвои. По данным Константиновой Т.А. [6], погребенные почвы Земляного городища отличаются от современных почв высоким содержанием подвижного фосфора, а также повышенным содержанием гумуса. Это может быть связано как с влиянием выше лежащих культурных слоев, сложенных органическим веществом разной степени разложения, так и с характером использования почв населением VIII–IX веков. По гипотезе А.Л. Александровского [3], территория Земляного городища представляла собой пахотные угодья. В почвах раскопа 2013 г. были найдены семена льна, хмеля, мака сонного. Впервые были найдены семена конопли, что может указывать на выращивание данных культур на территории Земляного городища. Учитывая, что Старая Ладога являлась крупным торговым центром с выходом к Волхову, семена культурных растений могли попасть в почву и при их транспортировке. С нашей точки зрения, погребенные почвы Земляного городища в силу своей значительной гидроморфности были мало пригодны

для пашни. Вероятнее, что на этой территории были загоны и стойла для крупного рогатого скота. Об этом говорят останки домашних животных, щепы, а также значительное количество фосфора в погребенных почвах.

В 150 м к северу от Земляного городища на территории Староладожской крепости рядом с церковью Святого Георгия в 2013 г. были вскрыты серогумусовые почвы на погребенных темногумусовых почвах. Они характеризуются темно-серым гумусовым горизонтом мощностью 12–20 см и разной глубиной подстилания элювия известняка. Глубина выхода известняковой толщи в профилях варьирует от 54 до 110 сантиметров. В почвенных профилях встречались линзы кварцевого песка и клинья оглеенного материала без вивианитового псевдомицелия. Абсолютные высотные отметки погребенных почв составляют 13.6 м.

В 2 км на северо-восток от Земляного городища на территории Любши были вскрыты погребенные темногумусовые почвы на известняковой плите. В культурном слое и гумусовом горизонте найдены многочисленные включения угольков, дресвы, рыбьей чешуи. Абсолютные высотные отметки погребенных почв достигают 13 м.

Под полом церкви Успения Богородицы были так же вскрыты темногумусовые почвы на известняковой плите. Важнейшей особенностью почвы, погребенной под полом Успенской церкви является наличие резкой границы гумусового горизонта на двух стеках разреза. Основываясь на этом, мы можем предположить, что данная почва распахивалась. Абсолютная высотная отметка этой почвы 14 м.

Таким образом, на берегу Волхова были вскрыты как гидроморфные почвы на аллювиальных отложениях, так и автоморфные почвы подстилаемые элювием известняка, известняковой плитой, что говорит о значительной пространственной неоднородности почвенного покрова, связанной с рельефом территории и неоднородностью почвообразующих пород на исследуемой территории.

Было проведено исследование по изучению возраста гумусовых горизонтов почв Земляного городища методом радиоуглеродной датировки. Возраст верхнего гумусового горизонта 1660 ± 70 лет, нижнего гумусового горизонта 4120 ± 110 лет (по данным Константиновой Т.А. [6]). Из данных Александровского А.Л. [3] по почвенным разрезам археологического раскопа № 3 по радиоуглеродному анализу были получены результаты: 3850 ± 60 и 2650 ± 60 .

В результате проведенных исследований можно представить ландшафтную обстановку в период формирования палеопочв.

При проведении физико-химических анализов погребенных почв и сравнении с полученными данными современных почв, можно предположить, что различия между современными и палеопочвами минимальны, и это говорит о том, что в период формирования палеопочв, условия почвообразования имели незначительные отличия от современных. На основе палинологических и радиоуглеродных данных, наиболее возможной представляется следующая смена ландшафтных обстановок: в течение длительного времени, с позднеледниковья до середины голоцена (начала суббореального периода – 5000 л.н.) формировались песчано-суглинистые отложения, содержащие прослои морены, имеющие различное происхождение: в основном аллювиальное, в том числе водноледниковое. В целом эту толщу отложений можно связать с формированием долины Волхова и колебаниями уровня Ладожского озера в первой половине голоцена. В результате образовалась низкая надпойменная терраса левого берега Волхова, на поверхности которой в среднем голоцене (вторая фаза суббореального периода) поселяется лесная растительность и формируется нижняя погребенная почва [3]. Недолгое формирование этой почвы происходило в интервале 4700–4800 лет назад. В конце среднего голоцена на поверхности почвы начали накапливаться слабослоистые глинистые отложения, связанные с Ладожской трансгрессией. В глинах отмечалось высокое содержание фосфора, что позволяет охарактеризовать их как озерные донные отложения [3]. Наличие последних свидетельствует о том, что в период Ладожской трансгрессии на месте Земляного городища

и Каменной крепости находилось дно Ладожского озера. Резкие границы между сизыми глинистыми и темно-серыми слоями указывает на достаточно резкое изменение условий накопления озерных илов. Последовавшее затем резкое падение уровня Ладожского озера в результате образования Невы привело к накоплению гумусированного озерного ила, которое могло продолжаться несколько столетий в начале субатлантического периода и завершилось осушением низкой террасы Волхова [3, 7, 9]. Началось формирование верхнего профиля почв возраста 1500–1600 лет назад.

На наиболее высоких местах были образованы городища, подобные Любшанскому. При понижении уровня Ладожского озера и как следствия понижение уровня вод Волхова, освобождались и низкие террасы, на которых формировались дерново-глеевые почвы, характеризовавшиеся периодическим подтоплением в периоды половодья. На низких террасах формировались заливные луга, что подтверждается палинологическими данными – в природном комплексе возрастает доля пыльцы лугового разнотравья [8, 11]. При рассмотрении морфологических особенностей захороненных почв отмечено полигональное растрескивания в горизонте G, что характерно для естественных ненарушенных почв. На водоразделах и высоких террасах, очевидно, были распространены еловые леса, сформированные на дерново-подзолистых почвах. На безлесных территориях водоразделов вероятно были распространены высокотравные луга.

В долинах рек и на наиболее увлажненных территориях формировались лиственные леса, представленные липой и ольхой. В травянистом ярусе данных лесов были распространены горец, крапива, папоротники.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, древние ландшафты были представлены крайне разнообразно. От еловых лесов, распространенных на междуречных пространствах, до лиственных увлажненных лесов, распространенных в долинах рек. На низких, периодически заливаемых террасах были распространены высокотравные луга. На поймах была также распространена влаголюбивая растительность, в частности осоковые.

В отношении территорий, выбираемых людьми для поселения, можно сказать, что человеком выбирались наиболее удобные территории, как для ведения хозяйства, так и для обороны и строительства. В районе Старой Ладogi в основном представлены поселения, мысового типа, образованные на слиянии относительно мелких рек, таких, как Ладожка, Любша и крупной реки Волхов. Разнообразие ландшафтов способствовало разнообразию хозяйственной деятельности, и обеспечению населения различными ресурсами. Кроме того, наличие рядом с поселением заливных лугов обеспечивало населению возможность ведения хозяйства. В частности заливные луга могли использоваться не только как парцеллы, но и в качестве места выпаса скота. Данное предположение подтверждается находками множества костей домашнего скота в культурном слое VIII в и слое навоза мощностью около 50 см.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Александровский А.А.* Почвы как объекты палеорекоkonструкций // Источники и методы исторических реконструкций изменений окружающей среды. М., 1991.
2. *Александровский А.Л.* Эволюция черноземов в регионе среднего течения Дона в голоцене // Почвоведение. 1984. № 11. С. 5–13.
3. *Александровский А.Л., Кренке Н.А., Нефёдов В.С.* Исследования почв и отложений под культурным слоем земляного городища Старой Ладogi // Краеугольный камень. Археология, история, искусство, культура России и сопредельных стран. /Под ред. Носова Е.Н., Белецкого С.В. Издательство Ломоносовъ, 2010 (ISBN: 978-5-91678-062-8. 560 с.). Т. 1. С. 43–61.
4. *Кирпичников А.Н.* Ладога и Ладожская волость в период раннего средневековья. – В кн.: Славяне и Русь. Киев, 1979.

5. *Кирпичников А.Н.* Раннесредневековая Ладога (итоги археологических исследований) // Средневековая Ладога. Л., 1985. с. 3–26
6. *Константинова Т.А.* Погребённые почвы средневековых археологических памятников Нижнего Поволжья, магистерская диссертация, 2007
7. *Шитов М.В., Бискэ Ю.С., Плешивецова Э.С., Мараков А.Я.* Позднеголоценовые изменения уровня Волхова в районе Старой Ладоги // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7. 2005. Вып. 4.
8. *Шитов М.В., Константинова Т.А., Лоскутов И.Г., Плешивецова Э.С., Сумарева И.В., Чухина И.Г., Щеглова О.А.* Городская среда, землепользование и сельское хозяйство в средневековой Ладоге и ее округе (по палинологическим и карпологическим данным). II: середина I тыс. от Р. Х. – середина IX в. Вестник СПбГУ. Сер. 7: 2007. Вып. 3
9. *Шитов М.В., Бискэ Ю.С., Носов Е.Н., Плешивецова Э.С.* Природная среда и человек нижнего Поволжья на финальной стадии ладожской трансгрессии // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7. 2004. Вып. 3 (№ 23). С. 2–15.
10. *Шитов М.В., Головань В.В., Мараков А.Я.* О возрасте современного уровня р. Волхов (по палинологическим данным из разреза 6-метровой террасы в урочище Плакун) / Геология и геоэкология Европейской России и сопредельных территорий. СПб. 2004. С. 51–54.
11. *Шитов М.В., Кильдюшевский И.В., Плешивецова Э.С., Щеглова О.А., Сумарева И.В.* Городская среда, землепользование и сельское хозяйство в средневековой Ладоге и ее округе (по палинологическим данным). I: конец IX–XVI вв. // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 7: 2007. Вып. 1.

Работа рекомендована к.б.н. Е.Ю. Сухачёвой.

УДК 631.4

ЛАБОРАТОРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМИРОВАНИЯ АЛЬФЕГУМУСОВЫХ ПОЧВ

А.О. Яковлев, А.В. Русаков, А.И. Попов

Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

Работа посвящена изучению альфегумусового процесса с помощью метода имитационного лабораторного моделирования. Моделировалось влияние сквозного промачивания и промачивания с подтягиванием, наличия подстилки и наличия дренажных зон (зон распространения всасывающих влагу корней и/или склоновой позиции) на направленность альфегумусового процесса. С помощью моделирования подтверждена возможность образования подзолов на мономинеральных песчаных породах в полугидроморфных условиях (при периодически застойном водном режиме).

ВВЕДЕНИЕ

Песчаные и супесчаные отложения имеют широкий ареал в Северо-Западном регионе и занимают около 35 % его площади [4]. Для почвообразования в лесных почвах легкого гранулометрического состава характерны общие особенности: 1) контрастная смена окислительных и восстановительных процессов; 2) восстановление компонентов минеральной части почвы, повышающих их активность (образование более растворимых закисных соединений железа и марганца, а в условиях кислой среды – и накопление подвижного алюминия); 3) образование подвижных органно-минеральных соединений комплексной природы; 4) бимодальное распределение корневых систем травянистых и древесных растений; 5) наличие близко расположенных друг от друга почв со слабо и хоро-

шо дифференцированным профилем, первые приурочены к повышенным («сухим») элементам рельефа, а вторые – к пониженным («мокрым»).

Известно [1–3, 5–7], что на песках в аналогичных условиях могут встречаться почвы, как с элювиальным горизонтом, так и без видимых признаков оподзоливания. Причины этого явления не объясняются. Ранее [8] была сделана попытка с помощью лабораторного имитационного моделирования объяснить условия образования иллювиального горизонта направленностью потоков почвенной влаги.

Нами была выдвинута рабочая гипотеза, согласно которой на формирование профиля альфегумусовых почв влияют: сквозное промачивание и промачивание с подтягиванием; наличие дренажных зон (зон распространения всасывающих влагу корней и склоновой позиции); наличие защитного покрова на поверхности почв (наличие подстилки).

Цель работы – провести лабораторное имитационное моделирование формирования дифференциации профиля песчаных почв в гумидной климатической зоне.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Схема эксперимента приведена в таблице 1.

Для моделирования были выбраны два типа песка, различающиеся по минералогическому составу: мономинеральный и олигомиктовый. Мономинеральный песок – рыхлый мелкозернистый кварцевый песок морских отложений саблинской свиты с хорошей окатанностью зёрен. Олигомиктовый песок – кварцево-полевошпатовый песок также с хорошей окатанностью зёрен.

Опытный раствор представлял собой 0.1 % водный раствор цитрата железа закисного – $\text{Fe}_3(\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7)_2$. Исследования Е.В. Шамриковой с соавторами [9] показали, что содержание низкомолекулярных органических кислот в почвах северной и крайнесеверной тайги составляет 0.1–2.1 % в пересчете на углерод водорастворимых органических соединений, а доля лимонной кислоты была самой большой.

В качестве модельной подстилки был использован мох сфагнум (*Sphagnum* sp. L.). Модельная подстилка – фактор, который влиял на альфегумусовый процесс, способствуя распределению в песчаной толще раствора, содержащего железо.

Таблица 1. Схема эксперимента.

Тип песка	Вид промачивания	Наличие дренажных зон	Наличие подстилки	Вариант (номер колонки)
Мономинеральный (кварцевый)	Нисходящее	–	–	1
			+	2
		+	–	3
			+	4
	Нисходяще-восходящее	–	–	5
			+	6
		+	–	7
			+	8
Олигомиктовый (кварцево-полевошпатовый)	Нисходящее	–	–	9
			+	10
		+	–	11
			+	12
	Нисходяще-восходящее	–	–	13
			+	14
		+	–	15
			+	16

Песчаная порода помещалась в поливинилхлоридные трубы ($h = 40$ см, $d = 5$ см). В половине труб на высоте 24 см были проделаны 6 отверстий, равноудаленных друг от друга, служащих в дальнейшем имитаторами дренажной зоны. В остальных трубах от-

верстий не было. На поверхности части труб с песчаной смесью помещалась торфяная подстилка ($h = 4$ см). Дно всех труб закрывалось тканью из полиамида с подложенным бумажным фильтром между тканью и трубой в целях предотвращения потерь песка из опытных колонок. В подготовленные трубы помещался песок.

В одних колонках песчаная толща насквозь промачивалась модельным раствором, а во вторых – сквозное промачивание сочеталось с капиллярным подтягиванием. Эксперимент длился 6 месяцев. По окончании эксперимента трубы разрезались. Проводилось морфологическое описание песчаной толщи. Отбор образцов осуществлялся с учётом морфологического описания. В отобранных образцах общепринятыми методами определялись: аморфное железо по Тамму, величина pH, гранулометрический состав.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По окончании эксперимента все опытные колонки были разбиты на 4 группы в соответствии с наличием или отсутствием нескольких факторов воздействия на минеральную толщу (модельная подстилка и дренажные зоны). Эти группы включили в себя 4 варианта модельных колонок, различающихся минералогическим составом песков и способом промачивания минеральной толщи: 1) колонки без подстилки и без дренажных зон; 2) колонки с подстилкой и без дренажных зон; 3) колонки с дренажными зонами и без подстилки; 4) колонки с подстилкой и с дренажными зонами.

В ходе эксперимента были получены морфологически оформленные новообразования железа, характерные для природного протекания альфегумусового процесса: ламеллы (псевдофибры), примазки, диффузионные пятна.

В группе колонок без подстилки и без дренажных зон в случае опытной колонки с кварцевым песком при нисходящем потоке опытного раствора было отмечено самое низкое содержание подвижных соединений аморфного железа по сравнению с остальными колонками группы. Дифференциация в распределение железа по минеральной толще (исключая корку) не наблюдалась (табл. 2). В модельной колонке с кварцевым песком при нисходяще-восходящем потоке раствора происходило накопление железа в нижней части минеральной толщи, постепенно снижающееся к верхней части и не существенно возрастало, приближаясь к ожелезнённой корке (табл. 2).

Распределение железа в колонках с кварцево-полевошпатовым песком происходило аналогично с кварцевым песком, как в случае с нисходящим потоком опытного раствора, так и в случае с нисходяще-восходящим потоком (табл. 2).

В группе колонок без подстилки и без дренажных зон на распределение аморфных форм железа существенно влиял такой фактор, как способ промачивания опытным раствором толщи модельных колонок. Такой фактор, как минералогический состав песка не оказывал существенного влияния на перераспределение подвижного железа по минеральной толще. Наблюдалась во всех вариантах общая закономерность – образование железистой корки с поверхности (табл. 2). Как в кварцевом, так и в кварцево-полевошпатовом песке при нисходящем потоке раствора было определено более низкое содержание аморфных форм железа во всей минеральной толще, чем при нисходяще-восходящем потоке, где происходила его аккумуляция за счёт капиллярного подтягивания и дальнейшего осаждения.

В группе колонок с подстилкой и без дренажных зон в случае опытной колонки с кварцевым песком при нисходящем потоке опытного раствора дифференциация распределения железа в минеральной толще не наблюдалась (табл. 2).

В модельной колонке с кварцевым песком при нисходяще-восходящем потоке раствора дифференциация распределения аморфного железа в минеральной толще была выражена слабо. Наблюдалось незначительное накопление соединений железа в верхней части профиля с дальнейшим снижением до срединной части, а затем небольшое накопление и снижение к основанию опытной колонки (табл. 2).

В кварцево-полевошпатовом песке распределение железа в минеральной толще было сильно дифференцировано и носило элювиально-иллювиальный характер, как в случае с нисходящим потоком влаги, так и в случае с нисходяще-восходящим потоком (табл. 2). При сравнении содержания аморфных форм железа в исходном песке с модельной толщиной, произошло вымывание железа из верхних слоёв этих колонок, что позволяет говорить о процессе элювирования. При нисходящем потоке опытного раствора в кварцево-полевошпатовом песке произошло меньшее накопление железа по сравнению с колонкой, в которой моделировался нисходяще-восходящий поток.

Таблица 2. Содержание аморфного железа в модельных колонках.

Мощность слоя, см	Номера колонок							
	1	2	3	4	5	6	7	8
0.5	0.76	0.08	1.71	0.05	3.11	0.48	1.78	0.27
4.5	0.08	0.08	0.09	0.05	0.33	0.27	0.15	0.27
6	0.12	0.14	0.09	0.05	0.14	0.27	0.15	0.27
10	0.07	0.10	0.13	0.09	0.14	0.21	0.21	0.17
4	0.13	0.13	0.13	0.09	0.32	0.43	0.08	0.17
7	0.13	0.10	0.10	0.09	0.97	0.43	0.43	0.39
2	0.13	0.10	0.10	0.09	0.97	0.11	0.19	0.39
F ₀₅	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
F _{ф.}	250.72	13.63	486.09	19.31	340.35	66.33	356.88	30.01
НСР ₀₅	0.01	0.002	0.01	0.002	0.03	0.01	0.01	0.01

Продолжение табл. 2.

Мощность слоя, см	Номера колонок							
	9	10	11	12	13	14	15	16
0.5	2.18	0.41	5.3	1.06	6.15	0.73	3.87	1.57
4.5	0.43	0.41	0.9	1.06	2.04	0.73	1.35	1.57
6	0.43	0.41	0.9	1.06	2.04	1.55	1.35	1.28
10	0.43	1.60	1.3	1.47	1.38	1.55	1.35	1.28
4	0.77	1.60	1.3	1.47	1.14	1.55	2.01	1.28
7	0.77	1.13	1.5	1.64	1.14	1.40	2.01	1.28
2	0.77	1.13	1.5	0.72	1.14	1.40	2.01	1.28
F ₀₅	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
F _{ф.}	122.98	106	143.72	22.39	143.99	30.38	49.07	2.98
НСР ₀₅	0.02	0.03	0.05	0.04	0.06	0.04	0.06	0.04

ВЫВОДЫ

1. С помощью лабораторного имитационного моделирования подтверждена возможность образования подзолов на мономинеральных песчаных породах в полугидроморфных условиях (при периодически застойном водном режиме).

2. Минералогический состав песчаных смесей оказал существенное влияние на морфологическую выраженность моделируемого процесса. Так, аккумуляция аморфных форм железа была выражена сильнее в модельных колонках с кварцево-полевошпатовым песком по сравнению с колонками, наполненными кварцевым песком.

3. Наличие подстилки способствовало усилению элювиально-иллювиальной дифференциации железа в опытных колонках. В случае отсутствия подстилки в колонках, заполненными обоими типами песка, происходило образование ожелезненной корки на поверхности минеральной толщи.

4. Направленность движения влаги в модельных колонках оказала значительное влияние на перераспределение аморфного железа в песчаной толще модельных колонок. Так, в обеих песчаных средах в случае нисходяще-восходящего потока раствора накопление аморфных соединений железа было большим, чем в вариантах с нисходящим потоком.

5. Наличие дренажных зон не повлияло на дифференциацию профиля, дренажные зоны несколько увеличивали или нивелировали дифференциацию минеральной толщи.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гаель А.Г., Смирнова Л.Ф.* Пески и песчаные почвы. М.: ГЕОС, 1999. 252 с.
2. *Димо В.Н., Роде А.А.* Тепловой и водный режим почв СССР: к IX Международному конгрессу почвоведов М.: Наука, 1968. 142 с.
3. *Зайдельман Ф.Р.* Теория образования светлых кислых элювиальных горизонтов почв и ее прикладные аспекты. М.: Красанд, 2010. 248 с.
4. *Киселев И.И., Проскуряков В.В., Саванин В.В.* Геология и полезные ископаемые Ленинградской области. СПб.: Издание Петерб. комплексной геол. экспедиции, 1997, 196 с.
5. *Лобова Е.В., Хабаров А.В.* Почвы. М: Мысль, 1983. 303 с.
6. *Ногина Н.А.* Почвы Забайкалья. М.: Наука, 1964. 314 с.
7. *Рожнова Т.А.* Почвенный покров Карельского перешейка. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 184 с.
8. *Цыплёнков В.П., Попов А.И.* Моделирование условий образования иллювиальных горизонтов лесных почв // Моделирование почвообразовательных процессов гумидной зоны / Труды Биол. НИИ ЛГУ им. А.А. Жданова. Л., 1984. № 35. С. 68–85.
9. *Шамрикова Е.В., Груздев И.В., Пунегов В.В., Александрова Н.Б.* Низкомолекулярные органические кислоты почв северной и крайнесеверной тайги Республики Коми // Вода: химия и экология. 2012. № 11. С. 102–107.

Работа рекомендована д.с.-х.н., проф. А.И. Поповым.

УДК 631.421.1

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОЧВ ПОЛЕВОГО ОПЫТА МСХА ПО ТОЧНОМУ ЗЕМЛЕДЕЛИЮ

О.В. Ятусевич

Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва, naska06@gmail.com

Представлены рельеф, карты распределения морфометрических характеристик почв блока 1 длительного полевого опыта РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева по точному земледелию. Почвенный покров включает следующие типы почв: 1) тип агродерново-подзолистых почв, или Retisols; 2) тип агродерново-подзолы, или Albic Podzol; 3) тип агрозем текстурно-дифференцированный, или Cutanic Luvisol; 4) тип агрозем иллювиально-железистый, или Entic Podzol. Приведены карты распределения мощности антропогенно-преобразованного, элювиального и иллювиального горизонтов блока 1 опытного участка.

ВВЕДЕНИЕ

Точное земледелие – совокупность инновационных технологий и технических средств, направленных на автоматизацию обработки почв и управление параметрами плодородия, его элементы уже используют в производстве. В России заложено 2 опыта по точному земледелию на Меньковской опытной станции АФИ и на Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

Центр точного земледелия РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева заложен на базе длительного полевого опыта в 2007 [8, 12]. Для эффективного использования технологии точного земледелия требуется большое информационное обеспечение о пространственном распределении различных свойств почв.

Обследование почвенного покрова длительного полевого опыта РГАУ-МСХА проводилось Арбузовым [1], Гречиным [2], Сакункончак [3], Милановским [3], Хитровым [4] и другими. Исследования по точному земледелию на опытной станции проводили Беленков [5–8], Березовский [7], Железова [7], Захаренко [8] и многие другие.

Цель работы – представить почвенные карты распределения морфометрических характеристик почв блока 1 полевого опыта МСХА по точному земледелию.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования является блок 1 опыта по точному земледелию РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Полевой опыт находится в типичных для центрального региона России условиях Нечерноземной зоны. Климат Московской области умеренно-континентальный с достаточным увлажнением, почвообразующая порода – морена. Блок 1 80×115 м заложен на 1-м участке четырехпольного севооборота, который находится на склоне моренного холма на отрогах Клинско-Дмитровской возвышенности.

Все наблюдения привязывались на основе географической системы координат с помощью GPS и на основе прямоугольной системы относительных координат в пределах обследуемого участка с помощью мерных металлических лент длиной 50 и 100 м, укладываемых между фиксированными пикетами, установленных по периметру опытного участка.

Карты распределения морфометрических характеристик почв блока 1 опыта по точному земледелию составлены в 2013–2014 гг. на основе сети из 44 точек опробования, расположенных приблизительно через 15–20 м друг от друга. Точки опробования представляли собой почвенные прикопки до верхней части гор. ВТ или ВР, углубленные с помощью ручного бура до 140–190 см. Расположение преимущественно по защитным полосам между вариантами с минимальным нарушением почвенного покрова опытного участка.

Съемка рельефа блока 1 выполнена с помощью нивелира по регулярной сетке через 5 м, обработка результатов съемки с помощью пакета программ Surfer.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Склон в верхней трети холма простой, в продольном направлении ровный со слабо выраженными ложбинами. Общий перепад высот на ключевом участке составляет около 2.5 м (от 166.7 до 169.2 м) (рис. 1).

Почвообразующими породами блока 1 являются моренные валунные отложения, для которых характерна частая смена гранулометрического состава по горизонтали и по вертикали. С поверхности до глубины 22–58 см преобладают легкие суглинки, глубже которых залегают двух- или трёхслойные системы, представленные: 1) средним суглинком, подстилаемым с 70–115 см легким суглинком с линзами песка и супеси; 2) средним суглинком до 55–100 см, легким суглинком до 90–130 см, подстилаемым песком или супесью; 3) средним суглинком, подстилаемым с 80–150 см песком или супесью; 4) супесью до 40–50 см, подстилаемой легким или средним суглинком с линзами песка и супеси; 5) песком с 40–47 см с линзами супеси, подстилаемого легким суглинком. Также встречаются участки, где поверхностные горизонты представлены супесью до глубины 40–60 см, подстилаемые либо легким суглинком, либо песком с линзами суглинка.

Почвенный покров блока 1 по классификации почв СССР [9] представлен дерново-подзолистыми глееватыми легкосуглинистыми почвами на моренных отложениях, отличающихся большой пестротой изменения гранулометрического состава. Неоднородность гранулометрического состава почвообразующей породы предопределила различие почвообразовательных процессов и водного режима почв в разных частях блока 1, которые более дифференцированно отражаются в классификации почв России [10] и современной международной базе почвенных ресурсов (WRB [11]). Согласно этим классификациям почвенный покров исследуемого участка представлен агродерново-подзолистыми почвами разной степени глееватости и глубины распространения осветленного горизонта легкосуглинистыми на суглинистой морене (преобладают) (Eutric or Albic Retisols (Aric)), агродер-

ново-подзолами иллювиально-железистыми супесчаными на песчаной морене (Albic Podzol (Aric)), агроземами текстурно-дифференцированными (Cutanic Luvisol (Aric)) и агроземами иллювиально-железистыми (Entic Podzol (Aric)). Ареалы агродерново-подзолов приурочены к крупным линзам песчаной морены среди фона суглинистой морены.

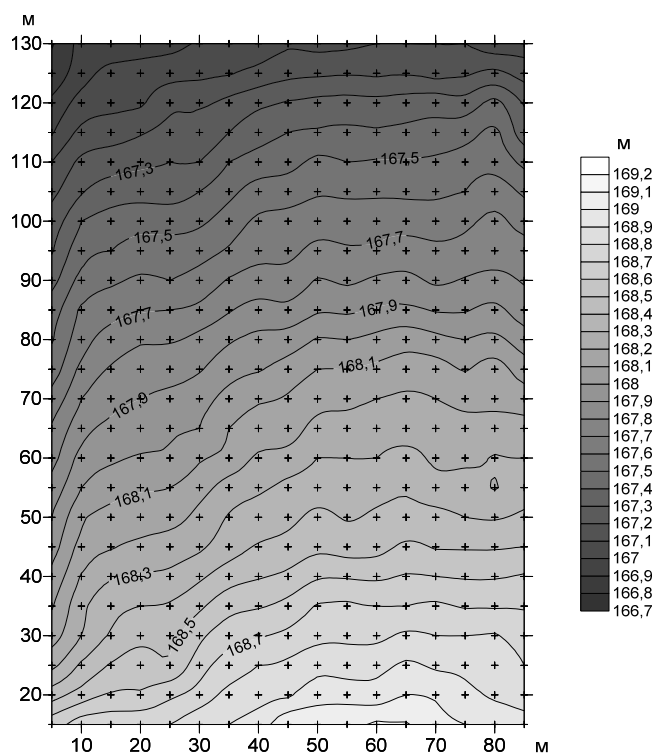


Рисунок 1. Рельеф блока 1 опытного участка Центра точного земледелия. Съёмка выполнена в мае 2014 г. (Н.Б. Хитровым и О.В. Шкадовой), вертикальное сечение через 0.2 м.

Антропогенно-преобразованный поверхностный горизонт блока 1 представлен по цвету агрогумусовым (пахотным) гор. Р, который ежегодно подвергается вспашке с оборотом пласта, и гор. Рпятн. с пятнами фрагментов нижележащих горизонтов почвы.

На обследованном участке мощность антропогенно-преобразованного (пахотного) горизонта составляет преимущественно 28–36 см с минимальным значением 22 см и максимальным 50–58 см (рис. 2). Ареалы больших значений расположены в верхней части участка и фрагментарно в нижней. Часть гор. Р, залегающая глубже 24–30 см, длительное время не подвергалась механической обработке.

Для большинства почв блока 1 характерно наличие в пахотном горизонте мелких фрагментов нижележащих горизонтов, припаханных и занесённых в пахотный слой дождевыми червями по ходам. На участках с минимальной мощностью пахотный горизонт (менее 28–30 см) имеет пятна фрагментов нижележащих горизонтов, это обусловлено их механической подрезкой плугом при ежегодных обработках. При большей мощности пахотного горизонта в нем можно выделить верхнюю однородную часть (гор. Р) и нижнюю пятнистую часть (гор. Рпятн.). Верхняя граница гор. Рпятн. часто соответствует 20–30 см от поверхности земли. На рис. 3 представлено пространственное распределение относительной мощности антропогенно-преобразованного гор. Рпятн. от общей мощности гор. Рпах. (в долях от единицы). Единица (темная заливка) соответствует наличию фрагментов нижележащих горизонтов в пахотном горизонте, значения около нуля (светлая заливка) – отражает долю гор. Рпятн. расположенного в нижней части пахотного горизонта. В горизонте Рпятн. припаханные фрагменты нижележащих горизонтов сохраняются, поскольку не подвергаются дальнейшему перемешиванию при механической обработке. А также за счёт вертикального перемещения почвенной массы дождевыми червями.

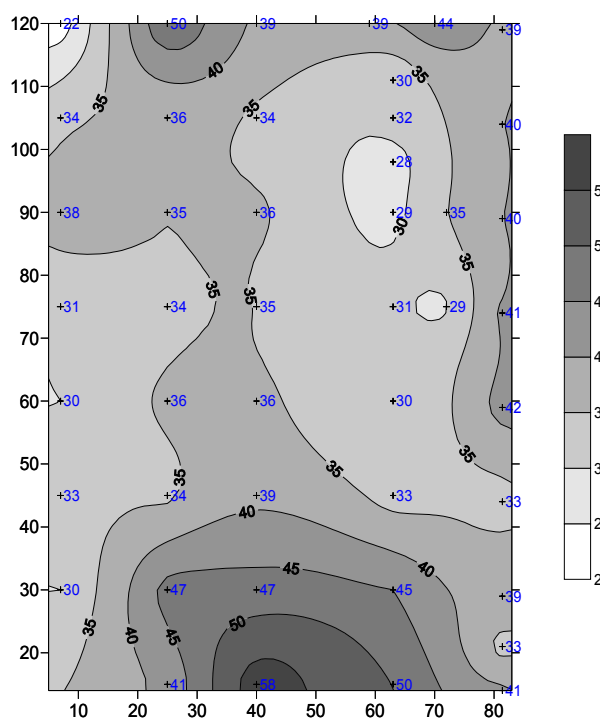


Рисунок 2. Средняя мощность (см) антропогенно-преобразованного поверхностного (пахотного) гор. Р, который когда-либо подвергался механической обработке.

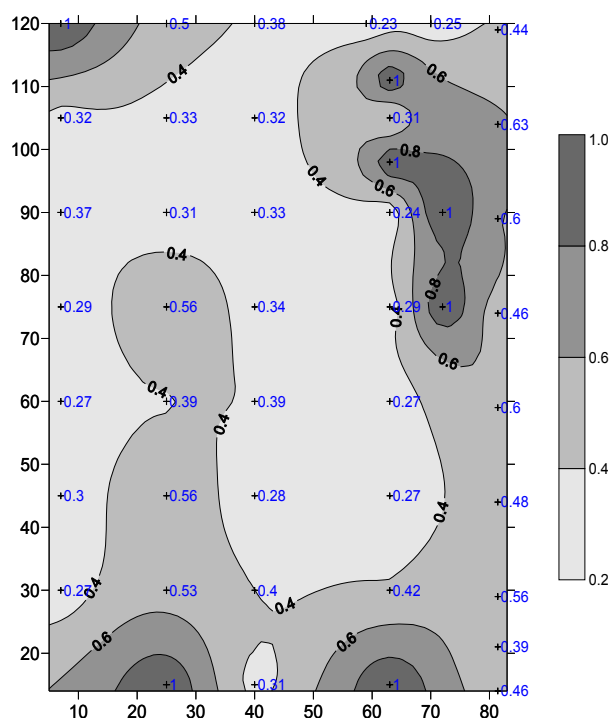


Рисунок 3. Относительная мощность гор. Рпятн., от общей мощности гор. Р +Рпятн. (в долях от единицы).

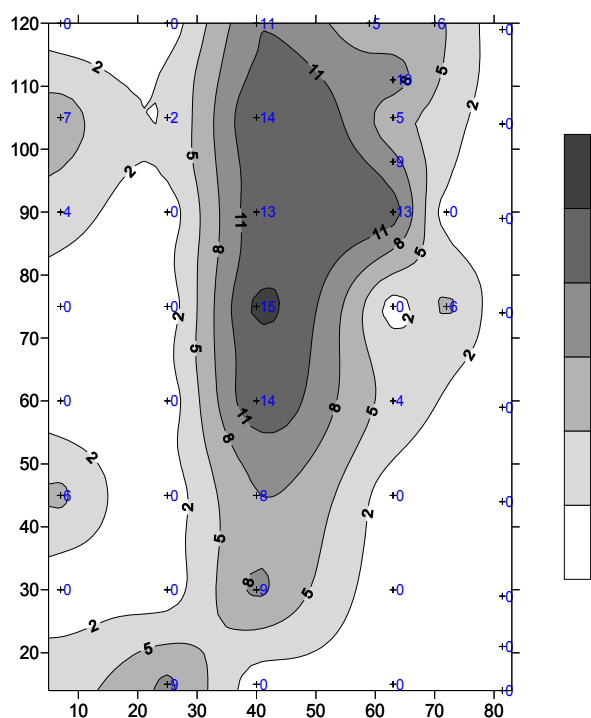


Рисунок 4. Мощность (см) элювиальных горизонтов (Е или EL). Белый фон – ареалы почв, не имеющие обособленного элювиального горизонта.

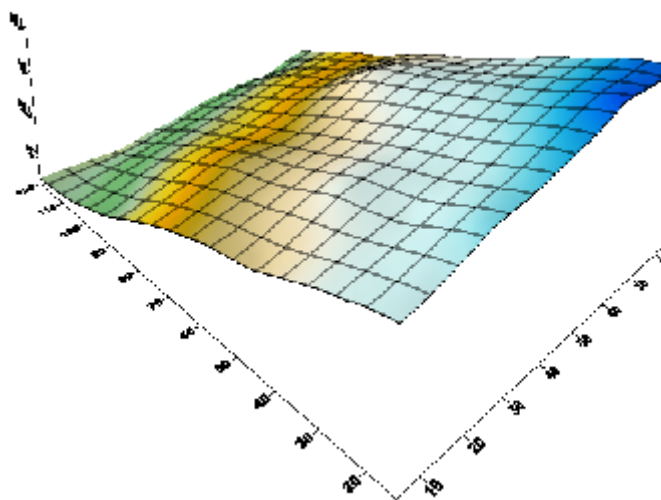


Рисунок 5. Поверхность (высота) верхней границы субэлювиального гор. BEL (нижней границы элювиального горизонта или при его отсутствии нижней границы гор. Р).

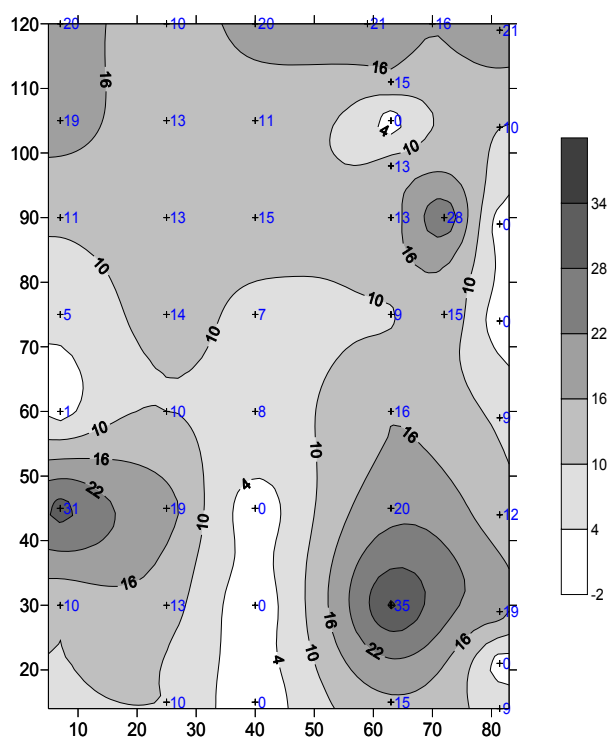


Рисунок 6. Мощность (см) субэлювиального горизонта BEL. Белый фон – ареалы почв, не имеющие обособленного субэлювиального горизонта.

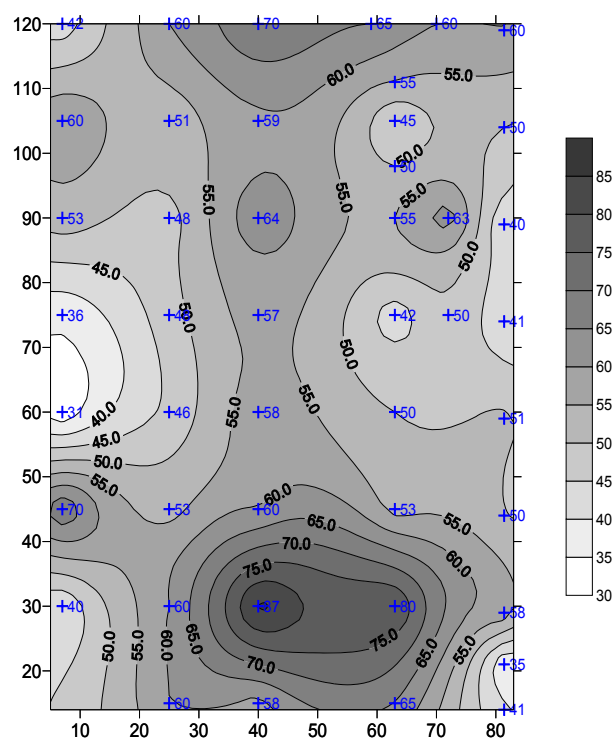


Рисунок 7. Средняя глубина верхней границы (см) срединного горизонтов ВТ или BF.

Все агродерново-подзолистые почвы блока 1 имеют ниже пахотного гор. Р сохранившийся субэлювиальный горизонт BEL разной мощности, сочетающий в себе бурые иллювиальные и осветленные элювиальные морфоны. В некоторых агродерново-подзолистых почвах и агродерново-подзолах сохранилась нижняя часть элювиальных горизонтов (Е или EL) мощностью от 2 до 14 см. Элювиальный горизонт лучше всего сохранился и имеет наибольшую мощность в центральной части, это связано с тем, что верхняя граница субэлювиального горизонта BEL образует небольшую ложбинку (рис. 4, 5).

Распределения мощностей сохранившихся частей элювиальных горизонтов и субэлювиального гор. BEL представлены на рисунках 4 и 6 соответственно. В агроземах, в которых отсутствуют элювиальные горизонты, сразу под гор. Рпах. залегает иллювиальный гор. BT или BF. Глубина залегания гор. BT или BF представлена на рисунке 7.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Моренные отложения на обследуемом участке отличаются пестротой изменения гранулометрического состава как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях. Это обусловило формирование литогенной мозаики агродерново-подзолистых почв (Eutric or Albic Retisols (Aric)) и агродерново-подзолов (Albic Podzol (Aric)). Глубокие механические обработки почвы на полевой станции способствовали появлению ареалов агроземов текстурно-дифференцированных (Cutanic Luvisol (Aric)) и агроземов иллювиально-железистых (Entic Podzol (Aric)).

2. Пространственная неоднородность генетических признаков почвы включает: 1) разные механизмы формирования пахотного горизонта; 2) наличие, отсутствие и разный тип (E или EL) элювиального горизонта; 3) отсутствие и наличие гор. BEL; 4) разный тип (BT или BF) иллювиального горизонта.

3. Разнообразие вертикального строения почвенного профиля обусловлено литологической неоднородностью почвообразующего материала, эрозионными процессами смыва и намыва, разной интенсивностью окислительно-восстановительных процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Арбузов И.В.* Почвы земельного участка полей сельскохозяйственной академии имени К.А. Тимирязева // Тр. с.-х. академии имени К.А. Тимирязева, 1936. Т. II. Вып. 2. С. 69–149.
2. *Гречин И.П.* Почвы опытной станции полеводства ТСХА // Известия ТСХА, 1955. 1(8). С. 127–144.
3. *Сакункончак Т., Милановский Е.Ю., Хайдапова Д.Д.* Физические свойства дерново-подзолистых почв в длительном агрономическом опыте // Вестник Московского университета. Сер.17, 2009; N 4. – С. 51–57.
4. *Хитров Н.Б.* Почвы длительного полевого опыта ТСХА // Известия ТСХА, вып. 3, 2012. С. 62–78.
5. *Беленков А.И.* Сравнительная оценка эффективности технологий точного и традиционного земледелия на опытном поле Центра точного земледелия (ЦТЗ) // Аграрная наука – сельскому хозяйству / Алт. гос. аграр. ун-т. – Барнаул, 2010; Кн. 2. – С. 190–193.
6. *Беленков А.И.* Сравнительная оценка способов обработки почвы в полевом опыте ЦТЗ // Ресурсосберегающие технологии обработки почвы в адаптивном земледелии / Рос. гос. аграр. ун-т – МСХА им. К.А. Тимирязева. – Москва, 2010. – С. 247–252.
7. *Беленков А.И., Березовский Е.В., Железова С.В.* Элементы технологии точного земледелия в полевом опыте РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева // Известия ТСХА, вып. 6, 2011. – С. 90–100.
8. *Захаренко А.В., Беленков А.И.* Центр точного земледелия РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева учебно-научный инновационный комплекс // Достижения науки и техники АПК, 2008; N 9. – С. 63–64.
9. *Классификация и диагностика почв СССР.* М.: Колос, 1977. 223 с.
10. *Полевой определитель почв России.* М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
11. *IUSS Working Group WRB.* 2014. World Reference Base for Soil Resources, 2014, first update 2007. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome. 116 p.
12. *Центр точного земледелия:* <http://www.pole-st.ru/ctz.html>

Работа рекомендована д.с.-х.н., проф. Н.Б. Хитровым.

On the geological zone of Sanandaj-Sirjan like as Abarkuh plain some land sliding disasters (fig 1) have reported. For studying of the soil properties on this zone two sites of Shahrekord and Abarkuh were selected. Also as sample profile and comparison with the first two sites, a site in Yazd on the central geology zone was selected. The XRD and some chemical and mechanical analyses showed that the clays on this hazard zone of land sliding could be as quick clays that are with a high activity in land sliding. More detail surveys on the clays characteristics resulted that the clays are mixed random interstratified consisted of smectites with a high activity and illites.

INTRODUCTION

According to geo technical process and orogenic formations in Iran, Iranian geological map has divided into some geological zones like as Central Iran, Zagross and Sanandaj – Sirjan and so on (fig. 1). In this research the clay minerals on the depositions of these two zones of Sanandaj – Sirjan and Central Iran have compared. For this purpose two research sites from the alluvial plains of Shahrekord and Abarkuh in Sanandaj_Sirjan zone and Yazd alluvial plain as Central zone were selected. Rankka et al. (2004) classified different clays according to their activity in land sliding. They defined quick clays or liquefied clays that are very activite in land-sliding. These clays consisted from smectite that saturated with exchangeable natrium ionnes.

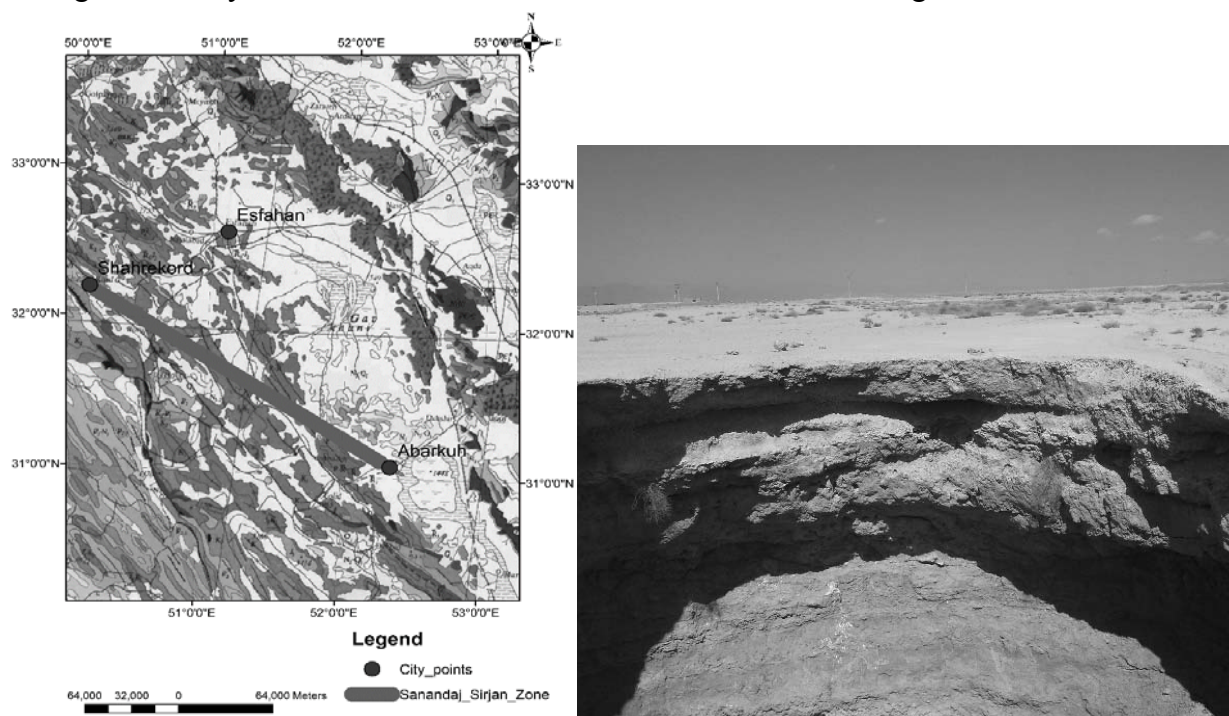


Fig. 1. A part of geological map [2], where has shown sampling positions on Sanandaj – Sirjan zone and land sliding on the flat area of Abarkuh plain.

OBJECTS AND METHODS

Clay particles in size of less than 1 micron were separated and analyzed for XRD by Philips Analytical X-Ray, from 2 [°2Th.] to 40 [°2Th.], generator setting of 40 kV, 30 mA with anode of Cu. Before Analyses of the clays were doing the treatments of ethylene glycol and heating in 550 Celsius degree for 2 hours. The semi quantitative calculations on diffractometers were done according to Biskaye (1964). The analyses of x-(XRF) for total elements of soil were done, by instrument of S4 Explorer from Bruker. For scanner emission microscopy (SEM), at

first the soil samples take placed onto glass slides and coated with gold with Iranian Nano structured coating instrument by spraying method, then microscopy analyses were done with SEM TESCAN, Check instrument.

RESULTS AND DISCUSSION

According to the tables 1 and 2, Abarkuh alluvial soils can be classified as solonchak and solonetz because of high salinity and high natrium in soluble salts. But Shahrekurd alluvials did not show salinity because of higher precipitation and having xeric soil moisture regime. The soil texture in soil horizons change from sandy loam to clayey with different saturation percentage (SP).

Clay fractions of the soils of Abarkuh and Shahrekurd alluvials showed a low quantities of calcium oxides but in soil in whole its quantities increased (table 3).

Table 1. Ione contents in soil extract and ground water in Abarkuh landsliding position.

Horizon	Depth, (cm)	Ion contents in 1:5 soil & water extract, meq/l						
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Na ⁺	K ⁺
Surface crust	0–10	7.2	17.0	369.5	2.8	0.8	369.5	20.5
Sub surface crust	10–50	4.4	6.0	102.9	2.4	1.6	101.9	16.8
A	0–20	8.4	19.0	2608.3	7.2	2.4	602.9	72.0
B _{km}	20–30	4.6	6.0	188.5	4.4	2.0	184.8	42.0
B _k	30–70	4.2	2.0	51.2	0.4	2.0	49.2	42.3
C	70–200	5.2	3.0	70.5	0.4	1.6	68.0	32.0
Ground water ion contents								
Water sample		8.0	9.0	61.3	4.5	1.6	49.2	34.0

Table 2. Some of the chemical and physical properties of soil and ground water in Abarkuh landsliding position.

Horizon	Depth, cm	pH		EC, dS/m	SP
		1:5	1:1	1:5	
Surface crust	0–10	8.43	7.65	15.71	53
Sub surface crust	10–50	8.12	7.62	5.75	28
A	0–20	7.96	7.64	24.60	38
B _{km}	20–30	8.41	7.71	9.35	33
B _k	30–70	8.64	8.03	2.64	84
C	70–200	8.57	7.97	3.42	54
Ground water					
Water sample		7.25		2.43	

Table 3. The total oxideselements in soil sample profiles of 2 and 3.

Horizon	Depth, cm	Total elements in soil, %							SiO ₂ /	CaO/
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	CO ₂	SO ₃	Fe ₂ O ₃ +Al ₂ O ₃	MgO
Abarkuh soil samples										
B _k (Clay)	30–70	48.20	17.00	3.13	2.56	5.17	7.10	0.64	2.39	0.50
C (Clay)	70–200	39.2	14.0	2.37	3.18	4.60	15.0	1.09	2.39	0.69
B _k (Soil)	30–70	33.3	11.7	2.11	25.67	3.63	18.0	0.43	2.40	7.07
Shahrekurd soil samples										
B _k (Clay)	20–50	27.60	8.52	1.64	12.80	7.28	10.00	0.33	2.72	1.76
C (Clay)	50–200	35.40	11.50	2.01	9.68	6.35	9.7	0.24	2.62	1.52
B _k (Soil)	20–50	24.80	6.67	1.71	34.06	8.40	20.00	0.34	3.0	4.05

The common property between diffractograms is that, illite has a maximum quantities in all clay samples (54–87%). Because according to Sawhney (1989) a complete collapse to 1.0 nm on heating at 550 Celsius degree precluded the presence of chlorite (fig. 2). The diffractograms of Shahrekurd are similar to Abarkuh (fig. 2) because of similar lithologic formations. But in

Shahrekurd because of higher height from sea level and more moisture climate, the quantity of smectite in clay fraction 2 times is more than Abarkuh that was increased to 30%. In Yazd plain the clay behavior is different. In this area quantity of amorphous silica has increased except young alluvials as Taft formations. And in B horizon to be formed secondary carbonates and silica of B_{qk} (fig. 3, left). But in young depositions amorphoussilicon's don't observe (fig. 3, right)

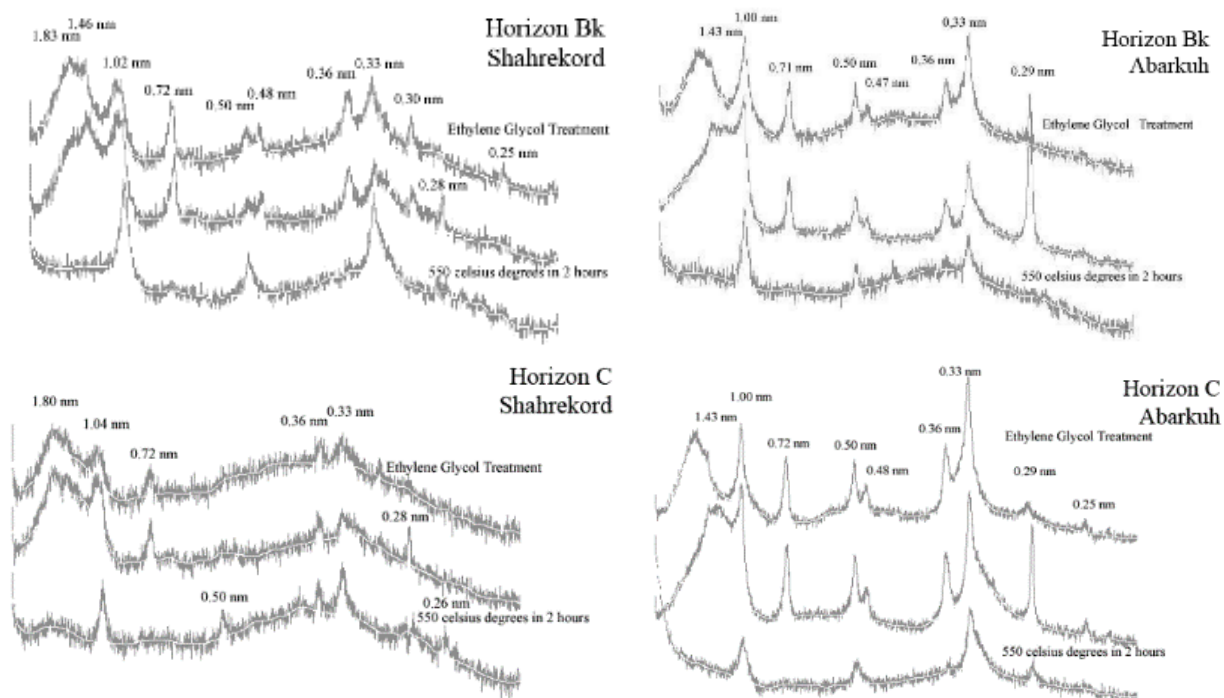


Fig. 2. The complete collapse to 1.0 nm on heating at 550 Celsius degree (lower curves) for Abarkuh and Shahrekurd XRD diffractograms.

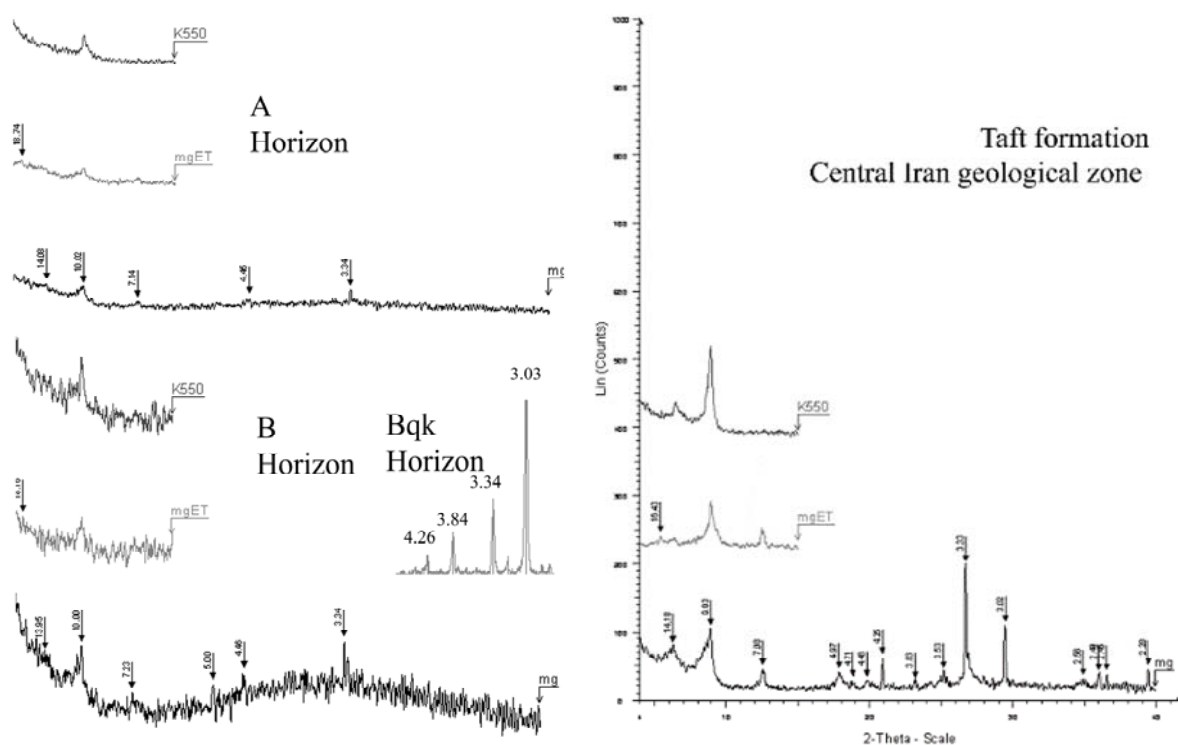


Fig. 3. Diffractograms of Yazd clayey plain with maximum Illite (87%) and a low component of smectite, chlorite and kaolinite but with high amorphous silicates and with features of secondary carbonates and silica in B_{qk} in older alluvial (left side).

CONCLUSION

We can conclude that geological process in Iran like as situation of ancient oceans of Tethys and its shores in past have influenced on clay mineral types and pedogenic process have been less effective in neo formations or transformations of clays. According to Rankka et al. (2004) and mechanical properties of the soils and clay on Sirjan-Sanandaj zone like as Atterberg limits and XRD results confirm existence of quick clays in this zone. Also thin section photo in Abarkuh (fig. 4) showed liquefied clay movement in soil cracks. Therefore to be concluded, that every construction in these area must be done after detail evaluations on the landslide possibility using supplementary analyses as geophysics studies.

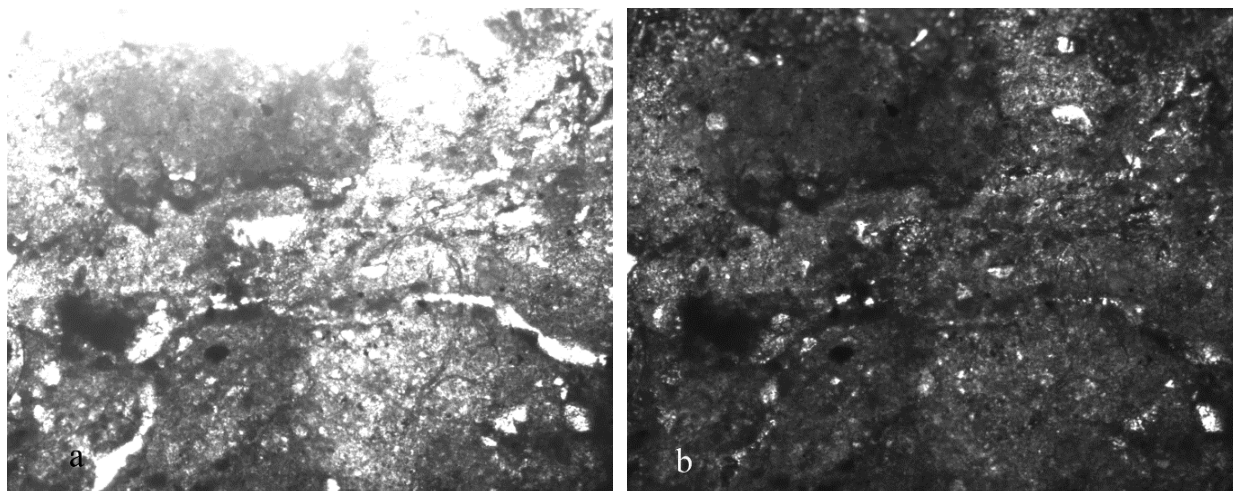


Fig. 4. Thin section from the soil crumb in B_k horizon that shows liquefied clay movement in soil cracks (a – NII, b – N⁺: 40×).

REFERENCES

1. Biskaye P.E. 1964. Mineralogy and sedimentation of the deep sea sediment fine fraction in the Atlantic Ocean. Geochemistry Technology. Rept., 8, PP: 1-86.
2. Haghypour A. and Aghanabati A. 1985. Geological map of Iran. Based on available information of geological survey of Iran and national Iranian oil company for Zagros and Kopet Dag regions. Scale: 1:2500000.
3. Rankka, Karin, Yvonne, Andersson-Skold, Carina, Hulten, Rolf, Larsson, Virginie, Eroux and Torleif Dahlin, (2004), Quick clay in Sweden, 1.3. Geotechnical properties of quick clays, Swedish Geotechnical Institute, Report No 65, 148 p.
4. Sawhney B.I. 1989. Interstratifications in layer silicates, Chapter 14, in Minerals in soil environments, by Dixon J.B and S.B. Weed, 2th Edition, SSSA, Book Series: 1. PP:789-828.

СОДЕРЖАНИЕ

Материалы Международного семинара

«Организация почвенно-экологического мониторинга с использованием почвенных монолитов» / «Методы организации научно-просветительской деятельности в области почвоведения»	3
<i>Лазарева М.А.</i> Международный семинар «Организация почвенно-экологического мониторинга с использованием почвенных монолитов» / «Методы организации научно-просветительской деятельности в области почвоведения»	4
<i>Анциферова О.А.</i> Студенческое научное общество как метод организации исследования почв	6
<i>Казарян У.К., Манукян Н.М.</i> почвы Армении в условиях изменения климата и опустынивания	7
<i>Касимзаде Т.Э.</i> Действие элементов почвы на рост растительности	9
<i>Мартынова Н.А.</i> Мониторинг почвенного разнообразия байкальской Сибири и его отражение в коллекциях Восточно-Сибирского музея почвоведения	11
<i>Чупрова В.В., Ульянова О.А., Кураченко Н.Л., Демьяненко Т.Н.</i> Рациональное и эмоциональное в организации научно-просветительской деятельности почвоведов в красноярском ГАУ	13
Материалы Международной научной конференции XVIII Докучаевские молодежные чтения «Деградация почв и продовольственная безопасность России» и XIX Докучаевские молодежные чтения «Почва – зеркало ландшафта»	17
<i>Максимова Е.Ю.</i> XIX Докучаевские молодежные чтения	18
<i>Барахов А.В.</i> Техногенное загрязнение почв ботанического сада Южного федерального университета	20
<i>Бауэр Т.В., Манджиева С.С.</i> Влияние природных и антропогенных факторов на сорбцию меди черноземом обыкновенным	25
<i>Бауэр Т.В., Невидомская Д.Г., Минкина Т.М.</i> Краевой угол смачивания поверхности твердой фазы черноземов типичных	29
<i>Безбородова А.Н.</i> Характеристика пространственной дифференциации почвенного покрова Чуйской котловины с использованием ГИС-технологий	33
<i>Белик А.А.</i> Влияние шага смещения на миграцию пестицидов в почве	38
<i>Булышева А.М.</i> Гумусообразование в почвах, формирующихся на карбонатных отвалных породах карьера Печурки, Ленинградская область	44
<i>Ваганов И.М., Алексеев А.О.</i> Закономерности распределения магнитного сигнала в почвах, сформированных на разных элементах рельефа	47

<i>Васильчук Дж.Ю.</i> Дифференциация карбонатов в почвах криоаридных ландшафтов котловины озера Ак-Холь, юго-восток Горного Алтая.....	51
<i>Гаджикеримова А.Г.</i> Геохимические особенности почв и почвообразующих пород долины реки Ерик	57
<i>Гимп А.В., Тюрина И.Г., Сушкова С.Н., Минкина Т.М.</i> Морфобиометрические показатели ярового ячменя при загрязнении чернозема обыкновенного бенз(а)пиреном по результатам вегетационного опыта	62
<i>Горбунова С.М.</i> Влияние растительного опада на формирование изотопного состава почвенных подстилок на примере предгорных бореальных лесов Северного Урала (верховья р. Печоры)	64
<i>Грибов В.В., Левченко Е.А.</i> Дистанционная диагностика продолжительности весеннего переувлажнения почв чернозёмной зоны	67
<i>Дубина-Чехович Е.В.</i> Фиторемедиация территорий, загрязненных тяжелыми металлами, в районе Костомукшского железорудного месторождения	72
<i>Елизаров Н.В.</i> Химическая мелиорация как способ устойчивой реабилитации корковых солонцов Барабинской низменности	78
<i>Енчилик П.Р., Иванов Д.Г.</i> Влияние внешних факторов на пространственное распределение почвенных потоков CO ₂ на верховом болоте южной тайги	83
<i>Ерманова М.Г.</i> Агрохимическая характеристика мелиорированных почв о. Валаам (Ладожское озеро)	87
<i>Ерофеева А.С., Окунев Р.В., Шинкарев А.А. (мл), Руселик Е.С., Шинкарев А.А.</i> Аминокислоты в инертном органическом веществе глинистых осадочных пород плиоценового комплекса	91
<i>Ершова О.А.</i> Оценка биологической активности почв, подверженных воздействию инвазивных видов (на примере борщевика Сосновского)	96
<i>Жумбей А.И., Гончарова Л.Ю., Симонович Е.И., Горовцов А.В.</i> Влияние новых видов органических и минеральных удобрений на аллелопатические показатели чернозема обыкновенного при выращивании некоторых цветочных культур.....	101
<i>Иванов Д.Г., Курбатова Ю.А., Авилов В.К., Коротков К.О.</i> Обмен углерода между напочвенным покровом и атмосферой в болотных экосистемах южной тайги	105
<i>Иванов Д.Г., Курбатова Ю.А., Енчилик П.Р.</i> Изменение эмиссии и баланса CO ₂ на верховом болоте южной тайги в различных гидротермических условиях	110
<i>Иванов Е.Д.</i> Коэффициенты накопления цезия-137 дикорастущими съедобными грибами на торфяно-глеевой почве верхового болота	115
<i>Истигечев Г.И.</i> Оценка вероятности протекания ветровального морфогенеза в почвах лесов разных сукцессионных стадий черневой тайги юго-востока Западной Сибири ..	118

<i>Карелина В.С.</i> Антропогенная трансформация почв подзоны типичных и выщелоченных черноземов плосковершинных низкогорий Алтая	122
<i>Касаткина Г.А., Федорова Н.Н., Русакова Е.А.</i> Участие центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева в подготовке студентов-почвоведов Санкт-Петербургского государственного университета.....	125
<i>Кислякова Н.Ю., Кошелева Н.Е., Терская Е.В.</i> Сезонная динамика засоления поверхностного слоя почв в Западном округе Москвы	128
<i>Козыбаева Ф.Е., Екейбаева Д.П.</i> Восстановление экологических функций нефтезагрязненных серо-бурых почв месторождения Кумколь	133
<i>Колобова Н.А.</i> Потенциальная буферная способность агросерых почв Владимирского ополья по отношению к фосфору	148
<i>Комиссарова О.Л.</i> Особенности распределения цезия-137 по профилю пахотных и целинных почв лесостепи в пост-чернобыльский период	153
<i>Комиссарова О.Л.</i> Современные параметры накопления цезия-137 в агрочерноземах и растительных компонентах бобово-злаковой травосмеси на территории Плавского радиоактивного пятна	158
<i>Котельникова А.Д.</i> Применение фитотеста с <i>Allium sera</i> для оценки фито- и генотоксичности почв.....	163
<i>Кубрак А.Н.</i> Питательный статус подзолов локальной зоны воздействия комбината «Североникель».....	168
<i>Кузьмина Д.М.</i> Некоторые механизмы формирования морфонов в подзолах северной тайги Западной Сибири.....	172
<i>Лазарева М.А.</i> Методика создания среднемасштабной почвенной карты Карельского перешейка	177
<i>Лебедева М.М.</i> Диагностика почвообразовательных процессов в палевых почвах и солодах Центральной Якутии	181
<i>Левченко Е.А.</i> Почвы Вороно-Цнинского междуречья Приволжской возвышенности Тамбовской области.....	187
<i>Лобаненков А.М.</i> Дегградация нефтепродуктов в загрязненных нефтью верховых торфах в условиях модельного эксперимента	192
<i>Лозбнев Н.И.</i> Агрогенная трансформация почвенного покрова лесостепи Среднерусской возвышенности	197
<i>Лойко С.В., Кулижский С.П., Истигечев Г.И., Новокрещенных Т.А., Родикова А.В.</i> Диагностика процессов твердофазной миграции в почвах гемибореальных лесов юго-востока Западной Сибири: натурные и экспериментальные подходы	200

<i>Мазиров И.М., Щепелева А.С., Лакеев П.С.</i> Сравнительный анализ почвенной эмиссии углекислого газа в условиях Московского региона	206
<i>Макаренко Т.И.</i> Рациональное освоение торфяных месторождений республики Беларусь.....	211
<i>Масютенко М.Н.</i> Нормирование агрогенной нагрузки в агроландшафте	215
<i>Минаев Н.В.</i> Цифровое почвенно-агроэкологическое картографирование Владимирского ополья на примере учхоза «Дружба»	220
<i>Моргун А.Е., Юдина А.В., Голиченков М.В.</i> Влияние муравьиных гнезд на кислотность и гранулометрический состав почв	224
<i>Овсепян Л.А.</i> Постагрогенная динамика запасов и состава органического вещества серых лесных почв Московской области.....	229
<i>Огородников С.С.</i> Оценка деградации почв, с применением геоинформационных технологий, на примере совхоза «Тихий Дон» Куркинского района Тульской области ..	233
<i>Полосухина Д.А., Прокушкин А.С.</i> Характеристика органического вещества подстилок и почв лесов среднетаежной подзоны Средней Сибири	236
<i>Попова М.Б.</i> Содержание и распределение цезия-137 в подзолах зоны влияния Кольской атомной электростанции	241
<i>Потапова А.В., Ваганов И.М.</i> Особенности распределения источников магнитного сигнала в каштановых почвах сопряженного ландшафта.....	245
<i>Пронина И.А., Середина В.П., Двуреченский В.Г.</i> Свойства и групповой состав железа эмбриоземов Одрабашского железорудного месторождения.....	248
<i>Романенко К.А., Юдина А.В., Абросимов К.Н.</i> Изучение динамики порового пространства микроструктур почв в условиях промерзания и оттаивания методом компьютерной микротомографии	253
<i>Ромзайкина О.Н.</i> Анализ временной динамики свойств почв городских парков до и после реконструкции на примере парка Артема Боровика (г. Москва)	257
<i>Сафарова А.М.</i> Адаптация землепользования к условиям почвенного засоления путем культивации <i>Tamarix ramosissima</i>	262
<i>Тарасова Е.В., Окунев Р.В., Шинкарев А.А. (мл), Шинкарев А.А.</i> Аминокислоты в инертном органическом веществе илистой фракции лесостепных почв	267
<i>Хорошаев Д.А.</i> Влияние климатических аномалий на эмиссию углекислого газа из серых лесных почв в полевом модельном эксперименте	271
<i>Цыганенко А.Ф.</i> Кафедры почвенного отделения ЛГУ в годы войны (1941–1945)	275

<i>Чалова Т.С.</i> Характеристика минералогического состава тонких фракций подзолистых суглинистых почв в ризосфере ели (на примере подзолистой почвы Центрально-Лесного заповедника).....	282
<i>Чаплыгин В.А., Минкина Т.М., Манджиева С.С., Маштыкова Л.Ю.</i> Проявление барьерных функций травянистой растительности в условиях полиметаллического загрязнения	287
<i>Шаяхметова А.Ф., Надпорожская М.А.</i> Трансформация соединений азота в почвах сосновых лесов	292
<i>Шерпитис Д.С., Терехова Н.И.</i> Мониторинг влажности и плодородие эродированных супесчаных буроземов Калининградской области	296
<i>Щеглова К.Е.</i> Погребённые почвы археологического памятника Старая Ладога.....	301
<i>Яковлев А.О., Русаков А.В., Попов А.И.</i> Лабораторное моделирование формирования альфегумусовых почв	305
<i>Ятусевич О.В.</i> Пространственное распределение морфометрических характеристик почв полевого опыта МСХА по точному земледелию	309
<i>Akhavan Ghalibaf M. and Bidaki H.</i> Random mix interlayer clays in soils and landsliding in Iran flats	315

Научное издание

МАТЕРИАЛЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ РУССКИХ ПОЧВ
Выпуск 9 (36)

Компьютерная верстка А.Г. Рюмина

Подписано в печать с оригинал-макета заказчика 01.06.2017 г.

Формат 60х84/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 40,5. Тираж 71 экз. Заказ №

Типография Издательства СПбГУ
199034, Санкт-Петербург, Менделеевская лин., д. 5