

**БИОГЕОХИМИЯ –
НАУЧНАЯ ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
И СОХРАНЕНИЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА**

*Труды
XI Международной биогеохимической школы,
посвященной 120-летию со дня рождения
Виктора Владиславовича Ковальского*

Tula State Lev Tolstoy Pedagogical University

Vernadsky Institute of Geochemistry and
Analytical Chemistry of Russian Academy of Sciences
(GEOKHI RAS)

**BIOGEOCHEMISTRY –
THE SCIENTIFIC BASIS FOR
SUSTAINABLE DEVELOPMENT
AND PROTECTION OF HUMAN HEALTH**

*Proceedings
of the XI International biogeochemical school,
devoted to 120-anniversary from the birthday
of Victor V. Kovalsky*

In two volumes

Volume 1

13–15 June 2019, Tula

Tula
TSPU
2019

Тульский государственный педагогический
университет им. Л. Н. Толстого

Институт геохимии
и аналитической химии им. В. И. Вернадского
Российской академии наук (ГЕОХИ РАН)

**БИОГЕОХИМИЯ –
НАУЧНАЯ ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
И СОХРАНЕНИЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА**

*Труды
XI Международной биогеохимической школы,
посвященной 120-летию со дня рождения
Виктора Владиславовича Ковальского*

В двух томах

Том 1

г. Тула, 13–15 июня 2019 г.

Тула
ТГПУ им. Л. Н. Толстого
2019

УДК 550.47:(550.72-550.75):62.503:309.064
ББК 28.080.3
Б63

Редакционная коллегия:
кандидат биологических наук Л. В. Переломов;
доктор биологических наук В. В. Ермаков

Б63 Биогеохимия – научная основа устойчивого развития и сохранения здоровья человека: В 2 т. – Тула: Тул. гос. пед. ун-т им. Л. Н. Толстого, 2019. – Т. 1. – 288 с.

ISBN 978-5-6042450-0-2

Материалы школы-конференции включают в себя доклады пленарной и тематических сессий XI Международной биогеохимической школы, посвященной 120-летию со дня рождения В. В. Ковальского. Они освещают следующие актуальные аспекты биогеохимии: биогенную аккумуляцию и трансформацию природных и антропогенных химических соединений, геохимическую экологию организмов, физиологическую роль химических элементов в норме и при патологии, состояние биокосных систем, описание локальных циклов химических элементов и новые методы в биогеохимии.

Издание предназначено специалистам в области биогеохимии, почвоведения, экологии, медицины и сельского хозяйства.

ББК 28.080.3

*При подготовке материалов к публикации сохранен авторский текст
с минимальными редакционными правками.*

Ответственность за содержание представленных материалов несут авторы.

*Печатается по решению оргкомитета XI Международной биогеохимической школы
и при финансовой поддержке ТГПУ им. Л. Н. Толстого,
Лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН и ООО «Щекиноазот».*

Editorial Board:
PhD (Biology) L. V. Perelomov;
DSci (Biology) V. V. Ermakov

Б63 Biogeochemistry – the scientific basis for sustainable development and protection of human health: In two vol. – Tula: TSPU, 2019. – Vol. 1. – 288 p.

ISBN 978-5-6042450-0-2

The conference materials include the reports of the plenary and thematic sessions of the XI International biogeochemical school devoted to the 120th anniversary of the birth of V. V. Kovalsky. They are dedicated to the following actual aspects of biogeochemistry: biogenic accumulation and transformation of natural and man-made chemical compounds; geochemical ecology of organisms, the physiological role of chemical elements in norm and at a pathology, bio-mineral systems, local cycles of chemical elements and new techniques in biogeochemistry.

For specialists in biogeochemistry, soil science, ecology, medicine and agriculture.

*When preparing materials for publication, the author's text with minimal editorial changes was saved.
The authors are responsible for the content of the presented materials.*

*Published by the decision of the Organizing Committee of the XI International biogeochemical school
and with the financial support of the TSPU, the Laboratory of the environmental biogeochemistry of GEOKHI
RAS and UCC Shchekinoazot Ltd.*

*При оформлении обложки издания использован рисунок В. В. Ковальского. ВЕСЕННЯЯ МЕЛОДИЯ.
Акварель. Краснодар, 1960.*

ISBN 978-5-6042450-0-2

© ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 2019
© ГЕОХИ им. В. И. Вернадского РАН, 2019
© Коллектив авторов, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Представленные материалы (в двух томах) отражают доклады участников XI Международной биогеохимической школы «Биогеохимия – научная основа устойчивого развития и сохранения здоровья человека». Следует заметить, что со времени проведения в 1999 г. II Школы (Москва) интерес к биогеохимии как к системной науке усиливается, что связано со сложными и актуальными проблемами загрязнения таксонов биосферы токсичными веществами и необходимостью разработки и внедрения новых биогеохимических инноваций.

XI Международная биогеохимическая школа посвящена 120-летию со дня рождения выдающегося ученого, профессора Виктора Владиславовича Ковальского, руководителя Биогеохимической лаборатории Института геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН в период с 1954 по 1984 г. Его вклад в развитие биогеохимии трудно переоценить. Он является основателем геохимической экологии, автором новой концепции биогеохимического нормирования, районирования и картирования, оригинальных работ по проблеме биоритмов, биологической роли микроэлементов, эволюционной и динамической биохимии.

Выпуск состоит из 5 основных разделов, освещающих актуальные вопросы биогеохимии: фундаментальные аспекты, современное состояние и преобразование таксонов биосферы, геохимическая экология и биогеохимические инновации. Кроме того, 6-й и 7-й разделы посвящены юбилейным датам и памяти выдающегося биогеохимика и почвоведа профессора Алины Кабаты-Пендиас.

2 тома докладов XI Международной биогеохимической школы содержат 130 сообщений от более чем 300 авторов. По количеству докладов и участников эта Школа намного превосходит предыдущие научные форумы. Таким образом, мы становимся свидетелями реальной востребованности биогеохимии как фундаментального системного направления современной науки.

Следует отметить новые направления биогеохимии, обсуждаемые на XI Школе. Прежде всего это ее инновационные аспекты, включая инженерную биогеохимию и внедрение информационных технологий в биогеохимические исследования суперсвязанного мира. Особенно это касается технологии интернета вещей. Внедрение таких технологий связано с решением чрезвычайно актуальной для современной цивилизации задачи – радикального повышения предсказательного потенциала существующих сегодня систем мониторинга глобальных процессов на планете Земля и возможности оценки происходящих процессов во взаимосвязи и динамике.

Впервые на XI Школе отражена связь между биосферными идеями В. И. Вернадского и философскими взглядами Л. Н. Толстого относительно экологического кризиса и актуальных проблем развития современного общества. Представляют интерес материалы, освещающие исторические этапы становления биогеохимии.

В целом доклады XI Международной биогеохимической школы отражают современные тенденции развития биогеохимии в условиях усиливающегося техногенного преобразования таксонов биосферы и, несомненно, будут способствовать дальнейшему развитию этого жизненно важного научного направления естествознания и формированию биогеохимии ноосферы.

*Доктор биологических наук,
профессор В. В. Ермаков*

*Оргкомитет XI Международной биогеохимической школы
благодарит
Тульский государственный педагогический университет
им. Л. Н. Толстого,
Лабораторию биогеохимии окружающей среды
Института геохимии и аналитической химии
им. В. И. Вернадского РАН,
ООО «Объединенная химическая компания “Щекиноазот”»
за финансовую поддержку в проведении школы.*

Раздел I

**ИСТОРИЯ БИОГЕОХИМИИ.
ФИЛОСОФСКОЕ НАСЛЕДИЕ
В. И. ВЕРНАДСКОГО И Л. Н. ТОЛСТОГО
В ПРЕОДОЛЕНИИ
ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КРИЗИСА**

ВКЛАД В. В. КОВАЛЬСКОГО В РАЗВИТИЕ БИОГЕОХИМИИ И ГЕОХИМИЧЕСКОЙ ЭКОЛОГИИ

В. В. Ермаков, Ю. В. Ковальский

*Лаборатория биогеохимии окружающей среды,
Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН,
г. Москва, Россия
e-mail: yukovalsky@mail.ru*



*В. В. Ковальский.
Одесса, 1928*

Виктор Владиславович Ковальский – крупнейший представитель биогеохимической школы В. И. Вернадского, основатель геохимической экологии и учения о биогеохимическом районировании биосферы внёс значительный вклад в учение о биосфере и развитие эволюционной биохимии. В. В. Ковальский – ученый необыкновенной одаренности и обширных знаний в разных областях естествознания, достойно и ответственно отстаивающий интересы отечественной науки, талантливый теоретик и оригинальный экспериментатор. Его отличала интеллигентность, поразительная способность к обобщениям, постоянство патриотического мировоззрения. В январе 2019 г. В. В. Ковальскому исполнилось 120 лет со дня рождения. В сообщении отражены некоторые этапы научного и жизненного пути гениального ученого и гражданина.

Ключевые слова: эволюционная биохимия, биогеохимия, микроэлементы, геохимическая экология.

Становление ученого

В. В. Ковальский родился в Одессе 28 (15) января 1899 г. Его отец, Владислав Францевич Ковальский (1869–1915), служил в Земском земельном банке Херсонской губернии и был уроженцем г. Луцка Волынской губернии. Мать, Акилина Федоровна (1874–1945), в девичестве Полякова, уроженка г. Серпухова Московской губернии. Детство его прошло на Внешней улице (ул. Мечникова) [2, 3].

С детства В. В. Ковальского отличало любопытство к природным явлениям и страсть к познанию. Будучи учащимся Реального училища в Одессе, он знакомится со специальной литературой, собирает и оформляет гербарии и коллекции насекомых, минералов, интересуется жизнью морских организмов Черного моря. В студенческие годы он выполняет первые научные исследования по зоологии беспозвоночных и изучению кранио- и остеометрии сельскохозяйственных животных и диких млекопитающих под руководством проф. А. А. Браунера (Одесский сельскохозяйственный институт, 1919–1920 гг.). В Новороссийском университете он изучает методы экспериментальной хирургии и послеоперационной клиники у проф. Б. П. Бабкина. В лаборатории физиологии Института народного образования у проф. Е. И. Синельникова с 1922 г. Виктор Ковальский проводит исследования по физиологии пищеварительного тракта

животных. В лаборатории проф. Д. К. Третьякова он совершенствуется в области гистологии и зоологии (1920–1921). В лаборатории проф. Д. Л. Рубинштейна с 1921 г. Виктор Ковальский проводит исследования ядовитого действия солевых растворов (вопросы общей токсикологии) на морских организмах, изучает физико-химические параметры живых клеток в свете адаптационно-экологических явлений и своеобразных условий среды и т. д. Позднее он работает над теми же вопросами (1923–1925) в лаборатории физической химии проф. П. Н. Павлова.

В этот период становления В. Ковальский участвует в почвенных, зоологических, картографических и морских экспедициях, где проходит хорошую школу полевых комплексных исследований (по почвоведению – проф. А. И. Набоких, по комплексным экспедиционным исследованиям в природе – зоолог А. А. Браунер, ботаник Г. И. Танфильев, геолог и палеонтолог В. И. Крокос и др.). Это приводит к пониманию им необходимости проведения комплексных исследований в природной обстановке и охвата ими экологической системы в целом. Служить начал с 16 лет. Начало же его трудовой деятельности как исследователя-экспериментатора и педагога относится к 1919 г. с должности ассистента кафедры зоологии Одесского сельскохозяйственного института.

Именно в этот период у В. В. Ковальского под воздействием первых результатов научных изысканий и работ И. М. Сеченова и В. И. Вернадского и мысли последнего, что «...разгадка жизни не может быть получена только путем изучения живого организма. Для ее разрешения надо обратиться к ее первоисточнику – земной коре, биосфере, т. е. к свойствам атомов и миграции их через живое вещество, живые организмы...» (1922) укрепляются взгляды по основному направлению своей научной деятельности.

Следует заметить, что В. В. Ковальский внес в последующий период заметный вклад в развитие художественного искусства. Ему принадлежат великолепные лирические и философские стихи, оригинальные заметки по археологии. Это органично сочеталось с многогранностью личности ученого.

Основные этапы педагогической и научной деятельности В. В. Ковальского связаны с соответствующими учреждениями городов: Одесса и Киев (1919–1944), Москва (1943–1984). В. В. Ковальский окончил в 1921 г. естественное отделение физико-математического факультета Новороссийского университета, в 1924 г. биологический факультет Института народного образования по специальности «Биохимия». Здесь же в 1925 г. окончил аспирантуру. Звание профессора ему присвоили в 1933 г., а степень доктора биологических наук в 1937 г. В 1956 г. он был избран членом-корреспондентом. ВАСХНИЛ.

В Одесском (1933–1935), Киевском (1936–1941) и Московском (1948–1959) университетах В. В. Ковальский читает курс лекций по сравнительной биохимии с основами биогеохимии, основные положения которой были сформулированы в двадцатые годы В. И. Вернадским. В послевоенные годы в МГУ им. М. В. Ломоносова он ведет курс по динамической биохимии с основами биогеохимии микроэлементов [2, 3].

Развитие учения о микроэлементах

Проблемой микроэлементов В. В. Ковальский начал заниматься в 1931 г. в Одессе. Первые работы по биохимии и физиологии микроэлементов выполнены В. В. Ковальским в Украинском государственном институте стоматологии (УДИС). В организованной им лаборатории биохимии (1929–1936) была изучена физиологическая роль следов Ag, Al, Si на животный организм и проведено спектрографическое исследование их тканей на содержание микроэлементов. Им были выполнены пионерские исследования минерального обмена в костной ткани, а также исследования химического состава слюны и обменных функций у человека, домашних животных и обезьян при нарушении жевательного акта.

Одновременно, Ковальский работает над проблемой гематоэнцефалического барьера и природы судорог при беременности и эклампсии. В биохимическом отделе Одесского НИИ охраны материнства и детства (ОХМАТДЕТ), которым он руководил (1931–1936) были выполнены исследования по ионной теории судорог и анализу периодических ионных изменений в крови и в спинномозговой жидкости при судорожных состояниях, исследованы их биохимические механизмы. Изучение катионного состава крови (натрий, калий, магний, кальций) и ликвора при выяснении функций гематоэнцефалический барьера в норме и при токсикозах, а также анализ эклампсических судорожных состояний показали несомненную связь судорожного процесса при эклампсии с изменениями электролитного состава крови, электролитного состава ликвора и с функциональным нарушением регулирующей деятельности гематоэнцефалического барьера. Глубокая научная эрудиция давала возможность Ковальскому проводить работы в широком диапазоне комплексных исследований - физиологической, клинической и бактериологической направленности.

В конце 1935 г. профессор В. В. Ковальский переезжает в Киев. Это было связано, с решением академика А. В. Палладина организовать в Институте биохимии АН УССР отдел сравнительной биохимии. В Отделе, под руководством В. В. Ковальского (1935–1944), разрабатывалась проблема периодической изменчивости химического элементарного состава органов и тканей животных организмов разных систематических групп. Были изучены закономерности астрономических ритмов и эволюционной роли периодической изменчивости (суточных, сезонных и приливо-отливных ритмов, вопросы исследования приобретенных признаков и приспособления организмов к условиям среды), вопросы биохимических признаков вида и приспособления организмов к условиям среды. На их основе В. В. Ковальским созданы оригинальные направления в эволюционной биохимии: динамические характеристики вида, имеющие таксономическое значение; периодическая изменчивость процессов обмена веществ; ритмическая форма адаптаций и естественного отбора.

Особое место в работе Отдела занимают исследования минерального обмена и микроэлементов (меди, марганца, цинка и др.) в животном организме. С целью развития проблемы «Эволюция минерального состава тканей и минерального обмена» В. В. Ковальским планируются широкие биогеохимические исследования. В развитие работ, начатых им еще в Одессе, исследуется обмен микроэлементов у млекопитающих и микроэлементный состав арктических рыб.

Важным стимулом развития проблемы явилась инициатива Биохимической лаборатории АН СССР (1936) по привлечению Института биохимии к разработке проблем биогеохимии и встречи В. В. Ковальского с академиком В. И. Вернадским и проф. А. П. Виноградовым, а также выдвинутая А. П. Виноградовым концепция о биогеохимических провинциях (1938). В эти же годы были проведены первые совместные с Биогеохимической лабораторией АН СССР (С. А. Боровик) исследования микро- и ультра-элементов мозга (1939). В последующий период (1960–1983 гг.) В. В. Ковальский был инициатором создания и функционирования межведомственного научного совета по проблемам микроэлементов в биологии АН СССР, а также главным координатором исследований по микроэлементам в СССР.

Московский период деятельности ученого

С 1943 г. начинается Московский период научной деятельности В. В. Ковальского. Академик Я. О. Парнас приглашает В. В. Ковальского для работы в организованную им в Москве Лабораторию физиологической химии АН СССР. Одновременно, Ковальскому поступает предложение от Всесоюзного института животноводства (ВИЖа).

В Лаборатории физиологической химии АН СССР В. В. Ковальским (1943–1948), изучаются вопросы сравнительной биохимии минерального обмена, в частности обмена микроэлементов у микробов (патогенные и сапрофитные микроорганизмы). Эти работы проводились совместно, с Лабораторией геохимических проблем им. В. И. Вернадского АН СССР (БИОГЕЛ), преобразованной с 1947 г. в Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР (С. А. Боровик), Институтом микробиологии АН СССР (В. Л. Рыжков), Научно-исследовательским институтом вакцин и сывороток им. И. И. Мечникова (Е. А. Петросян).

Одновременно, В. В. Ковальским в лаборатории биохимии Института акушерства и гинекологии АМН СССР (1944–1952) продолжены исследования биологических ритмов и связанных с ними физиологических процессов, у животных и человека. Оценены суточные и сезонные ритмы биохимических процессов в организме: минерального и углеводного обмена, в том числе по изменчивости у животных и человека суточного ритмов содержания в крови сахара, реакций организмов на сахарную нагрузку и т. д.

С 1944 г. В. В. Ковальским в лаборатории биохимии Всесоюзного научно-исследовательского института животноводства (в 2012 г. присвоено имя академика Л. К. Эрнст) начаты систематические исследования обмена микроэлементов у сельскохозяйственных животных с использованием радиоактивных изотопов. В том же году В. В. Ковальский приступает к изучению биогеохимических провинций, что стало в дальнейшем одним из основных направлений научной деятельности В. В. Ковальского.

В 1944 г. была организована первая экспедиция в хозяйства Ярославской и Костромской областей с целью выяснения причин массовой гибели животных от неизвестных нарушений обмена. Впервые в СССР было установлено, что причиной падежа животных была кобальтовая и витаминная недостаточность.

В ВИЖе и затем в Институте геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР (1954–1984), В. В. Ковальский разворачивает широкомасштабные исследования по проблеме микроэлементов. Это второй период развития биогеохимии. Он устанавливает некоторые общие закономерности действия микроэлементов на животный организм, обосновывает создание новых оригинальных направлений в биогеохимии и экологии – геохимической экологии микроорганизмов, растений, животных и человека, а также учения о биогеохимическом районировании биосферы, охватывающего изучение биогеохимической мозаичности биосферы. Особое внимание ученый акцентирует на проблеме биоритмов обмена макро- и микроэлементов и на вопросах динамической биохимии, в целом.

В этот период сотрудниками лаборатории биогеохимии совместно с лабораторией биохимии ВИЖа и других учреждений СССР были не только изучены биогеохимические провинции с избытком свинца, никеля, меди, урана, недостатком меди, кобальта, селена и йода, но также установлены характерные биологические реакции организмов в ответ на экстремальные факторы среды. Стали классическими работы Р. И. Блохиной (1929–2016) по биогеохимии йода и стронция, В. С. Лекарева и И. Е. Воротницкой по биогеохимии урана, И. Е. Воротницкой и Г. Г. Цой по адаптивным изменениям ксантиноксидазы, Масляной М. К. по биологической роли меди в организме растений, Г. А. Яровой по биогеохимии молибдена, С. В. Летуновой и С. А. Алексеевой по геохимической экологии микроорганизмов. В последующем В. В. Ковальский разработал теорию гомеостаза микроэлементов и обосновал их критические концентрации.

В 80-х гг. Биогеохимическая лаборатория ГЕОХИ продолжала исследования субрегионов биосферы и биогеохимических провинций Центральной нечерноземной зоны с целью разработки количественной модели: почвообразующая порода – почва – корма – пищевой рацион для микроэлементов кобальта, меди, йода; отношения кальций/стронций. Такая модель полезна при прогнозировании распространенности реакций животных и человека на биогеохимические особенности среды обитания.



*Сотрудники Биогеохимической лаборатории
в домашнем личном кабинете В.В. Ковальского в 1996 г.
Стоят д-р биол. наук В. В. Ермаков, канд. биол. наук И. Е. Воротницкая,
канд. биол. наук Р. И. Блохина, канд. биол. наук Н. Е. Лебедева,
канд. биол. наук М. К. Масляная, д-р биол. наук Г. А. Яровая с внучкой.
Сидят С. Н. Романова, Р. Г. Никитина, канд. биол. наук Н. С. Петрунина,
д-р биол. наук С. В. Летунова*

11 января 1984 г. В. В. Ковальского не стало. Ученый оставил огромный интеллектуальный материал, завидную стаю учеников и последователей, а его лаборатория известна как Лаборатория биогеохимии окружающей среды. Ее сотрудники продолжают развивать биогеохимические и экологические идеи В. В. Ковальского. С 1999 г. в ГЕОХИ РАН учреждены ежегодные Международные биогеохимические чтения памяти В. В. Ковальского, а также Международные биогеохимические школы (с периодичностью через год).



*Сотрудники лаборатории биогеохимии окружающей среды ГЕОХИ РАН (2018 г.):
слева-направо 1 ряд: н. с. С. Д. Хушвахтова, проф. В. В. Ермаков (руководитель лаборатории),
гл. н. с. Е. М. Коробова, н. с. В. Н. Данилова, м. н. с. В. С. Баранчуков, аспирант Д. И. Долгушин;
2 ряд: н. с. Ф. В. Голубев, н. с. Е. В. Кречетова, с. н. с. Ю. В. Ковальский, н. с. А. П. Дегтярев,
м. н. с. У. А. Гуляева, в. н. с. С. Ф. Тютиков, в. н. с. В. А. Сафонов, с. н. с. В. Ю. Березкин,
н. с. Л. И. Колмыкова*



*Участники XIII Международных биогеохимических чтений
памяти В. В. Ковальского (июнь 2011 г.): академик РАЕН Г. М. Колесов,
академик Сербской Академии инновационных наук Марко Тодорович,
академик РАН С. С. Григорян, профессор С. А. Остроумов,
профессор В. В. Ермаков, д. г.-м. н. Л. Л. Демина*

Заключение

Работы В. В. Ковальского по геохимической экологии и биогеохимическому районированию являются творческим продолжением формирования биогеохимии В. И. Вернадского. Новое направление развивалось В. В. Ковальским, его учениками и единомышленниками в различных районах СССР на основе изучения природных экосистем. В настоящее время неувядающие идеи В. В. Ковальского достойно оценены современниками и являются востребованными как жизненно важные, интересные и преломленные в различных областях медицины, ветеринарии и сельского хозяйства [1].

Оценивая творчество В. В. Ковальского, вице-президент ВАСХНИЛ академик Л. К. Эрнст (2009) отмечал: «Значение пионерских исследований, выполненных В. В. Ковальским в области геохимической экологии трудно переоценить..., они определяются точностью установленных им фактов и глубиной идей, которые со временем приобретают все большую актуальность. Особую ценность трудам В. В. Ковальского придает комплексный системный характер, охват явлений в биосферном их понимании. Виктор Владиславович Ковальский навсегда останется в истории науки ученым-натуралистом и практиком, умеющим охватывать своим мышлением Природу как целое» [4].

Литература

1. Инновационные аспекты биогеохимии / В. В. Ермаков, Е. А. Карпова, В. Д. Корж, С. А. Остроумов / Отв. ред. М. Федонкин, С. Остроумов. – М.: ГЕОХИ РАН, 2012. – С. 5–60.
2. Ковальский Ю. В. Ритмы земной жизни: о жизненном пути и творчестве В. В. Ковальского. – М.: Наука, 2006.
3. Ковальский, Ю. В. Основные этапы жизни и научного творчества Виктора Владиславовича Ковальского // Развитие идей континентальной биогеохимии и геохимической экологии: Материалы VI–XII Биогеохимических чтений, посвященных памяти В. В. Ковальского (2006–2010) гг.) / Отв. ред. В. В. Ермаков. – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – С. 4–7.
4. Эрнст Л. К. Оригинальные труды В. В. Ковальского – фундаментальный вклад в сельскохозяйственную науку и естествознание // Проблемы биогеохимии микроэлементов и геохимической экологии. – М.: Россельхозакадемия, 2009. – С. 8–22.

VIKTOR V. KOVALSKY'S CONTRIBUTION IN THE DEVELOPMENT OF BIOGEOCHEMISTRY AND GEOCHEMICAL ECOLOGY

V. V. Ermakov, Yu. V. Kovalsky

V. V. Kovalsky – the largest representative of the biogeochemical school of V. I. Vernadsky, the founder of geochemical ecology and the doctrine of biogeochemical zoning of the biosphere produced a significant contribution to the doctrine of the biosphere and the development of evolutionary biochemistry. V. V. Kovalsky is a scientist of extraordinary talent and extensive knowledge in various fields of natural science, adequately and responsibly defending the interests of Russian science, a talented theorist and an original experimenter. He was distinguished by intelligence, amazing ability to generalize, constancy of Patriotic Outlook. In January 2019, V. V. Kovalsky celebrated his 120th birthday. The report reflects some stages of the scientific and life path of the brilliant scientist and citizen.

Keywords: evolutionary biochemistry, biogeochemistry, microelements, geochemical ecology.

О РУКОПИСИ В. И. ВЕРНАДСКОГО «ЗАМЕТКИ О ПОЧВАХ НА ФРАНЦУЗСКОЙ ВСЕМИРНОЙ ВЫСТАВКЕ 1889 ГОДА»

Е. П. Янин

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,

г. Москва, Россия

e-mail: yanin@geokhi.ru

Сообщение посвящено истории создания впервые публикуемых «Заметок о почвах на Французской всемирной выставке 1889 года» В. И. Вернадского. На этой выставке коллекция русских почв, представленная В. В. Докучаевым, официальным поверенным которого был Вернадский, получила золотую медаль. Выставка, по словам Вернадского, «имела для него огромное значение» в профессиональном отношении.

Ключевые слова: Вернадский, Докучаев, Всемирная выставка, почвы, почвоведение, коллекция почв, почвообразование, гумус, живые организмы.

Текст публикуемых ниже заметок академика В. И. Вернадского (1863–1945) сохранился в Архиве РАН в виде автографа с авторскими исправлениями, вставками и примечаниями¹. Заметки представляют собой набросок (начало) доклада, который Вернадский (по предложению В. В. Докучаева²) предполагал сделать на заседании Почвенной комиссии при Вольном экономическом обществе (ВЭО)³. Этот доклад – по каким-то причинам – не состоялся, а заметки так и остались незавершенными. Тем не менее они представляют определенный интерес для понимания творческой работы Вернадского (тогда еще начинающего молодого ученого), для последующего развития его

¹ При подготовке текста заметок к публикации (а также при цитировании в данной статье архивных материалов и опубликованных источников) авторские подчеркивания выделены курсивом. Неразборчиво написанные слова помечены как <нрзб>; части недописанных и сокращенных слов приводятся в квадратных скобках. Пропущенные слова и слова, введенные публикатором (в редких случаях) для лучшего понимания смысла, заключены в угловые скобки, пропуски при цитировании обозначены как <...>. Явные описки и неточности исправлены без каких-либо указаний. Примечания Вернадского, отмеченные в тексте заметок как ¹ и т. д., даются в подстрочных ссылках. Библиографические ссылки, приводимые Вернадским обычно в сокращенном виде, раскрыты, по возможности, полностью, что отмечено квадратными скобками. Орфография и пунктуация в основном приведены в соответствие с современными нормами русского языка при максимальном сохранении авторской манеры. К тексту заметок даны примечания публикатора, ссылки на которых обозначены арабскими цифрами в квадратных скобках.

² Василий Васильевич Докучаев (1846–1903) – создатель научного почвоведения и учения о географических зонах, учитель, наставник и друг Вернадского со времени его поступления (1881) в Петербургский университет; Докучаев оказал огромное влияние на формирование научных интересов и на становление мировоззрения своего великого ученика. Вернадский посвятил памяти Докучаева одну из самых замечательных своих статей [6] и на всю жизнь сохранил о своем учителе добрые и светлые воспоминания. В 1942 г. Вернадский напишет: «21 октября 1903 г. умер в Петербурге после страшной мучительной болезни мой учитель и близкий мне человек, оказавший <огромное влияние> на меня лично и на всю научную работу в нашей стране – и, как теперь видно, на мировую научную мысль» [4].

³ Императорское Вольное экономическое общество России основано 31 октября (11 ноября по новому стилю) 1765 г. по указу императрицы Екатерины II. С 1766 г. издавались Труды ВЭО. Общество фактически прекратило свою деятельность в 1915 г.; продолжал работать лишь Совет Общества; в 1919 г. ВЭО формально было ликвидировано. Почвенная комиссия при ВЭО была создана Докучаевым весной 1888 г. и сыграла значимую роль в истории развития отечественного почвоведения; с 1899 г. издавался журнал «Почвоведение». В 1913 г. она слилась с Докучаевским почвенным комитетом, на базе которого в 1918 г. организуется Почвенный отдел Комиссии по изучению естественных производительных сил и затем, в 1925 г., создается Почвенный институт КЕПС. В 1927 г. Общее собрание АН СССР на основании записки академиков В. И. Вернадского и Ф. Ю. Левинсона-Лессинга (1861–1939) приняло решение о переводе Института в состав АН СССР, т. е. о создании самостоятельного Почвенного института им. В. В. Докучаева (первый директор – Левинсон-Лессинг). Вернадский с первых дней был членом Почвенной комиссии. В 1899 г. ВЭО и Комиссией начал издаваться журнал «Почвоведение».

взглядов на роль животных и живого вещества в целом в формировании почв и его представлений о почве как о биокосном природном теле биосферы.

Как известно, в 1888–1890 гг. Вернадский находился в заграничной научной командировке (от Санкт-Петербургского университета), связанной с его подготовкой к профессорскому званию, и проводил исследовательскую работу в научных учреждениях Италии, Германии, Франции [16, 20]. В марте 1889 г. он приступает к научной работе в Париже в высшей Горной школе (École nationale supérieure des mines de Paris) и в знаменитом Коллеж де Франс (Le Collège de France). Вернадского тогда интересовали, прежде всего, вопросы кристаллографии и минералогии, особенно минералогии силикатов и синтеза минералов. Пребывание Вернадского во Франции совпало по времени с проходившей в Париже Всемирной выставкой, посвященной 100-летней годовщине Великой французской революции. Декрет о проведении в Париже очередной Всемирной выставки был подписан президентом Республики Ж. Гриви¹ 8 ноября 1884 г. [19]. В Выставке, проходившей в Париже с 6 мая по 31 октября 1889 г., приняли участие около 40 стран. Монархические страны – Австро-Венгрия, Англия, Германия, Италия, Нидерланды и Россия – отказались официально участвовать в Выставке, но – тем не менее – были представлены на ней частным образом.

Международный комитет Выставки пригласил к участию ВЭО, которое поручило В.В. Докучаеву подготовить коллекцию русских почв. Вернадский по просьбе Докучаева стал его официальным поверенным и, в сущности, был непосредственным организатором представленной на Выставке коллекции «русских почв», ставшей одной из популярнейших экспозиций Русского отдела Выставки.

Так, 28 февраля 1889 г. из Петербурга Докучаев пишет Вернадскому письмо: «у меня имеется к Вам <...> весьма усиленная и настоятельная просьба. Я посылаю на выставку в Париж обширную почвенную коллекцию <...>. Не могу ли я убедительно просить Вас взять на себя труд выставить эту коллекцию и от времени до времени навещать ее; словом, быть моим официальным поверенным на выставке? <...> Если согласны, телеграфируйте мне: согласен. <...>. Премного обяжете исполнением моей усерднейшей просьбы. Я надеюсь, что Вам не будет стыдно быть представителем этой коллекции...» [13, с. 778]. Вернадский, как следует из письма к нему Докучаева от 25 марта 1889 г., ответил телеграммой: «согласен» [13, с. 779]. В письме от 28 марта 1889 г. Вернадский пишет Докучаеву: «Я телеграфировал Вам перед отъездом из Мюнхена, что согласен взять на себя все хлопоты по устройству почвенной коллекции на выставке – и хлопоты пустяшные, и дело хорошее, и мне очень по душе. Напишите мне, что мне надо делать, и Вы хотели мне прислать об этом подробную инструкцию» [13, с. 780]. В следующих нескольких письмах Докучаева содержатся указанные инструкции Вернадскому, в письмах они обмениваются мнениями и соображениями об экспозиции, Докучаев досылает различные материалы, литературу и т. п.; Вернадский подробно рассказывает ему о работах по подготовке экспозиции (изготовление витрин, стендов, полок и т. п.). Докучаев в письме от 10 апреля 1889 г. из Петербурга благодарит своего ученика и друга: «Сердечное спасибо за Ваше согласие помочь русским почвам показать себя в Париже» [13, с. 780]. В письме (конец апреля – начало мая 1889 г.) Вернадский пишет: «Выставка очень интересная и почвенный отдел очень интересен, особ[енно] французский» [13, с. 787]. В письме от 5 мая 1889 г. он подчеркивает: «Как-то здесь, за границей, еще все больше чувствуется важность того, чтобы лучше и больше оценивали русскую науку – развивается какое-то чувство и сознание национальной научной гордости. Все, какие будут хлопоты по этому вопросу, я возьму с удовольствием» [13, с. 788].

¹ Гриви, Франсуа Поль-Жюль (фр. François Paul Jules Grévy, 1807–1891) – французский политический деятель, президент Франции (1879–1887, Третья республика), убежденный республиканец и активный противник реставрации монархии.

Специально для выставки Докучаевым был подготовлен «Краткий научный обзор почвенной коллекции» на русском и (параллельно) на французском языках [15]. Обзор предваряется словами Докучаева о том, что «Великая Россия кормится землей, – на плодородии ее зиждется наше народное и государственное богатство, налоги, торговля, характер сельскохозяйственной культуры, наконец, можно сказать, вся жизнь многих десятков миллионов русских, – все это теснейшим, неразрывным образом связано в России с землей, с теми или иными природными силами наших почв...» [15, с. 21]. Представленная на Всемирной выставке коллекция русских почв включала три главных отдела: 1) образчики (образцы) почв, расположенные по всем основным естественным физико-географическим районам России; 2) почвенные карты, вертикальные разрезы, таблицы (химические анализы), диаграммы и пр.; 3) сочинения (Докучаева и его учеников), специально посвященные почвам России. Вся Европейская Россия в почвенном отношении была разделена Докучаевым на следующие полосы: северную, среднюю, черноземную и крайнюю южную; отмечено также, что Крым, Кавказ, Западная и Восточная Сибирь образуют особые более или менее самостоятельные области; даже черноземную полосу Европейской России, подчеркивает Докучаев, можно разбить на три района: юго-западный, центральный и заволжский. «Все почвенные образчики, за весьма немногими исключениями, взяты мною по строго определенному плану, при соблюдении всегда одних и тех же условий. Именно эти почвы и составляют 99% пахотных земель страны» [15, с. 1]. Все образцы почвы брались с совершенно ровных сухих мест. При выемке каждой из них всегда и всюду различались следующие три горизонта: А – почвенный, В – переходный горизонт почвы, С – коренная порода (подпочва). Громадное большинство почвенных образчиков взято из почвенного горизонта, обыкновенно не глубже 15–30 см¹.

На Выставке были представлены многочисленные оригинальные почвенные и (в меньшей степени) геологические карты, среди которых следует, в первую очередь, отметить следующие:

- Почвенная карта Нижегородской губернии 1886 г. Масштаб – 10 верст в дюйме.
- Схематическая почвенная карта черноземной полосы России с ее ближайшими соседними районами; «рисована от руки; масштаб – 60 верст в дюйме. На ней представлены <...> данные о русском черноземе, добытые до 1882 года» [15, с. 19].
- Схематическая карта черноземной полосы России, но печатная (в масштабе 100 верст в дюйме; отличается от предыдущей карты тем, что здесь нанесены границы чернозема не только по данным Докучаева, но и по исследованиям других авторов, выполненных в предыдущие годы. Эта карта приложена к книге «Русский чернозем».
- Почвенная карта Нижегородской губернии. Масштаб – 10 верст в дюйме. Издание Нижегородского губернского земства, 1886 г.
- Почвенная карта (рукописная) Княгининского уезда Нижегородской губернии, 1888 г., масштаб 2 версты в дюйме. Это есть «первая в России уездная почвенная карта» [15, с. 29].
- Почвенная карта («рукописная, еще вчерне») Лубенского уезда Полтавской губернии, масштаб 3 версты в дюйме, 1889 г.
- Почвенная карта («рукописная, вчерне») Полтавского уезда Полтавской губернии, масштаб 3 версты в дюйме, 1889 г.

Среди представленных на выставке научных «сочинений, специально посвященных почвам России» были труды Докучаева (включая его «Русский чернозем», 1883 г.),

¹ В некоторых современных публикациях нередко сообщается, что «изюминкой» русской коллекции на Всемирной выставке 1889 г. являлся взятый недалеко от Воронежа «куб» русского чернозема, каждая грань которого составляла 2 м и который был установлен на высоком пьедестале. Это не так. На самом деле указанный «куб» чернозема демонстрировался на Всемирной выставке, также состоявшейся в Париже, но в 1900 г. История этого «куба» чернозема детально рассказана в [11].

работы многих его учеников, а также «Материалы для оценки земель Нижегородской губернии. Естественно-историческая часть. Тома 1–14», 1882–1886 гг.

В конце июня 1889 г. Докучаев, обычно редко выезжавший за границу, был в Париже и посетил Выставку. Много лет спустя Вернадский вспоминал: «Масса народу во время Выставки. На Выставке я являлся представителем В.В. Докучаева, который представлял свои работы. Поэтому я имел даровой билет и свободный вход на Выставку. Очень это использовал. Помнится, что его установки в Русском отделе обратили на себя внимание. Он не знал франц[узского] яз[ыка], <хотя и?> был на выставке и давал объяснения через переводчиков. Это и была моя функция. Русско-франц[узская] брошюра, которая раздавалась»¹ («Хронология, 1881–1890 гг.», т. 6) [2].

Коллекция русских почв и сопутствующие ей материалы пользовались заслуженной популярностью у посетителей выставки и получили высокую оценку у ее организаторов и особенно у специалистов. Так, Вернадский в письме Докучаеву от 2 апреля 1890 г. сообщает, что «Грандо... в восторге от коллекций...» [13, с. 797]². Высоко коллекция была оценена и организаторами – она получила золотую медаль (вернее, было получено «право на покупку золотой медали»), а Докучаеву был присужден орден «За заслуги по земледелию» и звание «Chevalier du mérite agricole» [17]. В письме 16 октября 1889 г. Вернадский пишет Докучаеву: «Поздравляю Вас с золотой медалью (получили ли Вы официальный список, посланный мной тотчас же по его выходе?). Насколько я мог понять <...>, выдадут не медаль, а право на ее покупку. Это весьма странный, но несомненно для управления выставки удобный обычай» [13, с. 792].

На Вернадского, уже после завершения выставки, легла еще одна обязанность, связанная с возвращением коллекции почв в Россию. В письме от 2 октября 1889 г. Докучаев пишет: «Не забудьте, любезнейший Владимир Иванович, что вся коллекция *должна* быть возвращена в Питер. <...> Сделайте такое (последнее) одолжение, хорошенько упакуйте коллекцию (напишите, сколько это будет стоить) и отправьте ее в Питер, *по условию*, за счет Комитета. Если же Комитет почему-либо поставит Вам какие-либо затруднения, посылайте за мой счет. Премного обяжете исполнением моей усердной просьбы» [13, с. 792]. Аналогичная просьба содержится и в письме Докучаева от 22 октября 1889 г. «Большое спасибо за поздравление и особенно за хлопоты. Будьте уже так обязательны, доведите дело до конца: помогите упаковать и отправить коллекцию назад, в Питер» [13, с. 794].

В письме от 22 октября 1889 г. Докучаев просит Вернадского: «Не пришлите ли Вы для Почвенной комиссии сообщение о выставленных в Париже почвенных картах и коллекциях? Было бы очень и очень желательно» [13, с. 795]. Судя по всему, что в конце 1889 г. Вернадский приступил к подготовке этого сообщения. Так, в письме Докучаеву от 22 февраля 1890 г. он сообщает: «Заметку о почвах на французской выставке понемногу обрабатываю – теперь не посылаю, т[ак] к[ак] хочется прочесть новую статью Рота³ о лессе Аргентинской Респ[ублики], в которой он, судя по известным мне рефератам, говорит и о генезисе тамошних почв. Недавно Ван-Беммелен⁴ в заседании

¹ Речь идет о книжке [15].

² Грандо, Луи Никола (фр. Louis Nicolas Grandeau, 1834–1911) – французский агрохимик, особенно известный своей попыткой примирить гумусовую и минеральную теории питания растений, он считал, что питание растений происходит за счет минеральных веществ, связанных с темно окрашенными перегнойными веществами почвы; разрабатывал методы гранулометрического анализа почв; исследовал химический состав русских черноземов, образцы которых были собраны Докучаевым.

³ Рот, Юстус Людвиг Адольф (нем. Justus Ludwig Adolf Roth; 1818–1892) – немецкий геолог, первоначально изучал фармацию, аптекарь (1844–1848) в Гамбурге; профессор геологии в Берлине (с 1867), принимал участие в составлении геологической карты Силезии.

⁴ Беммелен, Якоб-Мартен (Jakob Maarten van Bemmelen; 1830–1911) – голландский физикохимик, один из основателей учения об адсорбции (он называл ее «абсорбцией»); профессор (с 1874) и ректор Лейденско-

Голландской Академии наук читал о почвах Индии и Явы и главным образом под тамошними лесами. Лесные почвы отличаются там от остальных почв и гл[авным] образом своей силикатной частью (вроде подзолов?)» [13, с. 795]. «Ван-Беммелен указывает на необходимость устройства там станции для изучения почв. <...> Работы Ван-Беммелена особенно интересны потому, что он главным образом изучал силикатную часть («цеолиты») и кроме анализов шел и опытным путем; с частью его работ я, как только кончу статьи Лемберга¹, ознакомлюсь...» [13, с. 796]. Начало этого сообщения и представляют собой публикуемые ниже заметки Вернадского о почвах на Всемирной французской выставке, завершить которые он так и не смог, чему, очевидно, помешали различные обстоятельства (в частности, его участие в работе VIII съезда русских естествоиспытателей и врачей в Петербурге, где Вернадский дважды выступал с докладами на заседаниях секции геологии и минералогии, затем научная поездка в Берлин, возвращение в январе 1890 г. в Петербург, в конце января Вернадский опять уезжает в Западную Европу, работа над диссертацией, исследования почв Полтавской губернии летом 1890 г., переход с осени этого же года на работу в Москву, в Московский университет, работа над лекциями и многое другое). Больше к работе над этими заметками Вернадский, судя по всему, не возвращался. Лишь однажды в ответ на просьбу Докучаева (письмо последнего из Петербурга от 4 февраля 1891 г.) прислать ему (в связи с подготовкой записки по проекту создания в России Почвенного института) «возможно скорее перечень почвенных и агрономических карт, бывших на последней Парижской выставке, – только заглавие и авторов» [13, с. 808], Вернадский (письмом из Москвы от 8 января 1891 г.) сообщает Докучаеву «заглавия тех почвенных карт», какие у него записаны, отмечая, что их было больше, но часть его бумаг и книг еще «не приехала из Парижа» [13, с. 808]. Всего у Вернадского было «записано» 12 карт, из которых 9 – французские, 1 – карта Бельгии и 1 – почвенная (в очень малом масштабе) карта Мексики. Вернадский обращает внимание Докучаева на то, что в многочисленных изданиях различных учреждений и обществ Франции «постоянно указывается на значение и необходимость почвенных карт» [13, с. 809].

В публикуемых ниже заметках Вернадский излагает свои наблюдения над «образчиками» различных почв Аргентины, представленных на Выставке, приводит их морфологическое описание, сравнивает аргентинские почвы с российскими почвами, рассказывает об особенностях пространственного распределения почв в Аргентинской Республике, дает их оценку с точки зрения хозяйственного освоения и значения для развития сельского хозяйства, отмечает районы страны, требующие проведения ирригационных мероприятий, а также высказывает общие соображения о процессах почвообразования, имеющих свою специфику в разных «климатических местностях». Особое внимание он отводит сведениям о химическом составе почв и приводит для будущего российского читателя данные из редких и малоизвестных в России публикаций. Отмечает роль растительных остатков и животных организмов в формировании химического состава почв, особенно в тропических районах (что полностью соотносится с совре-

го университета; занимался анализом вод и почв; эти исследования имели большое значение в агрономии, геологии и минералогии; особенно известны его работы по коллоидной химии.

¹ *Лемберг*, Иван Иванович (нем. Johann Lemberg; 1842–1902) – минералог, химик, окончил Юрьевский (Дерптский) университет (1864), магистр (1872) и доктор (1877) химии, профессор (с 1888) минералогии и геогнозии того же университета; один из основателей химического направления в минералогии, работы его имели большое значение для понимания превращений силикатов и алюмосиликатов в природе, исследовал химические превращения силикатов в водных растворах при повышенных температурах, установил особую прочность группировки $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$, названной впоследствии Вернадским каолиновым ядром; в 1876–1888 впервые синтезировал пермутиты (способные к ионному обмену гидратированные алюмосиликаты), предложил (1887–1900) ряд микрохимических реакций для определения состава минералов.

менными представлениями о тропическом почвообразовании [12]). Обращает на себя внимание очень хорошее знание Вернадским современной ему литературы, имеющей отношение к рассматриваемым вопросам (более 10 ссылок на работы авторитетных – не только для того времени – авторов). Максимальное использование доступных опубликованных источников станет для Вернадского необходимым элементом и важнейшим принципом его научных обобщений. Важно отметить, что в данных заметках Вернадский четко, можно сказать, однозначно, по крайней мере для себя, ставит вопрос о необходимости специального изучения не только роли растительных остатков, но и роли животных в образовании почв, которая все еще очень слабо изучена, тогда как она, по его мнению, нередко «является первостепенной».

Замечателен (и по-прежнему актуален) вывод Вернадского о том, что в условиях высокой конкуренции Россия должна не только быть поставщиком природного сырья и зернового хлеба на мировой рынок, но ей следует активно развивать другие сельскохозяйственные культуры и промышленные производства¹.

Следует отметить, что в 1888–1889 гг., находясь в зарубежной командировке, Вернадский активно интересуется (отчасти по просьбе Докучаева, о чем свидетельствует их переписка) проблемами почвоведения. Так, в письме Докучаеву от 23 ноября 1888 г. из Мюнхена Вернадский пишет: «В Лондоне говорил я по поводу чернозема с венгерцем Ганткеном и американцем Гильбертом.² Ганткен уверяет, что чернозем Венгрии «несомненно» болотного происхождения, хотя точных работ о нем не знает. Гильберт говорил, что в Америке смотрят на чернозем «тоже больше как на происхождения болотного» [13, с. 769]. В своих письмах Вернадский также сообщает Докучаеву о новых публикациях по почвам на Западе. Например, в письме от 23 февраля 1889 г. из Мюнхена он пишет: «Долго не отвечал я Вам на Ваше письмо, потому что хотел собрать побольше сведений о новых работах по почвам, а между тем мои поиски оказались почти бесплодными» [13, с. 775]. Столь пристальный интерес Вернадского к почвоведению, к почвообразованию и участию в нем живых организмов был не случаен. Так, о «живой материи», скопившейся в виде тонкой пленки на поверхности земного сфероиды, студент Вернадский рассуждает уже в декабре 1882 г. в своем доклад, сделанном на одном из заседаний студенческого Научно-литературного общества (активным участником которого был) при Санкт-Петербургском университете [8]. В 1882 и в 1884 г. он участвует в знаменитой Нижегородской почвенной экспедиции В.В. Докучаева. Летом 1884 г. Вернадский, находясь в Екатеринославской губернии у своих родственников, обращает внимание на влияние деятельности степных грызунов (сусликов, кротов, хомяков) на очень значительное изменение структуры почвы. Эти наблюдения он попытался обобщить в виде статьи. В его архиве сохранились ее варианты и материалы к ней [1]. Прежде всего, на основе анализа «разрозненных литературных сведениях» (14 работ российских и зарубежных авторов) он пришел к выводу об отсутствии указаний деятельности грызунов в почвообразовании. Результаты его наблюдений позволили ему

¹ К сожалению, политика российских властей того времени была совершенно иной. «Мы будем меньше есть, но будем больше <хлеба> экспортировать», – заявил в 1887 г. министр финансов И.А. Вышнеградский (1832–1895) [10, с. 15]. И, как справедливо заметил Н. Верт, «эта фраза была сказана отнюдь не для красного словца» [10, с. 15]. В 1891 г. во многих районах Черноземья и Среднего Поволжья России (из-за засухи) разразился страшный голод, унесший десятки тысяч жизней. В то время Вернадский, как известно, принимал активное участие в организации помощи голодающим крестьянам Тамбовской губернии [14].

² Ганткен М. (Hantken M.) – венгерский палеонтолог, вторая половина XIX в. Гильберт, Гроув Карл (англ. Grove Karl Gilbert; 1843–1918) – американский геолог, геоморфолог, стратиграф, картограф; один из пионеров планетарной геологии; президент Геологической службы США (1892, 1909); член Американской академии искусств и наук (1893), член-корреспондент Баварской академии наук (1907), иностранный член Лондонского королевского общества, один из создателей Американской ассоциации географов, президент Американской ассоциации содействия развитию науки (1899), награжден медалью Волластона (1900); в его честь назван лунный кратер Гилберт.

утверждать, что степные грызуны перерывают и смешивают почву с подпочвой и таким образом характер и свойства почвы сильно изменяются. Позже, в 1889 г., на основе этих материалов им была подготовлена (по настоянию Докучаева) и опубликована статья, в которой он рассмотрел роль степных грызунов (сусликов, хомяков, кротов) и других живых организмов (пауков, муравьев, жуков, мокриц, ящериц, жаб и др.) в почвообразовании [5]. В частности, Вернадский особо отметил, что грызуны, смешивая подпочву с почвой, грызуны изменяют физические и химические свойства чернозема. Он также подчеркнул, что их деятельность меняют состав степной растительности и этим – опосредованно – оказывают влияние на почвы.

Впоследствии Вернадский отметит: «Огромное значение имело для меня в это время в Париже мое участие, в качестве представителя В. В. Докучаева, во Всемирной выставке. <...> Я осмотрел и изучил целый ряд коллекций минералогических и рудных отделов» [18, с. 44]. Он, в частности, ознакомился с минералогическими коллекциями из Южной Америки и, безусловно, близко с деятельностью И. П. Домейко¹, к работам которого затем неоднократно обращался и труды которого в области минералогии высоко оценивал, особо отмечая его вклад в развитие представлений о зональности геохимических процессов [21]. Каталог представленной на Выставке коллекции минералов Чили, был составлен при активном участии Домейко [22].

Всемирная выставка 1889 г., – вспоминал позже Вернадский, – «имела для меня и другое значение. На нее приехало много русских, и здесь завязались у меня дружеские связи с П. И. Новгородцевым, В. Э. Грабарем, М. А. Островской, дочерью драматурга <...>, Осиповым <...>,² Ф. Ф.³ Батюшковым и другими» [18, с. 44]. Кроме того, «я в это время в компании молодежи посещал политич[еские] собрания <...>. С одной стороны, в 1889 г. Всемирная выставка, где я был представителем Докучаева и где между прочим встретился с немецкими учеными – Грот⁴,

¹ Домейко, Игнат Ипполитович (1802–1889) – белорус по происхождению, национальный герой Чили, минералог, геолог, химик; создал Горную школу в г. Кокимбо, преподавал в ней (1838–1846); профессор химии и минералогии, заведующий кафедрой химии, член Совета (с 1846) и ректор (1866–1883) университета г. Сантьяго; организатор экспедиций по изучению минерально-сырьевых ресурсов и рудных месторождений Чили, Боливии, Перу и Аргентины, открыл здесь ряд новых минералов; впервые нашел (в пустыне Атакама) и описал метеориты, организовал добычу золота и селитры, собрал уникальную минералогическую коллекцию; открыл в Кордильерах источники горной воды, спроектировал для г. Сантьяго систему водопровода и руководил его строительством.

² Новгородцев, Павел Иванович (1866–1924) – русский юрист-правовед, историк и философ права (автор книг по истории философии права), профессор Московского университета (1903–1911); общественный и политический деятель, один из основателей и член ЦК Конституционно-демократической партии (как и В. И. Вернадский); депутат 1-й Государственной думы; участник антибольшевистского движения на юге России, затем в эмиграции. Грабарь, Владимир Эммануилович (1865–1956) – русский и советский юрист, специалист в области теории и истории международного права; приват-доцент, затем профессор Юрьевского (Дерптского) (1893 – 1918), Воронежского (1918–1919) и Московского (1923–1929) университетов, сотрудник Института права АН СССР (с 1929) и Всесоюзного института юридических наук. Островская (по мужу Шателен), Мария Александровна (1867–1913) – литератор, художник, старшая дочь драматурга А. Н. Островского (1823–1886), училась на курсах Герье, в Сорбонне (бакалавр). Осипов, Иван Павлович (1855–1918) – российский химик-органик, профессор (с 1906), директор (с 1915) и ректор (1918) Харьковского технологического института. В Архиве РАН отложились письма многих из них к Вернадскому.

³ Судя по всему, неточность в источнике – речь явно идет о Федоре Дмитриевиче Батюшкове (1857–1920) – филологе, педагоге, историке литературы, критике, приват-доценте Петербургского университета (1885–1898), профессоре Психоневрологического института в Петербурге, редакторе журнала «Божий мир» (1902–1906). В Архиве РАН сохранились его письма к Вернадскому.

⁴ Грот, Пауль Генрих (нем. Paul Heinrich von Groth; 1843–1927) – немецкий минералог и кристаллограф, профессор (с 1872) Страсбургского и Мюнхенского (с 1883) университетов, куратор отдела минералов в Мюнхенском государственном музее; основатель (1877) научного журнала «Zeitschrift für Kristallographie»; почетный член и член-корреспондент многих академий и научных обществ, в том числе, член-

Шарицер¹ и др. С другой стороны, связи с эмигрантами <...>. И вместе с тем ознакомился с искусством, политической жизнью» [3]. Эти впечатления сохранились у Вернадского на всю жизнь, а знакомство со многими из названных выше людей перешло в тесные научные и – нередко – в доверительные дружеские отношения.

В. И. Вернадский, по его словам, «столкнулся с биогеохимическими проблемами в 1891 г., когда стал читать курс минералогии в Московском университете» [7, с. 6]. Много лет спустя в своей замечательной работе [6], написанной в июле 1919 г. на Старосельской биологической станции под Киевом, он впервые однозначно сформулирует понятие «живое вещество», покажет роль животных и живого вещества в целом в формировании важнейших свойств и геохимических особенностей почв и, в сущности, приступит к обоснованию представлений о почве как о биокосном природном теле биосферы. Публикуемые ниже записки позволяют считать, что к этим проблемам Вернадский стал (в той или иной мере) достаточно полно подходить уже к 1889 г., когда (испытывая «какое-то чувство и сознание национальной научной гордости») представлял на Всемирной выставке в Париже коллекцию русских почв, получившую высокую оценку организаторов, посетителей и специалистов.

Литература

1. Архив РАН. Ф. 518. Оп. 1. Л. 1–12. (В. И. Вернадский, рукопись «Об изменении почвы степей грызунами» и материалы к ней).
2. Архив РАН. Ф. 518. Оп. 2. Д. 31. Л. 120.
3. Архив РАН. Ф. 518. Оп. 2. Д. 31. Л. 121
4. Архив РАН. Ф. 518. Оп. 2. Д. 33. Л. 86 об.
5. Вернадский В. И. Путевые заметки о почвах бассейна р. Чаплынки Новомосковского уезда Екатеринославской губернии // Тр. ВЭО. – 1889. – № 3. – С. 22–29.
6. Вернадский В. И. Страница из истории почвоведения (Памяти В. В. Докучаева) // Научное слово. – 1904. – Кн. 6. – С. 5–26.
7. Вернадский В. И. Биогеохимические очерки. 1922–1932 гг. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1940.
8. Вернадский В. И. Об осадочных перепонках // Химия и жизнь. – 1988. – № 3. С. 29–34.
9. Вернадский В. И. Об участии живого вещества в создании почв // В. И. Вернадский. Собр. соч.: В 24 т. Т. 7 / Науч. ред. и сост. акад. Э. М. Галимов. – М.: Наука, 2013. – С. 18–41.
10. Верт Н. История советского государства. 1900–1991: Пер. с фр. – М.: Прогресс-Академия, 1994.
11. Добровольский Г. В. К истории эталона русского чернозема на всемирной выставке 1900 года // Почвоведение. – 2010. – № 9. – С. 1135–1136.
12. Зонн С. В. Тропическое почвоведение. – М.: Изд-во УДН, 1986.
13. Из переписки В. В. Докучаева и В. И. Вернадского. Публикация И. Н. Скрынниковой // Научное наследство. Т. 2. – М.: Изд-во АН СССР, 1951. – С. 761–855.
14. Корнилов А. А. Семь месяцев среди голодающих крестьян. Отчет о помощи голодающим некоторых местностей Моршанского и Кирсановского уездов Тамбовской губернии в 1891–92 г. – М., 1893.

корреспондент Императорской Санкт-Петербургской академии (1883) и почётный член Российской академии наук (1925). Под его руководством В.И. Вернадский проходил научную стажировку. В Архиве РАН сохранились письма Грота к Вернадскому.

¹ *Шарицер*, Рудольф (нем. Rudolf Scharizer; 1859–?) – австро-венгерский минералог, доктор философии, приват-доцент Института агрокультуры и (с 1888) Университета в Вене, профессор (1894), декан философского факультета (1894–1897) и ректор (1902–1903) Университета в Черновцах; член минералогического общества и действительный член Общества содействия естественно-историческим исследованиям Востока в Вене, член Академии немецких естествоиспытателей, председатель Общества христианских немцев в Черновцах; переписывался с Вернадским.

15. Краткий научный обзор почвенной коллекции, выставленной в Париже в 1889 г. профессором В. В. Докучаевым и его учениками. – СПб., 1889.
16. Мочалов И. И. Владимир Иванович Вернадский (1863–1945). – М.: Наука, 1982.
17. Предварительный отчет по участию России во Всемирной Парижской выставке 1889 г. – СПб., 1890.
18. Шаховская А. Д. Хроника большой жизни // Прометей: Историко-биографический альманах серии «Жизнь замечательных людей». Т. 15. – М.: Молодая гвардия, 1988. – С. 33–85.
19. Шпаков В. Н. История всемирных выставок. – М.: АСТ; Зебра Е, 2008.
20. Янин Е. П. Очерки жизни и деятельности академика В.И. Вернадского. – М.: ГЕОХИ РАН, 2018.
21. Янин Е. П., Хомич В. С. Минералогическое творчество И. И. Домейко в трудах и оценках В. И. Вернадского // Природопользование. – 2017. – № 31. – С. 36–43.
22. Catalogue de la collection mineralogique du Chili envoyée a l'Exposition Univeselle de Paris de 1889 par la Section de Minéralogie de la Commission de l'Exposition Chilienne. – Satiago: Imprinta Gutenberg, 1889.

**ON THE WORK OF V. I. VERNADSKY
«NOTES ON SOILS
AT THE FRENCH WORLD EXHIBITION 1889»**

E. P. Yanin

The paper is devoted to the history of the creation for the first time published «Notes on the soils at the French World Exhibition of 1889» Vernadsky. The collection of Russian soils presented by V.V. Dokuchaev, whose official attorney was Vernadsky, received a gold medal. The exhibition, according to Vernadsky, «had a tremendous significance for him» in professional terms.

Keywords: Vernadsky, Dokuchaev, World Exhibition, soils, soil science, soil collection, soil formation, humus, living organisms.

ЗАМЕТКИ О ПОЧВАХ НА ФРАНЦУЗСКОЙ ВСЕМИРНОЙ ВЫСТАВКЕ 1889 ГОДА

В. И. Вернадский

Я позволю себе изложить перед вами, м[ногоуважаемые] г[ос]п[ода], несколько набросков и отрывочных замечаний о почвах и почвоведении на французской Всемирной выставке 1889 года. Не могу я ручаться за полноту моих данных, т[ак] к[ак] при разбросанности отдельных образчиков я легко мог многое пропустить и забыть. Лучше всего представлены почвы и почвенный отдел французский, и остается только пожалеть, что отдел этот далеко не был так систематизирован, как можно было этого ждать: оттого трудно передать его общую картину...

Я начну с других отделов и потом перейду к французскому. Позволю себе изложить здесь наряду с виденным и кое-какие литературные факты, т[ак] к[ак] только при таких условиях лучше и полнее понимается само явление.

В аргентинском отделе выставлено несколько образчиков почв Аргентинской Республики. К сожалению, эти почвы совершенно не анализированы. Это черные, очень богатые гумусом¹ почвы, напоминающие наши русские, наш чернозем. Одну из замечательных их особенностей представляет громадное количество остатков наземных моллюсков, в них заключающихся. Для нас, привыкших к преобладанию растительных остатков в наших почвах, для нас, мало пока изучавших влияние, оказываемое животными на образование наших почв, эти почвы, где влияние наземных моллюсков, несомненно, кажутся несколько странными. Однако совсем другую картину представляет изучение и исследование почв в южных странах в тропических, подтропических <районах>. Там роль животных в образовании почв является первостепенной, какой, вероятно, явится она и для многих наших почв при более тщательном и точном их изучении на месте. Роль дождевого червя в некоторых европейских почвах, еще в 1830-х годах указанная Дарвином [2] и позже, в последние годы его жизни, развитая им в отдельную теорию, всем известна. Она, однако, применима только к некоторым, определенным почвам, к известным климатическим местностям. В последнее время работы швейцарского натуралиста Келлера² [3] указывают на возможность роли животных почти во всем тропическом мире. Наблюдения его же, Игеринга [4] в Бразилии и Гаакс³ [5] в Австралии указывают на значение для образования тамошних почв муравьев⁴. Переполненность моллюсками аргентинских почв интересно еще потому, что это почвы пампасов, имеющие, может быть, аналогию с нашими южными степями. Бурмейстер [6] в своем физич[еском] описании Аргентинской Республ[ики] указывает, что в некоторых местах эти раковины попадают в почву благодаря деятельности роющих животных – vizcachas (vizcachas = *Zagostomus trichodaefylus* Brookes = заяц пампасов) – из подпочвы – это *Planorbis montanus*, *Ampullaria australis*, *Paludinella Perchappii* (речь идет о разных улитках – моллюсках класса брюхоногих – *Е. Я.*). Наружный слой почвы, очень песча-

¹ По Сиберу [1]: *Seeber <F.> Importance économi[que] et financ[ière] de la Républ[ique] Argentine. B[uenos]-A[rges]. 1888, p. 30* – аргентинские почвы вообще богаты гумусом. (Здесь и далее подстрочные примечания даны В. И. Вернадским – *Е. Я.*)

² *Keller <C.> Humusbildung u[nd] Bodenkultur unter d[em] Einfluß thierisch[er] Thätigkeit. L[eipzig]. 1887. [40 p.]. Его же: Reisebilder aus Ostafrika und Madagaskar. L[eipzig]. 1887. <341 p.>*

³ *Haacke <W.> Üb[er die] geologische Tätigkeit der Ameisen // Zoolog[ischer] Garten. Fr[anfurt]. 1886. Vol. 27. P. 373.*

⁴ Ср. также интересную работу *Schimper <A.F.W.> [7] Die Wechselbezieh[ungen] zw[ischen] Pflanzen und Ameisen im trop[ischen] Amerika. [Botanische Mittheilungen aus den Tropen], Jena, 1888. <Heft 1, pp. 1–95>* и указанную работу Келлера.

нистый, не остается без влияния от этой деятельности: приносится необх[одимая] углекислая известь¹. Целый ряд южных европейских почв не менее переполнен моллюсками, и для нас является совершенно невиданным и неожиданным та кипучая жизнь моллюсков, какая, например, идет в почвах Ривьеры, теплого побережья Средиземного моря. Здесь почвы являются совершенно переполненными моллюсками, представляют из себя настоящие слои из старых, оставленных раковин; почвы под оливковыми рощами Ривьеры главным образом кажутся продуктами деятельности наземных моллюсков.

Выставленные аргент[инские] образчики <почв> очень богаты гумусом, но является весьма сомнительным, чтобы тамошние почвы, чтобы большинство почв пампасов носили такой характер. Не надо забывать, что вся эта выставка имеет и практическую цель – изыскание капиталов и колонистов; мы встречаем в книгах, написанных с этою целью, указания на богатство пампасовых почв гумусом²; совсем другое рисуют наиболее серьезные и беспристрастные наблюдатели, напр[имер], геолог Штельцнер³ [8] или юрист Дэро⁴ [9]. Почвы, богатые гумусом, находятся только в более наносных местах, а в других <—> они являются, по-видимому, едва-едва окрашенными сверху гумусом, а иногда представляют чистый желтый лёсс и песок.

Аргентинские почвы представляют для нас большой интерес. Эта молодая Республика выступила сильно и смело в последнее время на международный рынок; она явилась одним из самых опасных наших конкурентов как для нашего скотоводства, так и для земледелия. Ее малая населенность, богатство ее девственных почв, дешевизна и быстрота путей сообщения, применение сразу больших капиталов и проявление свободной, общественной самодеятельности делают нам ее соперничество еще более серьезным. Я думаю, не у одного меня вынесено было это впечатление по посещении ее выставки, и, может быть, наша прежняя роль поставщика сырья и зернового хлеба теперь кончилась, п[отому] ч[то] является более выгодным, более производительным для человечества выработка их в других, менее населенных, менее истощенных местах. А нам надо переходить к другой культуре и к другим производствам.

Пока Аргентинская Республика явилась главным образом поставщицей дешевого мяса и шерсти⁵ – Аргентинская Республика давно была главным образом скотоводческой страной, <однако> за последние 10 лет это изменяется. Скотоводство продолжает увеличиваться, но наряду с ним растет земледелие, и скотоводство является необходимым ему <нрзб> и подспорьем⁶. Здесь происходит тот же процесс, какой происходил в наших степях начала этого столетия после покорения Россией Крыма, какой идет и шел за последние годы в американском Far West⁷ (т. е. на «Диком Западе» – Е. Я.). С 1876 года аргентинцы более не получают хлеба ни из Северной Америки, ни из Европы; с этого года⁸ они начали заметно вывозить его. Сперва вывоз шел в Бразилию, а с 1884 года⁹ идет в Европу.

¹ Burmeister <H.> Descr[iption] Phys[ique] de la Répub[lique] Arg[entine]. Vol. II. 1876. P. 159.

² Seeber <F.> Importance économi[que] et financ[ière] de la Répub[lique] Argentine. B[uenos]-A[ires]. 1888. P. 30.

³ Stelzner <A. W.> Beitr[äge] zur Geologie u[nd] Palaeontologie d[er] Argen[tinischen] Rep[ublik]. I. Cas[sel] und Berlin]. 1885. P. 259–260.

⁴ Daireaux <E.> La vie et les mœurs à La Plata, vol. II. Paris. 1888. P. 182.

⁵ По шерсти она занимает 3-е место, после С[еверо]-Американских С[оединенных] Ш[татов] и России – Seeber <F.>, l[oco] c[itato] (т. е., здесь и далее, «в цитированном месте» <упомянутой выше работы данного автора> – Е. Я.). P. 102.

⁶ Daireaux <E.>, l[oco] c[itato], II, <p.> 184 и след[ующие].

⁷ К выставке вышла довол[ьно] интер[есная] брошюрка <Додуца?>: Les céréales des États-Unis. P[aris]. 1889, изданная Америк[анским] Землед[ельческим] Деп[артаментом] и заключ[ающая] вкратце интер[есные] данные об этом вопросе.

⁸ Seeber <F.>, l[oco] c[itato], p. 115. Вывоз хлебов: 1877 [г.] ... 1000000 кило[грамм], 1887 [г.] ... 63500000.

⁹ См. Daireaux <E.>, l[oco] c[itato], II, <p.> 328 и сл[едующие].

Равнины занимают $\frac{3}{4}$ площади Аргентинской республики – это Чако на севере, Пампас[ы] в середине и Патагония на юге <страны>. Чако и Пампас[ы] почти не отделены друг от друга. Свойства почв всех этих местностей различны. Самыми богатыми являются пампасовые степи, где почва достигает 3–6 футов толщины, лежит на лессе и состоит из измененных растительных остатков, а частью из <пропущено слово>, представляющие из себя лесс, иногда подкрашенный гумусом. Западные части его (т. е. района Пампасов – *Е. Я.*) более населены, восточные требуют ирригации. Лесс покрывает приблизительно $\frac{1}{2}$ почвы Аргентинской Респ[ублики], около 25000 квадр[атных] миль¹. Это, след[овательно], почти неистощимое надолго поле для культуры, и конкуренция не только нам, но и североамериканцам обещает быть трудной.

Почвы окрашены сильно гумусом только в местах, где вследствие присутствия влаги могла развиться растительность, около естеств[енных] низин в степи; также очень богаты гумусом лесные почвы северной части Республики². Интер[есно], что по <данным> микр<оскопических> иссл<едований> почв пампасов (аллюв[иальные] отл[ожения] Бурмейстера) <в них> наход[или]: <нрзб> глины, известь и «restes organ[iques] qui m'ont semblé être des envel[oppes] silic[ieuses] des Diat[omées] et des petites aiguilles des Spongilles»³ – т. е. наши фитолитарии. Почвы эти почти не изучены, есть очень мало анализов, однако уже один опыт показывает их богатство и плодородие. Немногие имеющиеся анализы, по-видимому, подтверждают это. Я позволю привести здесь известные мне анализы почв Аргентинской Респ[ублики], т[ак] к[ак] они напечатаны в почти недоступном для нас немецком журнале «La Plata», издававшемся в начале 1870-х годов в Буэнос-Айресе. Вот эти анализы Дёринга⁴ [10] почв пампасов между Кордовой и Росарио <(в %)>:

<Показатель>	Кордова	Villa María (Вилья-Мария)*	Росарио
K ₂ O	3,099	2,858	1,808
Na ₂ O	1,180	2,693	0,817
CaO	3,328	3,568	1,963
MgO	0,474	1,954	1,471
Mn ₃ O ₄	0,145	1,094	–
Fe ₂ O ₃	2,929	4,741	2,244
Al ₂ O ₃	10,899	16,679	16,037
SiO ₂	73,803	59,941	67,189
P ₂ O ₅	0,657	0,517	0,309
Влага	1,109	2,578	0,3083
Потери <при> прок[аливании] (H ₂ O, CO ₂ , NH ₃)	2,367	3,509	4,785
<Сумма>	<99,99>	<100,132>	<96,93>
Влагоемкость	23,5	28,0	31,2
Наибольш[ие] зерн[а] кварца, мм	2	0,15–0,20	0,04–0,08
Выветр[елые] ч[астицы], %	15,26	38,486	41,912

* Неб[ольшое] кол[ичество] SO₃, Cl, Na, Mg в водной вытяжке.

Кордовская почва, взята 2 м под поверхностью, песчаниста, иногда попадаются отдельные слюдястые листочки; 15,26% составляет частью или вполне разрушенные куски пород. Если мы оставим в стороне кварц и неразрушенные части горных пород,

¹ Stelzner <A.W.>, l[oco] c[itato]. С. 259.

² Burmeister [H.] Descr[iption] Phys[ique] de la Répub[lique] Arg[entine]. Vol. II. P. 1876. P. 157.

³ <Burmeister <H.>, l[oco] c[itato], <c.> 158 (т. е. «органические остатки, которые мне показались кремниевыми оболочками диатомовых водорослей и маленькими иголками пресноводных губок» – *Е. Я.*).

⁴ Doering <A.> Studien über die chemischen und physikalischen Verhältnisse des Bodens der Pampaformation. «La Plata». В.-А. 1874, р. 113 и сл[едующие]. Перепеч[атано] у: R[icardo] Napp [11]. Die Argentin[ische] Republik. В[uenos-]A[ires]. 1876. P. 191–208.

то получим, конечно, для каждой из этих почв совсем другой состав и для кордовской он <(в %)> выразится <так>:

K ₂ O	0,050	0,327
Na ₂ O	0,364	2,384
CaO	2,968	19,449
MgO	0,029	0,190
Mn ₃ O ₄	0,145	0,950
Fe ₂ O ₃	2,321	15,209
Al ₂ O ₃	2,402	15,740
SiO ₂	2,828	18,597
P ₂ O ₅	0,657	4,305
Пот[ери] <при> прок[аливании]	3,486	22,844
<Сумма>	15,260	100,000

Это, к сожалению, больше образчики подпочв, так как взяты из глубины 2–2½ м, но даже и на этой глубине являются они, как почва <района> Росарио, со значительной примесью органического вещества¹, эта почва Росарио уже значительно близка к аллювиальной местности около Параны.

Все эти «почвы» произошли, по Дёрингу², постепенным распадением и выветриванием первичных пород.

Климатические и орографические условия (редкость осадков и равнинность), по Дёрингу³, гл[авным] обр[азом] обуславливают малую глубину, собран[ность] растительностью гумуса и слабость первичн[ой] растительности пампасов. Девственные почвы пампасов б[ольшей] ч[астью] становятся годными к земледелию только после частью механической их переработки, частью унавоживаются скотоводством⁴.

Другая американская республика Мексика выставила, м[ежду] пр[очим], небольшую агрологическую карту.⁵

Автограф.

АРАН. Ф. 518. Оп. 1. Д. 329. Л. 1–5.

Примечания

1. *Сибер*, Франциско (исп. Francisco Seeber, 1841–1913) – аргентинский офицер, участник Парагвайской войны (Войны Тройственного альянса), бизнесмен, строитель, президент Западной железнодорожной компании, мэр г. Буэнос-Айреса, много сделавший для развития города, автор работ по экономике Аргентины и других стран Южной Америки.

2. *Дарвин*, Чарлз Роберт (англ. Charles Robert Darwin, 1809–1882) – английский естествоиспытатель, создатель эволюционного учения об историческом происхождении видов животных и растений путем естественного отбора (дарвинизм), автор ряда крупных работ по вопросам ботаники, зоологии, геологии и сравнительной психологии, путешественник. Вернадский хорошо знал научные труды Дарвина и высоко оценивал его «великие эмпирические обобщения».

3. *Келлер*, Конрад (нем. Conrad Keller, 1848–1930), швейцарский зоолог, почетный доктор Цюрихского университета (1920), автор многих прекрасно иллюстрированных научно-популярных книг (некоторые из них издавались в России в конце XIX – начале XX вв.). Учился в университетах Лозанны, Цюриха, Йены. С 1875 г. преподавал в Университете и Федеральной Политехнической

¹ Doering, l[oco] c[itato], <p.> 114.

² l[oco] c[itato], p. 115.

³ l[oco] c[itato], <p.> 118.

⁴ См. очень интер[есные] данные у *Daireaux*, l[oco] c[itato].

⁵ На этом рукопись обрывается – Е. Я.

школе (политехникуме) в Цюрихе; профессор и заведующий кафедрой специальной зоологии (1898–1927) в Цюрихском политехникуме. Проводил исследования на зоологических станциях Неаполя и Триеста; осуществил исследовательские поездки по Швейцарии, в Африку, на Кавказ.

4. *Иеринг* (Игеринг, Ихеринг), Герман Фридрих Альбрехт фон (нем. Hermann von Ihering, 1850–1930), родился и умер в Германии, немецко-бразильский зоолог, орнитолог, палеонтолог, врач; исследователь бразильской фауны птиц, рыб и моллюсков. Установленное им близкое родство разных видов Африки и Южной Америки привело его к пониманию, что должна была существовать связь между континентами (в то время – гипотеза сухопутных мостов между континентами). Изучал медицину в университетах Гиссена, Берлина и Геттингена, затем увлекся зоологией и геологией; доктор медицины (1873) и философии (1876), ассистент в Зоологическом институте в Гёттингене, приват-доцент зоологии в Эрлангене (с 1876), профессор зоологии в Лейпциге (с 1878). В 1880 г. уехал в Бразилию, собирал для Британского музея и европейских коллекционеров птиц, яиц, пауков, занимался медициной, писал для газеты и издавал немецкоязычный журнал в Порту-Алегри, работал (с 1883) в качестве исследователя от Национального музея в Рио-де-Жанейро, возглавил (1887) строительство в Сан-Паулу Государственного исторического музея (Museu Paulista), его директор (1893–1916), руководил музеем во Флорианополисе, затем переехал в Чили, работал в музее естествознания Ла-Платы в Аргентине. Преподавал зоологию в Кордовском университете, занимался исследованиями в области археологии и антропологии; вернулся (1920) в Германию и (с 1921) обосновался в Бюдингене. Действительный член или член-корреспондент 30 научных академий и обществ, его имя было присвоено 5 родам и более 100 видам животных и растений.

5. *Гааке*, Вильгельм (нем. Wilhelm Gaake 1855–1912), немецкий ученый-зоолог; изучал природу Новой Зеландии и Австралии; внес существенный вклад в развитие теории Дарвина о происхождении видов; разработал собственную эволюционную теорию, сочетавшую в себе принципы ламаркизма и дарвинизма; директор зоологического сада во Франкфурте-на-Майне. Наибольшую известность ему принес его фундаментальный труд «Животный мир, его быт и среда», в 1901–1902 гг. изданный (в 3-х томах с множеством иллюстраций) и на русском языке.

6. *Бурмейстер*, Карл Герман Конрад (нем. Carl Hermann Conrad Burmeister, 1807–1892), немецкий естествоиспытатель; энтомолог, географ, геолог, ботаник, орнитолог, морской биолог, териолог, палеонтолог, метеоролог; доктор медицины и доктор философии; опубликовал почти 300 научных работ; окончил гимназию в Штральзунде, изучал медицину в Грайфсвальдском университете (1826) и (с 1827) в Университете Галле. Преподаватель естественной истории в реальной гимназии Берлина (с 1830), профессор зоологии в Галле (1842). В 1850–1852 гг. путешествовал по Бразилии, в 1856–1860 гг. – по Уругваю, Аргентине, перешел Анды, посетил Панамский перешеек и остров Кубу, привез в Германию (1860) и огромную зоологическую коллекцию (более 100 тыс. объектов); в 1862 г. вернулся в Аргентину; директор музея Буэнос-Айреса (Национальный музей), основал Национальную академию наук в Кордове, факультет естественных наук в Кордовском университете; в Буэнос-Айресе ему воздвигнут памятник.

7. *Шимпер*, Андреас Франц Вильгельм (нем. Andreas Franz Wilhelm Schimper; 1856–1901) – немецкий естествоиспытатель, ботаник и путешественник, сын немецкого ботаника и одного из основоположников палеоботаники Вильгельма Филиппа Шимпера (1808–1880). Окончил Страсбургский университет (1878), профессор Боннского (с 1886) и Базельского (с 1898) университетов, директор ботанического сада в Базеле. Совершил путешествия в тропические страны, принимал участие (1898) в немецкой глубоководной экспедиции; занимался анатомией, физиологией, систематикой, биологией и географией растений; один из лучших знатоков тропической растительности своего времени; им открыты крахмалообразователи, изучены взаимоотношения крахмальных и хлорофилловых зерен и их структура; автор ряда руководств по фармакологии и по изучению пищевых веществ растительного происхождения.

8. *Штельцнер*, Альфред Вильгельм (нем. Alfred Wilhelm Stelzner, 1840–1895), немецкий минералог и геолог, разрабатывал вопросы образования базальтов, установил (1882) семейство мелилитовых базальтов, где полевой шпат замещен мелилитом, интересовался проблемами рудообразования, по приглашению К. Бурмейстера работал в Аргентине, изучал горные регионы Сьерры де Кордова, в Катамарке обнаружил и описал новый полудрагоценный камень, позднее ставший национальным камнем Аргентины, – родохрозит («роза инков»). Основал в Кордове минералогический музей (сегодня носит его имя). В 1875 г. вернулся в Германию, профессор минералогии в Горной академии во Фрайберге. Его именем назван минерал альфредштельцнерит. Вернадский был знаком как с работами Штельцнера, так и с ним лично. В 1894 г. он вспоминал: «сделал огромную минералогическую поездку по Западной Европе, взяв за центр Фрайберг в Саксонии – в составлении плана по-

мог Штельцнер, который мне по своим работам нравился и с которым я сошелся» (Вернадский В. И. Дневники: 1926–1934. М.: Наука, 2001, с. 389). Особый интерес у Вернадского вызывала минералогическая коллекция Штельцнера, которая располагалась не по минералам, а по химическим элементам, и которую Вернадский очень высоко оценивал (Вернадский В. И. Письма Н. Е. Вернадской (1893–1900). М.: Техносфера, 1994, с. 131).

9. *Деро*, Эмиль Оноре (фран. Emilio Honoré Daireaux, 1843–1916), юрист, литератор, общественный деятель; доктор философии; родился в Бразилии, в Рио-де-Жанейро (где его отец руководил крупной кофейной фирмой), умер в Париже, большую часть жизни провел в Аргентине. Окончил лицей в Париже и (1863) юридический факультет Университета Парижа. В 1867 г. переехал в Аргентину, в Буэнос-Айрес, для проведения коммерческих операций по импорту и экспорту, начатых его отцом. В Аргентине город Деро (на западе провинции Буэнос-Айрес) назван его именем (как землевладельца, на участках которого строились многие здания).

10. *Дёринг*, Адольф (нем. Adolf Döring, исп. Adolfo Doering, 1848–1925), аргентинский химик, геолог и зоолог немецкого происхождения; занимался анализом минеральных вод, солей соляных шахт, горных пород и почв в Аргентине, провел геологические исследования в Патагонии. Родился в Германии, докторскую степень получил в Университете Геттингена. Вслед за Бурмейстером в 1872 г. отправился в Аргентину, работал помощником химика, профессор органической химии (с 1875) и заведующий кафедрой зоологии (1892–1916) в Национальном университете Кордовы, был секретарем Академии наук Аргентины.

11. *Hann*, Рикардо (исп. Ricardo Napp, ? – ?) – аргентинский ученый второй половины XIX в., занимался географией и геологией, автор и составитель ряда книг о природе и природных ресурсах Аргентины, член (с 1878) Национальной академии наук Аргентины.

Публикация и примечания Е. П. Янина

ПОНЯТИЕ ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА ПО В. И. ВЕРНАДСКОМУ

Г. П. Аксенов

Институт истории естествознания и техники им. С. И. Вавилова РАН,

г. Москва, Россия

e-mail: gen.aksenov@mail.ru

В. И. Вернадский представил живое вещество биосферы как новый вид движения. Он описывает его на фундаментальном уровне как элемент космоса, равноценный материи и энергии. Живые организмы, считал Вернадский, обладают собственным биологическим временем. Оно необратимо, а его реальная длительность проявляется в смене поколений клеток организмов. Пространству живой материи свойственно яркое качество – диссимметрия (хиральность) живых структур и молекул. Благодаря этим свойствам, полагал Вернадский, живое содержит запас биогеохимической энергии, передающийся путем размножения организмов. Такое устройство живого вещества позволяет ему использовать для жизнедеятельности стремление энергии и материи к равновесию и неупорядоченности, то есть энтропию. Благодаря живому веществу свободная энергия биосферы возрастает.

Ключевые слова: В. И. Вернадский, А. Бергсон, живое вещество, биосфера, биологическое время и пространство, биогеохимическая энергия, энтропия.

Термин «живое вещество» был известен давно и употреблялся для общего обозначения живых тканей или как синоним протоплазмы. Но теперь во всех справочниках он существует в формулировке Вернадского: живое вещество (ЖВ) есть совокупность организмов, существующих в данный момент на планете; оно составляет основу биосферы и производит в ней определенную работу. ЖВ согласно определению Вернадского характеризуется своим химическим составом, весом и заключенной в нем энергией.

Вместе с тем эти описания не полно воспроизводят уровень общности ЖВ, заданный Вернадским. Так, во всех учебниках геологического и географического профиля биосфера характеризуется границами жизни во времени и пространстве, и основными функциями ЖВ, позволяющим поддерживать ее устойчивость. Но за страницами учебников остается его фундаментальный уровень. Причина тому – резко противоречащий позиции Вернадского тезис о возникновении (или происхождении) жизни на Земле в некие космические, догеологические периоды существования планеты. И получается, что главные свойства ЖВ все еще не приняты в современной науке.

Вернадский считал главными свойствами ЖВ:

- 1) извечность, непроисходимость и закономерное положение в системе планеты;
- 2) собственное время, отличное от физического его понимания и применения;
- 3) собственное состояние внутреннего пространства, резко отличающееся от пространства косного вещества;
- 4) собственная биогеохимическая энергия, несводимая к внешней энергии биосферы.

Именно эти коренные свойства ЖВ, которые отсутствуют в литературе о биосфере, служат глубинными причинами тех функций, о которых как раз в учебниках говорится, т.е. способности перемещать массы вещества, изменять его химический состав, формировать геологические оболочки, примыкающие к биосфере. Иначе говоря, выполнять планетную (она же – космическая) роль биосферы, которая без этих фундаментальных причин никак не могла быть исполнена.

В статье мы рассмотрим развитие Вернадским концепции ЖВ в историческом аспекте.

1

В студенческие годы в одном из докладов Вернадский поставил тот вопрос, который и определил всю его более чем 60-летнюю научную жизнь:

«Что такое жизнь? И мертва ли та материя, которая находится в вечном, непрерывном законном движении, где происходит бесконечное разрушение и созидание, где нет покоя? Неужели только едва заметная пленка на бесконечно малой точке в мироздании – Земле обладает коренными, особенными свойствами, а всюду и везде царит смерть? Разве жизнь не подчинена таким же строгим законам, как и движение планет, разве есть что-нибудь в организмах сверхъестественное, чтобы отделять их резко от остальной природы?

<...> Если жизнь есть явление естественное, то живет весь мир, да иначе и быть не может» [11, с. 34].

Для решения коренного вопроса всей его научной жизни он решил изучать глубинное строение вещества в области кристаллографии и минералогии. И от них естественным ходом мысли перешел к новой науке геохимии, исследующей движение атомов в земной коре, т.е. в их природном состоянии. Главная выявленная им особенность геохимии заключалась в том, что атомы на поверхности Земли находятся не в хаотическом движении, но в закономерно повторяющихся циклах. Они движутся упорядоченно. Но какими силами и как?

Вернадский обнаруживает, что каждый атом на каком-то участке цикла обязательно проходит через какой-нибудь организм. У Вернадского возникает догадка, что именно здесь кроется закономерность, этот участок цикла не случаен. Он спрашивает себя:

«Без организмов не было бы химических процессов на Земле? Во все циклы входят неизбежно организмы?» [21, с. 168–169].

Но тогда получается, что в земной коре именно они, организмы, есть наиболее активная часть пути атомов. Организмы запускают круговорот всех без исключения химических элементов Периодической таблицы. Вернадский обращается к биологической литературе и обнаруживает, что закономерности этих движений никак нельзя описать в рамках этой дисциплины. Организмы неотделимы от среды, и, следовательно, от образования геохимических соединений и масс. В одном из писем 1908 г. он делится с коллегой важнейшим фактом и обобщением:

«Между прочим, выясняется, что количество живого вещества в земной коре есть величина неизменная. Тогда жизнь есть такая же вечная часть космоса, как энергия и материя? В сущности, ведь все рассуждения о приносе «зародышей» на Землю с других небесных тел в основе своей имеют то же предположение о вечности жизни?» [18, с. 221].

С этого времени он начинает употреблять понятие живого вещества и рассматривать организмы как горную породу, объединив по данным о весе, химическом составе, наиболее общим чертам геометрического строения. Его особенно интересует заключенная в ЖВ энергия. Что она такое и можно ли отождествить ее с физической или химической энергетикой?

В статье 1913 г. о составе почв он начинает употреблять понятие «биосфера». Из чего состоит почва? Его учитель В. В. Докучаев пошел против традиционного ответа, гласившего, что почва есть измельченная горная порода [1]. Великий почвовед нашел, что только после ухода с данной местности моря и пресных вод почва начинает наращаться по собственным правилам посредством деятельности солнечного света, климата, продолжительности времени, растительных, животных и микроскопических организмов. Теперь Вернадский сосредоточивается на этом последнем, разворачивает атомный уровень деятельности живых организмов в почве:

«С каждым годом значение биохимических процессов в почвах становится для нас все яснее, и они выступают все ярче на первое место в их химической истории. И вместе с тем все яснее становится нам значение почвы в биосфере – не только как субстрата, на котором живет растительный и животный мир, но как область биосферы, где наиболее интенсивно идут разнообразные химические реакции, связанные с живым веществом. Не только биохимические явления в почве играют в ее химии самую видную роль – влияют, должно быть, на все химические почвенные реакции без исключения – но и самое значение этих биохимических реакций в общей химии земной коры становится для нас с каждым годом, неожиданно для нас, все большим. Роль почв в истории земной коры отнюдь не соответствует тонкому слою, какой она образует на ее поверхности» [8, с. 12].

Роль наиболее важного участка движения химических соединений, аналогичную почве, играют илы на дне морских и пресных водоемов. Таким образом, проявилась ярчайшая закономерность – организмы не случайны на земной поверхности. Они выполняют определенную функцию. Вот почему в его глазах ЖВ стало планетным, т.е. закономерным явлением. К 1916 году Вернадский оформил основополагающую идею, что не планета является местом обитания жизни, а жизнь в виде биосферы сама построила себе такое место обитания. Живые организмы определяют своим размножением, питанием и подвижным образом деятельности геохимическую обстановку в той ее области, которая представляет собой тончайшую, но важнейшую пленку и без которой все пришлось бы в равновесное состояние безжизненной Луны. Геохимия превратилась в биогеохимию.

Можно увидеть, как рождается важнейшее обобщение. Летом 1917 г. на фоне огромных исторических событий он делится своими мыслями с женой:

«Сейчас главной работой является набрасывание давних моих размышлений и мыслей о живом веществе с геохимической точки зрения. <...> Тут все главное – и все новое – в обобщении. <...> Перед всем живым веществом мелким кажется весь ход истории» [16, с. 211].

Научный переворот заключался не только в охвате содержания, не в новых анализах и в описании фактов, а в исходной новой идее или постулате о постоянстве и закономерном статусе жизни на Земле. Обобщение не вытекало из старого понимания фактов, но зато, будучи высказанным, начинало объяснять их в истинном смысле. Рождалась новая парадигма науки. ЖВ оказывалось не банальным и всем известным явлением (все живые организмы или их ткани), а новым, не описанным в науке *видом движения материи и энергии*. Оно становилось необходимым звеном в космическом балансе сил и масс.

Во время гражданской войны, оторванный от привычной обстановки, Вернадский работает над этой новой непривычной идеей. Все давно согласились, что открываемые здесь, в земных условиях, закономерности движения неживой материи должны быть универсальными, мировыми. Столь же всеобщими окажутся, по его мнению, закономерности, открываемые новой наукой – биогеохимией. Она исследует судьбу атомов ЖВ, но именно на атомном уровне кроется то единство живого и неживого, которое он интуитивно искал с самых первых шагов в науке. В одной из заметок он пишет:

«Необходимость признания космичности жизни вытекает из того положения, что живое является необходимым звеном в цепи минеральных процессов в земной коре и, в частности, в истории всех химических элементов.

Нельзя сомневаться, что состав земной коры не является случайным явлением, единичным фактом в истории Земли. Этот состав и образующиеся в земной коре и на Земле минералы являются по крайней мере *планетным явлением* и должны как таковые повторяться и в других местах пространства» [5, с. 37].

Несмотря на отсутствие прямых доказательств наличия жизни в космосе вследствие несовершенства наших приборов, спектральный анализ явственно указывает, что химический состав тел нашего мироздания, пишет он далее, аналогичен земному на атомном уровне. И поскольку земная химия образовалась с участием живого вещества, оно же действует и в ближайшем нам космическом пространстве.

Обнародована была эта теперь ставшая для него центральной идея универсальности живого вещества впервые в лекции «Начало и вечность жизни», прочитанной по возвращении в Петроград в мае 1921 г. [10]. В ней ученый рассмотрел историю 300-летних настойчивых поисков абиогенеза, т.е. происхождения живого из неживой материи. Обусловленные привычной и не обсуждаемой даже установкой сознания на *происхождение (зарождение) жизни*, поиски не дали ни одного факта, который опроверг бы выдвинутый еще в 1668 г. принцип флорентийского врача Франческо Реди, выраженный позже, в XIX в., известной формулой «*Omne vivum e vivo!*».

Вернадский утверждает теперь, что Реди сформулировал запрет, ведущий совсем к другой картине мира по сравнению с привычным представлением о заранее готовой планете и появлении на ней жизни. Вот как предельно широко он сформулировал запрет в лекции:

«Признавая биогенез, согласно научному наблюдению, за единственную форму зарождения живого, неизбежно приходится допустить, что начала жизни в том космосе, какой мы наблюдаем, не было, поскольку не было начала этого космоса. Жизнь вечна постольку, поскольку вечен космос и передавалась всегда биогенезом. То, что верно для десятков и сотен миллионов лет, протекших от архейской эры и до наших дней, верно и для всего бесчисленного хода времени космических периодов истории Земли. Верно и для всей Вселенной» [9, с. 278].

Иначе говоря, законы существования живого вещества, если они есть, не должны меняться, как и все законы природы. Главные свойства ЖВ Вернадский изложил в своей классической теперь книге «Биосфера» (1926).

2

Концепция книги основана на корпусе начальных аксиом биосферологии. В предисловии автор говорит, что для их понимания надо решительно забыть три предвзятых положения, на которых строится обычное описание геологических тел и их движений: 1) геологические явления образуются под влиянием случайных совпадений порождающих их причин; 2) у жизни есть начало; 3) у планеты были догеологические стадии истории. Эти положения не опираются на научные факты, они пришли из религии и философии..

Что же нужно поставить на их место? В главе с названием «Эмпирическое обобщение и гипотеза» (§§ 12-18) он формулирует шесть положений (приводятся в пересказе): 1) правило биогенеза, т.е. образование живого организма только из организма; 2) никогда не наблюдалось лишенных жизни геологических эпох; 3) современные организмы связаны с прошлым ЖВ, едины с ним и условия их существования близки; 4) химическое влияние жизни на окружающую среду было всегда одним и тем же; 5) количество атомов земной коры, захваченных жизнью – постоянно; 6) живые организмы регулируют химические свойства земной коры с помощью лучистой энергии Солнца.

Царившая до появления книги «Биосфера» из традиционной схемы происхождения жизни никто не мог построить какую-нибудь закономерную систему планеты. Никакого общего понятия о ее планетарной геологической роли из нее нельзя было вывести. Зато эмпирические обобщения Вернадского сразу дали ему теоретическую систему биосферы, дали возможность поиска и формулирования свойственных ей *количественных* закономерностей, описывающих функции живого вещества. С их помощью воз-

можно исследования самого предмета, а не объяснение его свойств происхождением из принципиально других процессов, в данном случае неживых.

Самое главное, что исследуя косное вещество, нельзя объяснить главное отличительное свойство живого – размножение. Проанализировав солидный массив литературы по размножению организмов, он обнаружил, что оно в пределе, в геометрической прогрессии, недостижимой в реальных природных условиях, зависит только от собственных наследственных факторов.

Что же означают эти точные, астрономической точности величины, зависящие только от внутренних закономерностей жизнедеятельности? Вернадский понял, что организмы или ЖВ в целом существует не во внешнем каком-то движении времени. Его внутренняя длительность, или, как он говорил, *дление* обусловлено ничем иным, как изготовлением структур клеток по определенному плану, записанному в наследственном материале (генетики тогда только начали их познавать). *Прошрое* состояние клеток должно в точности повториться в новообразованных структурах. Следовательно, число делений клеток, например, бактерий необходимо принять за единицу измерения времени их жизни.

Вернадский обозначил интервал между двумя делениями бактерий символом τ . Но такая же *tau* есть и в механике, где она характеризует время как прошедший период. Однако, в формулах механики движение данного тела на темп прохождения самого времени никак не влияет. Время в них есть независимая переменная неизвестной природы. Но при размножении живого период, интервал между появлением новых организмов *изготавливается* им самим, причем в разном темпе, их продолжительность дается не извне, а зависит от внутренних процессов. Биохимические вещества нельзя синтезировать мгновенно. Этот, казалось бы, банальный факт есть закономерность, мимо которой до Вернадского все проходили. Вот почему он определяет *tau* так:

«Промежутки между делениями, очевидно, имеют огромное биологическое и геохимическое значение; они выражаются в секундах:

$86\,400/\Delta = \tau$ (здесь 86 400 сек. – астрономические сутки, Δ – число поколений – Г. А.). Очевидно, этот период τ не может быть неограничен. Он выражает то время, которое, помимо всего прочего, необходимо для изготовления всех сложнейших химических соединений, строящих тело бактерий, в котором идут сложные процессы, связанные с делением клетки. Для бактерий эти последние, по-видимому, не имеют в этом отношении того значения, какое они приобретают, например, в клетках Metaphyta и Metazoa. Очевидно, τ не может быть бесконечно малым и, по-видимому, для бактерий оно близко к предельной возможной для организмов величине» [13, с. 92].

Для бактерий, дающих 63–64 поколения в сутки, *tau* равна примерно 1371 сек. Таково оптимальное или реальное дление, конкретная продолжительность, которую нельзя ни сократить, ни растянуть. Она есть твердый научный факт, также как и периоды деления всех (делящихся) клеток всех организмов Земли, а не только бактерий. Вернадский вскоре после исследования процессов размножения придал этому факту универсальный, а не специфический смысл. В докладе «Изучение вопросов жизни и новая физика» он назвал дление новым термином: *биологическое время*.

Вот какое широкое обобщение он сделал:

«Мы говорим об историческом, геологическом, космическом и т. п. временах. Удобно отличать биологическое время, в пределах которого проявляются жизненные явления.

Это биологическое время отвечает полутора – двум миллиардам лет (тогда таким считался возраст Земли – Г. А.), на протяжении которых нам известно на Земле существование биологических процессов, начиная с археозоя. Очень возможно, что эти годы связаны только с существованием нашей планеты, а не с действительностью жизни

в Космосе. Мы сейчас ясно подходим к заключению, что длительность существования космических тел предельна, т.е. и здесь мы имеем дело с необратимым процессом. Насколько предельна жизнь в ее проявлениях в Космосе, мы не знаем, так как наши знания о жизни в Космосе ничтожны. Возможно, что миллиарды лет отвечают земному планетному времени и составляют лишь малую часть биологического времени» [7, с. 274].

Поводом, или даже скорее, вызовом для статьи послужили революционные события в физике: теория относительности и квантовая механика. Какие выводы для себя должны сделать из них науки биологического цикла и науки о Земле, а более всего та дисциплина, которая составляет основу концепции биосферы – биогеохимия? В результате тщательного анализа Вернадский пришел к выводу, что в науках о жизни понятия времени и пространства другие и гораздо лучше изучены, чем в физике. Время здесь характеризуется отчетливыми качественными свойствами: четким направлением от прошлого к будущему и необратимостью, а с количественной стороны совершенно ясными и измеримыми мерными единицами – сменой поколений. Для каждого вида интервал размножения является точной мировой константой. Он является наследственным признаком.

«Но с точки зрения интересующего нас здесь вопроса о значении изучения жизни для выявления основной научной картины мира, ясно, что и для пространства, и для времени мироздания это изучение не безразлично. Оно вводит новые черты, не открываемые другими физическими или химическими процессами. Ясно, что жизнь неотделима от Космоса, и ее изучение должно отразиться – может быть, очень сильно – на его научном облике» [7, с. 276].

От обыденного представления о времени, как часов механики, как самом главном инструменте измерения времени и образа механической картины мира он перешел к пониманию органического источника времени, где ход его осуществляется биологически, биением живых ритмов, где секундами и минутами служат сами поколения живых существ. У него изменилось представление о самом временном фоне событий любого масштаба и уровня. Если в рамках привычной механической картины мира все события любых масштабов идут в неопределенном, где-то образующемся времени, которое распадается на отдельные, мало связанные между собой времена: космическое, геологическое, историческое, — то в рамках биосферной картины есть определяющий, ведущий процесс, в который легко укладываются длительности всех остальных событий. Если к ним подходит слово длительность.

Доклад о времени Вернадский сделал на Общем собрании Академии наук 26 декабря 1931 г. [17]. Он пытался донести до академиков идею, что биологическое время есть явление универсальное, а не просто специфическое свойство ЖВ. Он пришел к очень необычным и трудно осознаваемым даже в наше время выводам:

1. Биологическое время-пространство – одно, оно единственно в мире.
2. Оно создается в биосфере.

3

Если понятие о вечности жизни и единственности биологического времени может кому-то в силу своего опыта показаться философскими рассуждениями, то надо принять во внимание, что Вернадский доказал его еще одним способом, совершенно неопровержимым, а именно – состоянием пространства внутри живого вещества. Как кристаллографу, ему понятие пространства оказалось близким и понятным.

Луи Пастер первым обнаружил удивительное свойство живых тканей организмов. Их молекулы, как и вообще все молекулы по своей конфигурации могут создаваться в двух и только в двух вариантах пространственного строения – левом или правом. При этом химический состав их совершенно идентичен и соответственно – химические

и иные свойства тоже одинаковы за исключением одного отличия – пространственного расположения атомов. Например, белки внутри живых организмов преимущественно левые, причем, самые важные – зародышевые структуры – левые стопроцентно. А вот при питании дрожжи, как выяснил Пастер, используют только правый сахар, хотя и левый состоит из тех же атомов.

Пастер назвал такое свойство *диссимметрия*. Слово обозначает как бы усиленную, удвоенную асимметрию. Общеизвестно, что все структуры живых организмов имеют не геометрическую форму, в них нельзя найти идеальные шары, только всякие кляксы, завитки, неправильные капли и т.п. иначе говоря, живое на любом уровне асимметрично. И вот обнаружилось, что в этой асимметричности живое использует только один вид этих неправильных структур из двух возможных. У него есть левое без правого, как бы действие не равно противодействию. Все и в особенности сам первооткрыватель бесконечно удивлялись и не могли сказать, а почему организм и синтезирует, и ассимилирует вещество только одного вида, если химически данная молекула может служить и в другом виде. Выходит, что живые организмы производили и усваивали вещество строго одного объемного строения. Они безошибочно различают стороны пространства на самом фундаментальном уровне строения вещества, вероятно, вплоть до субатомного.

Однако, по всем законам физики и химии левые и правые изомеры должны существовать в одинаковом количестве и действительно, в неживой природе именно так, в равном количестве, они и существуют. Этот факт доказан на анализах гигантского количества разнообразных природных минералов и молекул. Он также легко проверяется при лабораторных синтезах какого-либо вещества. Что бы в лаборатории химик ни изготовлял, любое вещество будет всегда получаться в двух вариантах, и их количество будет равным, причем, чем больше синтезируется данного вещества, тем точнее соотношение будет приближаться к 50/50. Такое соотношение называется рацемическим.

В принципе эта загадка не решена до сих пор [2]. Пастер только был убежден, что здесь проходит граница между живым и неживым мирами. Вернадский придавал этому явлению огромное значение, поскольку эта граница относилась к самому простому, фундаментальному свойству жизни и к отличию ее от неживой материи. Он был убежден, что в вопросах симметрии как самого загадочного свойства пространства таится магистральный путь развития будущей науки. Он посвятил диссимметрии большое количество работ. Вернадский назвал диссимметрию свойством пространства. Не имея возможности останавливаться на данной проблеме сколько-нибудь подробно, затронем только один аспект.

Диссимметрия по твердому убеждению Вернадского служит надежным и бесспорным доказательством биогенеза, т.е. запрета на происхождение живых организмов из инертного вещества. Поскольку согласно генеральной парадигме современной науки жизнь случайна, то по этому мнению и диссимметрия однажды «произошла», т. е. сначала молекулы внутри организма синтезировались в двух видах, а потом почему-то стали синтезироваться в одном, поскольку диссимметрия резко повышает точность и однозначность химических реакций, в которых нуждается живая клетка. Биофизики перебрали все возможные причины такого перехода вплоть до космических катастроф, но ни одна из них не работает [19]. Следовательно, перехода нет, и никогда не было. Живое было всегда и диссимметрия его пространства – тоже.

Необратимость времени и диссимметрия пространства воспроизводится только рождением, ее нельзя получить случайно или намеренно, или воспроизвести искусственно. Они относятся к мировым свойствам ЖВ. Спонтанный переход от живого к мертвому – самый банальный и повсеместный и значит, переход от диссимметрии к рацемату столь же обычен. Организм умирает, и его остатки и выделяемые биогенные

структуры упрощаются с пространственной точки зрения. Но никогда, ни при каких условиях обратный переход – от рацемической структуры к диссимметрической – не происходит. Он невозможен. Запрет фундаментален, потому что он существует второе начало термодинамики, согласно которому переход от простых структур к сложным спонтанно не идет. Только наоборот.

4

Как и Франческо Реди, Жан-Батист Ламарк считал, что живые организмы существуют всегда. В труде «Философия зоологии» он разделил всю природу (первым в науке) на два класса тел – организованных и неорганизованных и составил список их главных свойств, показав их полную противоположность.

В этом списке не содержалось никаких гипотез и допущений. Он состоял из восьми пунктов.

1) тела неорганические обладают индивидуальностью только на молекулярном уровне, от величины тел она не зависит;

– индивидуальность живых тел не сводится к молекулам, из которых они состоят;

2) неорганические тела могут быть как разнородными, так и однородными, от их соотношения ничего не зависит, т.е. неорганические тела могут существовать в одной фазе;

– тела органические могут быть только разнородными; они существуют не менее чем в двух фазах;

3) свойства неорганических тел не зависят от их формы;

– свойства тел органических зависят только от формы, ее любое изменение дает новый вид живого;

4) первые бессвязны в своих частях;

– вторые связны, изменение в одной части немедленно влечет изменения в другой части;

5) неорганические тела сохраняются только в неизменности,

– но обладающее жизнью тело непрерывно меняется, оно обновляется, развивается, восстанавливается;

6) увеличение объема и массы неорганических тел носит случайный характер;

– живые тела растут путем ассимиляции вещества изнутри кнаружи;

7) первые не нуждаются в питании,

– вторые восстанавливают свою деятельность только питанием;

8) соединение неорганических тел случайно, они не рождаются и не могут умирать,

– живые тела возникают только рождением из зародыша или почки и смерть для них явление закономерное [20, с. 445–457].

Восемь исходных постулатов дали возможность Ламарку на том уровне знания, но принципиально, вполне реалистически решить проблему отношения организованных тел к энтропии. Такого понятия, конечно, тогда не существовало, как и понятия энергии, но тем не менее он их описал, исходя не из абстрактной работы, а из собственного и резко отличного от неорганизованных тел особого устройства живых организмов. Ламарк при этом был убежден, что никакой особой жизненной силы в организмах не существует, что положительно действует сама их организация. Суммирующий и главный его тезис гласил так:

«Я вижу в обоих случаях только одну силу, непрерывно *созидающую* при одном порядке вещей и *разрушающую* – при другом, ему противоположном» [20, с. 543].

Вернадский продолжил дело Ламарка: описать главные свойства ЖВ без гипотез и теорий. В статье «О коренном материально-энергетическом отличии живых и косных тел биосферы» (1939) он довел этот список до 16 пунктов. В составленной им таблице

сформулированы отличия живого и косного по составу, по энергии, по состоянию пространства и времени. В пункте № 12 ученый догадку Ламарка. В косном веществе и в ЖВ материально-энергетические потоки разнонаправлены. Все процессы в косном веществе увеличивают энтропию биосферы, или – что просто выражено по-другому – уменьшают ее свободную энергию. ЖВ действуют противоположно:

«Природные процессы живого вещества в их отражении в биосфере увеличивают ее свободную энергию (т. е. уменьшают ее энтропию). В результате этого процесса свободная энергия биосферы увеличивается, выражая этим основное значение живого вещества в структуре биосферы – и тем самым планеты» [12, с. 74].

Вот на действии энтропии (которая у Ламарка – сила) Вернадский заостряет внимание и уверен, что на этом пути можно узнать, что же такое собственная энергия ЖВ? Он называет ее *биогеохимическая энергия ЖВ*. Она передается, как и состояние пространства, и дление, от организма к его потомству только посредством размножения, и – следовательно – существует та ее часть, которую он не получает извне с пищей или с солнечной энергией.

Такую догадку он высказал еще в записках о ЖВ времен гражданской войны: «Явления энергетики жизни, обратили на себя внимание в связи с тем движением мысли, которое связано с значением второго принципа Карно и с теми последствиями, какие имеет для мироздания энтропия Клаузиуса. Медленно входило в сознание натурфилософов и физиков представление, что в жизненных процессах мы имеем один из немногих процессов в Природе, которые совершаются всегда в сторону, противоположную энтропии Мира. В XX в. из этого положения вывел не только земные, но и космогонические последствия Бергсон. Не только с философской, но и с научной точки зрения ясно, что такой резко противоположный всем остальным процессам Природы энергетический характер жизненных процессов не может быть связан только с Землей – он должен иметь мировое значение. Жизнь – при этих условиях – должна быть космическим явлением. Она не может быть делом случая» [5, с. 35–36].

Последнее замечание направлено против господствующей физической картины мира. Ее не следует понимать как всеобъемлющую и все объясняющую. Традиционно жизнь как таковая в нее никак не входит, считается случайной флуктуацией материи, а ее объяснение столь же традиционно исходит, иногда не замечая, из религии и философии. Но если исходить из специфики живого, физическая безжизненная картина мира должна быть частным случаем более широкой панорамы объясняющих фактов и их обобщений.

С точки зрения законов о неживой материи представляется, что организм работает как машина. Благодаря определенному устройству каждого органа, в который поступает извне энергия, происходит работа, положенная по его функции. Однако Анри Бергсон, о главном достижении которого писал тогда Вернадский, вслед за Ламарком, на основе блестящего анализа биохимической литературы сделал вывод, что работа происходит не столько благодаря устройству, сколько усилию или действию заранее существующей собственной энергии живого организма, названной им *жизненный порыв*:

«Это усилие не может в итоге породить энергию, или, если оно ее создает, то созданное количество энергии не относится к разряду величин, доступных нашим чувствам, измерительным приборам, нашему опыту и науке. *Все происходит так, как будто бы усилие имело своей целью лишь наилучшее использование предсуществовавшей энергии, которую оно находит в своем распоряжении. Есть только один способ преуспеть в этом: добиться от материи такой аккумуляции потенциальной энергии, чтобы можно было в определенный момент, произведя разряд, получить ту работу, которая необходима для действия*» [3, с.134].

Курсив здесь принадлежит самому Бергсону, придающему сугубое значение своей догадке о существовании особой, существующей заранее, энергии живого. Она предна-

значена не для выполнения работы, а для высвобождения потенциальной энергии, поступающей извне. Бергсон тем самым предвосхитил кибернетику, где этот процесс открыт как «триггерный эффект», то есть управляющее действие.

Таким образом, тот фактор, который Ламарк называл организацией, Бергсон жизненным порывом или «предсуществующая энергия», Вернадский – биогеохимической энергией, есть центральное понятие кибернетики, сформулированное в 1948 г., как раз и прежде всего на живых системах.

Если бы живое однажды возникло из косного как флуктуация энергии, безразлично случайно или «закономерно», то нарушилось бы первое начало термодинамики. То есть малая часть энергии, относящаяся к управлению, возникла бы из ничего. Но она всегда в организме есть и всегда передается благодаря процессу, абсолютно отсутствующему в косном веществе – размножению. Его значение для передачи биогеохимической энергии наиболее полно осознал и на теоретическом уровне описал Вернадский. В 1925 г. в работе «Живое вещество в биосфере» он, найдя точные константы размножения, которые присущи каждому виду биоты, связал их с фундаментальной основой ее существования:

«Потенциальное и оптимальное размножение должны как раз явиться предметом нашего исследования, так как именно они, приводя факты к общему масштабу, позволяют нам *количественно сравнивать геохимическую энергию различных организмов*. Они выражают максимальную геохимическую энергию каждого вида. По-видимому, эта величина постоянная и почти неизменная» [6, с. 565].

Выше уже указывалось, что найденные им видовые константы размножения оказались такими же объективно строгими, как константы движения небесных тел и элементов микромира. Но главное, что с помощью размножения по поверхности планеты передвигается, говорил он, сама способность размножения и передачи вот этой самой биогеохимической энергии, присущей только живому веществу. Он назвал ее растеканием геохимической энергии – самой мощной силой в биосфере.

В докладе, сделанном 23 июня 1927 г. в Берлине, Вернадский говорил о том, что следует различать в организме три энергетических потока, отдельно порождаемых метаболизмом, ростом и размножением. Среди них самая мощная и самая значимая часть – энергия размножения. Все три вида энергии биологичны, отсутствуют в природе неживой, но именно последняя наиболее специфична. Именно здесь заключен *жизненный порыв* в наиболее явном виде. Он писал:

«Энергия эта не только порождает биогенную миграцию атомов, подобно тому, как это делает геохимическая энергия метаболизма и роста. Она вызывает еще новое движение – перенос самого состояния биогенной миграции земных атомов на земную поверхность, соответствующее растеканию геохимической энергии в окружающей среде» [4, с. 198].

Таким образом, на принципиальном уровне вопрос об энтропии решается с помощью постулата о вечности жизни, т.е. введением жизни как равноценного элемента мира. Вернадский настойчиво разрабатывал такой уровень как научную цель и в последнем своем законченном произведении 1943 г., опубликованном впервые только в 1980 г., расположил самые важные для понимания картины мира принципы сохранения в историческом порядке их открытия:

«*Три основных эмпирических принципа* охватывают все естествознание. <...>

Первым будет принцип, высказанный Ньютоном в 1687 г. – *принцип сохранения массы вещества* в окружающей нас реальности, во всех изучаемых нами явлениях. Он был признан окончательно в середине XVIII – начале XIX в.

Вторым будет принцип Гюйгенса, выраженный им в предсмертной работе 1695 г. и ставший известным в начале XVIII в. Этот закон природы гласит, что *жизнь есть не*

только земное, но и космическое явление. Это представление еще только входит в научную мысль.

Третьим принципом будет принцип сохранения энергии, аналогичный [принципу] сохранения массы Ньютона, охвативший XIX век. <...>

Удобно назвать его принципом Карно-Майера» [15, с. 112–113].

Иначе говоря, первое и второе начало термодинамики необходимо дополнить правилом, которое когда-нибудь приобретет вид принципа *сохранения жизни*. Только тогда картина в целом будет непротиворечива и живое «не будет нарушать», как обычно считается, принцип энтропии.

Однако такое общее решение еще ничего не говорит о конкретном механизме сочетания принципов сохранения жизни и сохранения энергии между собой. Каким образом организм преодолевает стремление энергии в замкнутой системе к неупорядоченности? Согласно Вернадскому, разгадка лежит в свойствах пространства, формируемым живым веществом.

По своим химическим свойствам левые и правые изомеры неразличимы, но любой организм, начиная от бактерий и кончая животными, различает их именно по пространственному строению. То есть сама геометрия живого является спусковым механизмом для того «разряда», о котором писал Бергсон. Именно об этом говорит Вернадский:

«Отличие живого вещества от косного – не живого – вещества биосферы может лежать глубже физико-химических их свойств. Оно может быть связано с особым – геометрическим – субстратом физических свойств, т.е. с другим состоянием физического пространства, занятого телами живого вещества, чем физическое евклидово пространство косного вещества биосферы.

Тела живого вещества, возможно, отвечают не евклидову пространству, а одному из римановских геометрических пространств.

Это гипотеза, рабочая научная гипотеза, допустимая и, думаю, удобная для научной работы» [14, с. 176–177].

Если мы примем гипотезу Вернадского, нам следует начать исследовать сочетание двух геометрий или двух разных симметрий: симметрия внутреннего устройства ЖВ (риманово пространство) и симметрию неживого вещества, отвечающая евклидову состоянию пространства. Переход от неживого к живому запрещен вторым началом термодинамики. Но обратный и обычный переход от живого к неживому, идущий в гигантских масштабах биосферных геохимических циклов, есть распад риманова пространства и переход к евклидову пространству. В других терминах это переход от диссимметрических молекул к рацемическим. Нет никакого сомнения, что такой переход не противоречит второму началу термодинамики, а наоборот, соответствует направлению, которое им задается. Живые организмы освобождаются от «неправильных» по физическим и химическим законам числа молекул и тем самым включают энтропию как движущую силу, о которой догадывались Ламарк, Бергсон, а за ними на более точном уровне Вернадский.

Следовательно, ЖВ не преодолевает энтропию, заданную вторым началом термодинамики, а существует благодаря ей. Организмы с помощью стремления к рацемичности благодаря особому строению своих молекул и органов производят работу жизнедеятельности.

* * *

Таким образом, понятие ЖВ по Вернадскому создает стройную научную непротиворечивую картину мира. Жизнь не просто вписалась в законы физики и химии, но благодаря своему устройству, которое он выяснил, необходима и достаточна в балансах масс и энергий, существующих в мире. Жизнь действует как катализатор или транс-

форматор, строящий из поступающей энергии массивное вещество. Нам следует признать непривычную мысль, что без живого вещества, организованного в биосферу, в мире не существовало бы массивного вещества, то есть атомов, молекул, планет и других устойчивых тел.

Литература

1. Аксенов Г. П. Василий Васильевич Докучаев и Владимир Иванович Вернадский: от фактора времени к новой идее времени // История наук о Земле. – Вып. 6. – М.: ООО «Акко-литъ», 2017. – С. 11–18.
2. Аксенов Г. П. Причина времени: жизнь – дление – необратимость. – 3-е изд. – М.: КРАСАНД, 2014.
3. Бергсон А. Творческая эволюция. – М.: «Канон-пресс». 1998.
4. Вернадский В. И. Геохимическая энергия жизни в биосфере // Собр. соч.: В 24 т. – М.: Наука, 2013. – Т. 7. – С. 194–203.
5. Вернадский В. И. Живое вещество. М.: Наука, 1978.
6. Вернадский В. И. Живое вещество в биосфере // Живое вещество и биосфера. – М.: Наука, 1994. – С. 555–602.
7. Вернадский В. И. Изучение вопросов жизни и новая физика // Проблемы биогеохимии. Труды Биогеохимической лаборатории. – Т. 16. – М.: Наука, 1980. – С. 246–277.
8. Вернадский В. И. К вопросу о химическом составе почв // Собр. соч.: В 24 т. – Т. 7. – М.: Наука, 2013. – С. 10–18.
9. Вернадский В. И. Начало и вечность жизни // Живое вещество и биосфера. – М.: Наука, 1994. – С. 262–283.
10. Вернадский В. И. Начало и вечность жизни. – Пг., 1922.
11. Вернадский В. И. Об осадочных перепонках // Химия и жизнь. – 1988. – № 3. – С. 28–34.
12. Вернадский В. И. О коренном материально-энергетическом отличии живых и косных тел биосферы // Проблемы биогеохимии. Труды Биогеохимической лаборатории. – Т. 16. – М.: Наука, 1980. – С. 55–84.
13. Вернадский В. И. О размножении организмов и его значении в строении биосферы // Труды по биогеохимии и геохимии почв. – М.: Наука, 1992. – С. 75–101.
14. Вернадский В. И. О правизне и левизне // Проблемы биогеохимии. Труды Биогеохимической лаборатории. – Т. 16. – М.: Наука, 1980. – С. 165–178.
15. Вернадский В. И. О состояниях пространства в геологических явлениях Земли. На фоне роста науки XX столетия // Проблемы биогеохимии. Труды Биогеохимической лаборатории. – Т. 16. – М.: Наука, 1980. – С. 85–164.
16. Вернадский В. И. Письма Н. Е. Вернадской 1909–1940. – М.: Наука, 2007.
17. Вернадский В. И. Проблема времени в современной науке // Философские мысли натуралиста. – М.: Наука, 1988. – С. 228–254.
18. Вернадский В. И. Страницы автобиографии. – М.: Наука, 1981.
19. Кизель В. А. Физические причины диссимметрии живых систем. – М.: Наука, 1985.
20. Ламарк Ж.-Б. Философия зоологии // Избранные произведения: В 2 т. – Т. 1. – М., 1955. – С. 165–775.
21. Мочалов И. И. Владимир Иванович Вернадский (1863–1945). – М.: Наука, 1982.

THE CONCEPT OF LIVING MATTER ACCORDING TO V.I. VERNADSKY

G. P. Aksenov

Vernadsky presented the living substance of the biosphere as a new kind of movement. He describes it on a fundamental level as an element of the cosmos, equivalent to matter and

energy. Living organisms, believed Vernadsky, have their own biological time. It is irreversible, and its real duration is manifested in the change of generations of cells of organisms. The characteristic bright quality of the space of living matter is dissymmetry (chirality) of living structures and molecules. Thanks to these properties, Vernadsky believed, the living contains a reserve of biogeochemical energy transmitted by the reproduction of organisms. Such a device of living matter allows him to use for his life activity the striving of energy and matter for equilibrium and disorder, that is, entropy. Thanks to living matter, the free energy of the biosphere increases.

Keywords: V. I. Vernadsky, A. Bergson, living matter, biosphere, biological time and space, biogeochemical energy, entropy.

ПО СТРАНИЦАМ ДНЕВНИКОВ * АКАДЕМИКА А. П. ВИНОГРАДОВА 1936 ГОДА

Л. Д. Виноградова

*Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН,
г. Москва, Россия*

e-mail: lorian.vinogradova@mail.ru

В данной статье на основе архивных материалов рассказывается о содержании дневников, которые академик А. П. Виноградов вел во время своей первой научной зарубежной командировки 1936 года.

Ключевые слова: дневники академика А. П. Виноградова, академик В. И. Вернадский, Биогеохимическая лаборатория АН СССР, биогеохимические исследования.

В 1936 г. состоялась первая научная зарубежная командировка академика А. П. Виноградова (в то время – доктор химических наук, заместитель В. И. Вернадского по Биогеохимической лаборатории АН СССР) с целью ознакомления с постановкой океанографических исследований во Франции, Англии, с заездом в Прагу в лабораторию профессора Я. Гейровского** – изобретателя полярографии, чтобы изучить этот весьма точный метод исследований и затем внедрить его в практику Биогел. В течение 2-х месячного пребывания за границей Александр Павлович вёл дневники, постоянно записывая всё увиденное воочию, например, свои первые впечатления от мелькавших за окнами вагонов лесов и перелесков, полей, небольших городков и селений; описывал состояние вокзалов, устройство пассажирских вагонов, работу наземного транспорта, модели авто; устройство, работу и стоимость проезда в подземках; с особым интересом воспринимал достопримечательности и памятники архитектуры; его внимание привлекала толпа на улицах, описывал, как выглядят люди, во что одеты и что модно; рассматривал лица мужчин и женщин, обращая внимание на их характерные черты. Бывая

* Рукопись дневников академика А. П. Виноградова находится в Отделе личных фондов в фонде учёного № 1691 Архива РАН.

** Гейровский (J. Heyrovsky) Ярослав (1890–1967) – чехословацкий химик, основатель полярографии, член ЧАН (1952). Окончил Карлов университет (1918), ученик Б. Браунера. Экстраординарный (с 1922), ординарный профессор физической химии Пражского университета (с 1926). Директор Государственного полярографического института в Праге (с 1950), носящего его имя (с 1964). Иностранный член АН СССР (с 1966) и ряда других академий. Нобелевская премия по химии (1959).

в ресторанах и кафе, наблюдал за тем, как люди проводят свой досуг и т. д. и т. п. Особое место в дневниках занимают подробные записи о посещениях научных учреждений и их структуре, о встречах с научными сотрудниками и их исследованиях, об устройстве лабораторий и их оснащённость приборами, аппаратурой, реактивами; о системе и правилах содержания литературы в библиотеках, в которых работал. Есть в дневниках и записи о безрезультатном посещении книжных магазинов с целью поиска научной литературы по своей специальности и о поиске старых научных изданий среди вещей, которыми торговали антиквары на набережных Сены. Интересны записи о посещении музеев и картинных галерей. И тут надо особо подчеркнуть, что дневники вообще нельзя читать быстро, как путевые заметки, потому что они содержат личные оценки А. П. Виноградова не только устройства и деятельности научных учреждений и т. д., но и оценки творчества больших мастеров и их шедевров, представленных в музеях, в картинных галереях и на выставках, которые он посещал, и эти оценки требуют вдумчивого осмысления, а может быть и изучения. И здесь Александр Павлович выступает как тонкий ценитель живописи. В молодости он сам неплохо рисовал. В Мемориальном кабинете-музее академика А. П. Виноградова (ГЕОХИ РАН) находится его работа, написанная маслом. На ней изображена его младшая сестра Ольга, сидящая на диване с книгой в руках. Но найдя своё истинное призвание, Александр Павлович рисунок забросил, полностью посвятив себя профессии. Есть в дневниках и упоминания о крупных международных событиях 1936 г. Это Летние олимпийские игры, которые проходили в Берлине с 1 по 16 сентября; Международная товарищеская встреча по футболу между командами «Динамо» (Москва) и Сборной ветеранов профессиональных клубов Праги (Чехословакия), состоявшаяся 18 сентября на стадионе имени Масарика. Есть в дневниках и сведения о подготовке к проведению в Париже Всемирной выставки 1937 г., проходившей с 25 мая по 25 ноября под девизом «Искусство и техника в современной жизни». Хочется напомнить, что советский павильон завоевал первый приз выставки. Символом павильона была 24-метровая скульптурная группа «Рабочий и колхозница» из нержавеющей стали, отлитая по проекту скульптора В. И. Мухомой. В павильоне экспонировалась карта индустриализации СССР, богато оформленная с использованием драгоценных и полудрагоценных камней, а рубиновую звезду Москвы на карте украшали серп и молот из бриллиантов. Такое разностороннее освещение в дневниках европейской действительности в наше время воспринимается, во-первых, не иначе как интереснейшая ретроспектива предвоенной Европы второй половины 30-х годов, и во-вторых, значение дневников А. П. Виноградова для истории науки велико и это значение недооценить нельзя, так как записи Александра Павловича наглядно показывают, что исследования в области биогеохимии в научных учреждениях Запада находились в зачаточном состоянии, а в некоторых лабораториях, которые он посетил, вообще не велись. Поэтому понятен столь высокий интерес зарубежных учёных к работам Биогеохимической лаборатории. И в этом плане надо отдать должное научному гению Вернадского, интенсивной и эффективной деятельности А. П. Виноградова, который к концу 30-х годов прошлого столетия уже заявил о себе как о выдающемся учёном и блестящем организаторе науки, и, бесспорно, высокой работоспособности всего коллектива Биогеохимической лаборатории АН СССР. Благодаря этим факторам биогеохимия как наука развивалась в Советском Союзе «семимильными шагами» и, вероятно, к концу 30-х годов прошлого столетия достигла своего апогея. Но к концу 30-х годов биогеохимические исследования стали терять свою приоритетность в исследованиях Лаборатории. По инициативе А. П. Виноградова тематика Лаборатории существенно расширяется. В исследования вовлекается изучение таких объектов, как осадочные горные породы, почвы, метеориты, что способствовало в 1947 г. А. П. Виноградову создать многопрофильный Институт геохимии и аналитической хи-

мии имени В. И. Вернадского на базе Биогеохимической лаборатории, переименованной в 1943 г. в Лабораторию геохимических проблем. Надо отметить, что биогеохимические исследования всегда оставались актуальными в тематике Института. Это доказывает тот факт, что одной из первых лабораторий Института была создана биогеохимическая лаборатория, которую возглавил сам Александр Павлович. Обременённый многочисленными обязанностями, в 1954 г. он передаёт руководство лаборатории В. В. Ковальскому, специально приглашённому для этой цели.

Есть ещё весьма информативный аспект дневников, благодаря которому узнаём о неизвестных ранее фактах из биографии В. И. Вернадского. Речь идёт о встрече и постоянном общении учёных в Лондоне, где их маршруты пересеклись. Александр Павлович уже находился в Лондоне, когда в Лондон приехал Владимир Иванович. И всё свободное время они проводили вместе. Вместе ездили в Музей естествознания, в минералогический и геологический отделы, для получения рекомендации Владимиру Ивановичу в Британский музей, вместе совершали пешие прогулки по Лондону и посещали музеи; ездили в Королевские сады Кью, чтобы посмотреть оранжереи, и к Борису Петровичу Уварову*, который жил в предместье Лондона. Обедали вместе и, как всегда, обсуждали научные проблемы. Вот, к примеру, запись в дневниках от 25 сентября: «Вечером у Владимира Ивановича в Ronsley hotel. Делимся впечатлениями о поездках и составляем план работы на ближайшее время. Он весь охвачен вопросами логики. Логике и естествознания. Я говорю ему, что точки не существует. Эволюция, скачки, мозг. Мысль. А что дальше? Скачок? Когда, где? Куда развиваться мозгу? Мозжечок? Что такое мысль? Рассказал ему свои представления. Интересны пути образования мысли. Её субстрата. Какая роль атома? Как это представить? Общее явление распада атома. Явление рассеяния элементов. Exchange изотопов. Приложимы ли законы термодинамики** к биосфере? Ушёл поздно».

Надо заметить, что этой командировки для Александра Павловича Владимир Иванович добивался многие годы, считая, что Александр Павлович должен познакомиться с уровнем развития и постановкой океанографических исследований на Западе, так как в 20–30-е годы прошлого столетия основной темой Биогеохимической лаборатории было изучение химического элементного состава морских организмов, разработку которой В. И. Вернадский поручил А. П. Виноградову. С 1926 г. Александр Павлович возглавлял систематические исследования по биогеохимии северных морей. Каждое лето с 1926 по 1930 годы он ездил в экспедиции на Мурманскую биологическую станцию (МБС), что находилась в Екатерининской гавани на берегу Кольского полуострова, и поначалу лично отрабатывал методики по способам забора живого вещества в море, способам его хранения, по определению веса (массы) морских организмов, по учёту количества живого вещества в море, по забору проб морской воды и т. д., участвовал в плавании экспедиционного судна «Персей» по Белому морю, делал заборы морской воды, производил сбор морских животных, населявших море, на последующий химический анализ и т. д., а вернувшись в Ленинград в лабораторию организовывал аналитическую работу и проводил исследования по определению химического состава мор-

* Уваров Борис Петрович (1888–1970) – русский энтомолог, специалист по саранчовым. Работал на юге России до 1910 г. В 1920 г. эмигрировал в Великобританию, где продолжал свою деятельность. Руководитель Международного центра по изучению саранчи (1929–1940) и Противосаранчового исследовательского центра (1945–1959), член Лондонского королевского общества (1950), почётный член Всесоюзного энтомологического общества.

** В конце 60-х годов прошлого столетия А. П. Виноградов выступает с идеей использования физико-химической теории и термодинамических расчётов для изучения природных геологических процессов. Как теперь оказалось из дневников, что о приложении законов термодинамики к изучению биосферы, Александр Павлович думал ещё в 1936 г. и так долго вынашивал эту идею, чтобы научно обосновать её состоятельность.

ских организмов и других природных объектов. О своей работе на МБС Александр Павлович в дальнейшем писал: *«С 1926 по 1930 г. я имел возможность проводить научно-исследовательские работы на Мурманской биостанции, участвовать в плавании экспедиционного судна «Персей». Это дало мне возможность экспериментально поставить изучение сравнительного химического элементарного состава организмов, что явилось первым шагом в разрешении вопроса о постоянстве и эволюции вида»* [1].

Проблеме химического элементного состава морских организмов В. И. Вернадский придавал большое значение. Поэтому каждый год, начиная с 1929 г., он обращался к директору Государственного океанографического института (ГОИН) И. И. Месяцеву* по поводу заграничной командировки для своего сотрудника, поскольку Владимир Иванович заведовал Биогеохимическим отделом в этом институте со следующим штатом: А. П. Виноградов – старший химик и несколько сотрудников из БИОГЕЛ, что давало право на получение каждым летом 2-3-х рабочих мест для проведения исследований по тематике Лаборатории на Мурманской биостанции, которая находилась в ведении ГОИНа. Обращался В. И. Вернадский и в Президиум АН СССР: *«Происходящая сейчас организация научной работы – создание новых институтов - требует познавательного ознакомления с западноевропейской методикой работы. Особенно это важно для молодых специалистов, никогда не выезжавших за пределы Союза, каким является А. П. Виноградов. А. П. Виноградов должен в 4 месяца посетить, если возможно, научные станции в Кале, Бергене, Плимуте Ливерпуле, Эдинбурге, Роскове. Одновременно ознакомится с методикой работы в Institut Pastera, в Биогеохимической лаборатории проф. Бертрана и в Геттингене, в новом минералогическом (и геохимическом) институте проф. В Гольдшмидта. Он должен собрать материал в связи со своей работой по распространению Zn, Mn и т. д. в морских организмах»* [2]. Но шли годы, а вопрос о командировке А. П. Виноградова никак не решался, а летом 1933 г. Биогеохимическая лаборатория, как и вся гидробиологическая наука в СССР, вовсе лишились морской научной базы в связи с ликвидацией по постановлению руководства страны Мурманской биостанции, так как на её месте было решено построить военный порт стратегического назначения. Все сотрудники Мурманской биостанции были арестованы Экономическим отделом полномочного представителя ОГПУ в Ленинградском военном округе, ценнейшие коллекции уничтожены [3]. ГОИН был реорганизован во Всесоюзный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО) и передан в систему Наркомпищепрома. Урон, нанесённый ликвидацией Мурманской биостанции, был огромен, так как на долгие годы было прервано развитие фундаментальной гидробиологии северных морей. В начале октября 1933 г. Вернадский писал Виноградову из Праги: *«Я не знаю, что будет с Океаногр(афическим) институтом? Если они захотят превратить его в рыбный - как может сохраниться наша тематика? Нам надо иметь свои станции. Морскую и сухопутную»* [4]. После переезда Биогеохимической лаборатории АН СССР из Ленинграда в Москву**, Владимир Иванович с большей настойчивостью начал хлопотать в Президиуме академии о зарубежной командировке А. П. Виноградова на два месяца: *«А. П. Виноградов уже теперь несёт на себе всю тяжесть работы над организацией Лаборатории и будет вести её постройку. В сущности он сейчас ведёт под моим ру-*

* Месяцев Иван Илларионович (1885–1940) – советский зоолог, д-р биологических наук, профессор, зав. кафедрой и декан физико-математического факультета МГУ, исследователь Арктики, один из основоположников советской океанологии. В 1922 г. под его руководством построено I-е советское морское экспедиционное судно «Персей».

** В 1934 г. правительство страны меняет статус подчинения Академии наук. Постановлением Совнаркома от 25 апреля Академия наук из ведения ЦИК СССР переходила в ведение СНК СССР и её Президиум и практически все научные учреждения переводились из Ленинграда в Москву.

ководством эту Лабораторию и, очевидно, должен явиться моим заместителем. По моему возрасту и моему намерению посвятить остаток жизни над работой по подведению итогов моей научной мысли и работы, я в ближайшем году отойду от ведения институтов – и Биогеохимической лаборатории АН, и Госуд(арственного) Рад(иевого) института. Необходимо, чтобы в Лаб(оратории) во главе был человек, лично знакомый с постановкой научной работы на Западе и вообще за пределами нашей страны. Он должен посетить лаборатории-в эту первую командировку-Англии, Франции, Чехословакии и, если нельзя, или по условиям жизни Германии неудобно его посещения этой страны-то Италии или скандинавских стран. Он должен познакомиться с заграничными институтами, лабораториями и биологическими станциями и войти в личный контакт с научными работниками в этой новой области знаний. Он должен учесть всё это при постройке (надеюсь в 1936 г.) Лаборатории в Москве» [5].

4 июня 1936 г. Владимир Иванович в письменной форме обращается к председателю СОВМИНа В. М. Молотову. Вот строки его письма, касающиеся командировки А. П. Виноградова: «...Одновременно* Академия ходатайствует о заграничной командировке ученика моего, моего заместителя по Биогеохимической лаборатории доктора А. П. Виноградова, молодого талантливого учёного. Это сложившийся учёный – я убеждён, что он будет очень крупным научным деятелем страны. Он никогда не был за границей. Командируется он на два месяца. В моей Лаборатории никто не был за границей и это вредно отражается на её работе. Я хотел бы, чтобы мы выехали вместе – я бы ему помог при начале. Очень прошу Вас помочь мне и в этом деле...» [6].

Командировка А. П. Виноградова была поддержана Президиумом АН СССР. Ходатайствовал академик Г. М. Кржижановский. Текст письма В. М. Молотову от 8 июня 1936 г. приводится без купюр:

«Дорогой Вячеслав Михайлович! По поводу письма акад. В. И. ВЕРНАДСКОГО относительно его заграничной командировки и поездки его заместителя по Биогеохимической лаборатории доктора А. П. ВИНОГРАДОВА считаю необходимым сообщить следующее.

1. Работы биогеохимической лаборатории при личном ознакомлении произвели на меня чрезвычайно благоприятное впечатление. На этом участке работы мы, по видимому, не только находимся на уровне мировой науки, но идём с заметным опережением. Тончайший химический анализ в приложении к очередным проблемам биогеохимических процессов доводится в этой лаборатории до выявления таких закономерностей, которые помимо громадного научного интереса могут иметь и большое практическое приложение. В Лаборатории сконцентрирован значительный круг людей, больших знатоков дела, и одним из самых выдающихся учёных является как раз тот самый А. П. ВИНОГРАДОВ, о котором ходатайствует акад. В. И. ВЕРНАДСКИЙ.

2. В прошлые годы мы уже неоднократно отпускали В.И. ВЕРНАДСКОГО за границу вместе с женой, и до сих пор он, по тем данным, которыми мы, конечно, располагаем, не давал поводов к отказу в таких его поездках. В своих выступлениях в Академии, на мой взгляд, он ныне держится более прилично, чем в прошлые годы. ВЕРНАДСКИЙ является одним из основоположников биогеохимии, а ВИНОГРАДОВ – главнейшим продолжателем его дела. Со своей стороны я поддержал бы их поездку за границу.

С ком(мунистическим приветом) Г. Кржижановский» [7].

На письме резолюция: «Не возражаю. В. Молотов» и подписи: Сталин, С. Орджоникидзе, А. Андреев, А. Микоян, В. Чубарь.

* Одновременно Вернадский хлопотал о поездке за границу в этом же 1936 г. для себя и Натальи Егоровны для встречи с дочерью и с её семьёй, которая проживала в Праге и имела частную практику врача-психиатра, а также для лечения в Карлсбаде и работы в научных библиотеках Парижа и Лондона.

Безусловно, такая блестящая характеристика, данная Г. М. Кржижановским деятельности Биогеохимической лаборатории и лично А. П. Виноградову, вероятно, сподвигла высшее руководство страны дать согласие на выезд учёных за границу.

Согласно дневникам, за границу Вернадские и А. П. Виноградов выехали вместе 12 августа 1936 г. Ехали вместе до Праги с пересадкой в Варшаве. Далее у каждого был свой маршрут, в финансовом отношении просчитанный Интуристом. В Прагу приехали 14 августа рано утром в 6 час. 34 мин. на Вильсонов вокзал. Встречала дочь Вернадских Нина Владимировна, которая отвезла путешественников на такси к себе домой. По дороге Нина Владимировна показывала некоторые достопримечательности. Ехали мимо Карлова моста и Кремля, через Старый город в Dejvice (район Праги), где Нина Владимировна проживала на втором этаже конструктивистского дома. Прага показалась Александру Павловичу очень миниатюрной. Всё какое-то непривычно маленькое, микроскопическое. Квартира Нины Владимировны была значительно больше, чем квартира Александра Павловича на Малой Якиманке в Москве*. Владимир Иванович и Александр Павлович составили план действий на 14, 15 и 16 августа. Наскоро выпив кофе, ругая при этом Интурист, который, как всегда, опять всё напутал, продав билеты на поезд, прибывающий в Прагу на Масариков вокзал – второй вокзал в Праге, а не на Вильсонов, так как Вернадский предварительно известил дочь о их приезде на Вильсонов вокзал. В результате Владимир Иванович с Натальей Егоровной и Александр Павлович были вынуждены сами в 2 час. ночи перебираться из своего поезда в вагон, идущий из Львова на Прагу на Вильсонов вокзал. Получив деньги в Англо-чехословацком банке и купив необходимые канцтовары, Александр Павлович завёз чемодан в гостиницу «Аметист», где Интурист забронировал комнату, и поспешил в Карлов университет в Минералогический музей Географического факультета. Кстати, в 1968 г. А.П. Виноградов был избран почётным доктором Карлова университета. В 1 час дня в университете никого нет. В 1 час. 30 мин. стали появляться сотрудники музея. Первым приходит Новачек – минералог. Работает по анализам вторичных урановых минералов зоны окисления, а также по изучению минералов Чехословакии. Не говорит по-русски и плохо понимает русский. Зовёт Орлова (петрограф), который хорошо знает русский. Появляется проф. Ульрих – минералог, читает курс экспериментальной минералогии в университете, работает по рентгено-спектроскопии. Получает в год на исследования 10000 крон, что по мнению Александра Павловича ничтожно мало. В штате музея состоит проф. Славик-минералог, директор Минералогического института Карлова университета, читает минералогию. Заведует минералогическим кабинетом музея мадам Славик. Новачек показывает химическую лабораторию. Помещения удобные и просторные, но оснастка по мнению Александра Павловича мизерна, ничего нового. Единственно, что обращает на себя внимание, так это фарфоровая баня с отростком для уровня. Однако она нагревается газом. В весовой – микровесы фирмы Sartorius (Германия). Библиотека с богатым собранием оттисков. На следующий день в Чехии был православный праздник. Все учреждения закрыты. Александр Павлович вместе с проф. Ульрихом направились в Национальный музей Чехии, обладающий великолепными коллекциями. В музее представлены для осмотра: Пантеон – собрание бюстов великих людей Чехии, коллекции основной части и музейного комплекса – Музея естествознания и истории, библиотека (1,3 млн книг и 8 тыс. рукописей), а также геолого-палеонтологические коллекции Барранде**. Александр Павлович смотрел всё, выделяя для себя от-

* В Москве А.П. Виноградов проживал на ул. М. Якиманка, в доме № 3, кв. 11, площадью 63 кв. м.

** Барранде (Barrande) Иоахим (1799–1883) – геолог и палеонтолог, иностранный член Петербургской АН (1877). Родился во Франции, с 1831 г. жил в Чехии. Труды по стратиграфии нижнепалеозойских отложений Чехии. Выделил (расчленил на отделы и ярусы) силурийскую систему. Автор многотомного труда по палеонтологии.

дельные интересные экспонаты, не встречавшиеся ранее. Особенно обратил внимание на ураниниты из знаменитого месторождения Иохимово, представляющие из себя плотный радиоактивный минерал, окисел урана, входящий в пятиметальную рудную формацию (породы серебра, висмута, никеля, кобальта и урана). В этот же день удалось осмотреть Старое место. С 17 августа работа в лаборатории проф. Гейровского. Знакомство с лабораторией и с сотрудниками, ассистентами профессора: доктором Илковичем (физико-химик), Россовским и его ассистентом Картом и др. Первая полярограмма и подробный разговор с Гейровским об организации полярографии. 18 августа в Праге происходило историческое событие – международный товарищеский матч по футболу между командами «Динамо» (Москва) и Сборной ветеранов профессиональных клубов Праги. Игру выиграли советские футболисты с разгромным счётом 9 : 1. Матч судил Степановский (Чехословакия). Александр Павлович не мог не пойти на эту игру, так как сам в юности увлекался футболом. Ходили компанией: Гейровский, Ульрих, Карт и Александр Павлович. Вечером с Ульрихом в Карловом граде. Кроме лаборатории Гейровского, Александр Павлович осмотрел аналитическую лабораторию Томачека и посетил Радиологический институт. Оснащение лаборатории обычное: водяные бани и трубки над ними. Раковины из фаянса. Электрометрические работы. Радиологический институт основан в 1922 г. Ф. Бегоунком при поддержке М. Кюри. Исследования проводят по применению радия и полония, по химии и микроработы с Си.

Работа по освоению полярографии была закончена, и Александр Павлович выехал во Францию. 22 августа около 1 часа дня прибыл в Париж. Париж встретил его шумом большой европейской столицы, быстрым трафиком, запахом бензина в воздухе и пёстрой толпой. Направился в отель на такси. Смотрел, как сам писал в дневниках, *«поражённый на открывающуюся картину городских улиц, зданий, людей, удивительные прекрасные площади и целые ансамбли художественного значения»*. Была суббота. Местные кончили работу раньше. Было бесполезно идти в учреждения. Бросил чемоданы в номере, переоделся и отправился на улицу. Французы говорят очень быстро, да при этом ещё картавят, поэтому поначалу понять их было трудно. Александр Павлович боялся сделать что-нибудь не так, но всё обошлось благополучно. С помощью купленного путеводителя точно установил место своего нахождения. Оказалось, что он находится в самом центре Парижа и отель совсем рядом, а кругом десятки интересных мест. Сад Тюильри с красивейшими решётками, лужайками, прудами, с десятками статуй, бюстов, монументов, среди которых исключительно интересно. Площадь Каррузель, далее площадь Лувра и вдали простираются Елисеевские поля. Сбоку площадь Согласия-Мадлен с церковью Мадлен (католическая церковь святой Марии Магдалены). Бродил по бульвару Сен-Жермен, наткнулся на памятник Эжену Дюкрете (изобретатель первого телеграфа), рассматривал костёл «Аббатство Святого Жермена на лугах», который находится на углу улиц Бонапарта и бульвара Сен-Жермен. Еле волоча ноги от усталости, вечером вернулся в отель, переполненный избытком информации и эмоций. Следующий день – воскресенье. Всё закрыто, кроме музеев. Александр Павлович решает идти в Лувр и в первое посещение смотреть только Египет, шумеров, Вавилон и Ассирию. В понедельник многие учреждения ещё не функционируют. Посольство и консулат на улице Гренобль закрыты. Нет никого и в Сорбонне. После долгих поисков, наконец, добрался до Института Пастера и там тоже никого не было. Ничего не оставалось делать, как продолжать знакомство с городом. Исходил весь Латинский квартал: Медицинский факультет университета Декарта, Пантеон, Лицей Людовика Великого, Сорбонна, Палата Депутатов. Вечером отправился к Эйфелевой башне, по словам Александра Павловича, «гордое создание человека». На другой день во вторник 25 сентября с утра в Консулате насчёт английской визы. Визы не оказалось, пришлось заново заполнять анкеты и фотографироваться. После всех хлопот – Институт Кюри. Институт закрыт.

Снова пытался кого-нибудь застать в Сорбонне, но безуспешно. Вероятно, Александр Павлович приехал в Париж в не совсем удачное время – конец августа – профессура в отпусках, занятия студентов в вузах ещё не начались. Не теряя времени направился в Нотр-Дам. Собор показался очень мрачным. По винтовой лестнице поднялся на балкон, а затем на крышу, с которой открывалась прекрасная панорама Парижа. На крыше Нотр-Дам впервые так близко увидел химер, которые произвели странное и страшное впечатление. Александр Павлович не мог понять, как человек дошёл до создания таких чудовищ? В этот же день успел посмотреть музей Гиме – крупнейший в мире музей азиатского искусства. Поехал на метро. Первое впечатление – неопределённое, но совершенно ясно, что после нашего метро в Париже совсем слабо. Находясь в Париже, Александр Павлович посетил, кроме Лувра и музея Гиме, как художественные музеи (Клуни, Орсе, Чернуски), так и научные (музей Естествознания, Минералогический, Палеонтологический, зоопарк) и военные музеи, достаточно подробно описывая представленные коллекции. Осматривал парки и дворцы Версаля и Фонтенбло. Наконец 3 сентября Александр Павлович попадает в Пастеровский институт, который состоит из ряда экспериментальных лабораторий, размещающихся на 3-ем этаже особняков, расположенных по обе стороны улицы. Александр Павлович направляется в корпус Биологической химии. Самого Бертрана* не было, будет только в конце сентября. Его встречает сотрудник Бертрана доктор Отто Райз и показывает Лабораторию. Оборудование – обычное. Ничего нового. Аналитика находится в полузаброшенном состоянии. Сотрудников мало, иностранцев тоже. Тематика-биохимия. С элементами в то время, по-видимому, никто не занимался. Оригинальной посуды нет, только железная. Каждый сотрудник имеет свой набор реактивов.

В Сорбонне – 7-ого сентября. Александра Павловича проводят в главный лекционный зал, так называемый амфитеатр. Настоящее художественное произведение. Прекрасный зал украшен многочисленными картинами и фресками. За столом докладчика – огромное полотно с удивительными аллегорическими пейзажами, изображающими символы отдельных наук. Ничего подобного у нас нет.

Только 9 сентября, непосредственно перед отъездом на юг Франции, Александру Павловичу удалось связаться с секретарём G.Urbain'a** в Институте физико-химической биологии. Институт совсем молодой. Создан в 1928 г. при непосредственном участии известных французских учёных: физика Ж. Перрена*** и биолога Дюкло****, которым удалось убедить Рокфеллера дать деньги на постройку здания для института. Здание построено в 1930 г. и состоит из 2-х корпусов, соединённых переходом. Руководство Института, так называемый совет, состоит из магнатов (членов академии и университета) и банкиров. Последние регулируют денежные отношения. В Институте 3 секции: химическая, физическая и биологическая. Химическая (руково-

* Бертран (Bertrand) Габриэль Эмиль (1867–1962) – французский фармаколог, биохимик и бактериолог. В 1904 г. получил степень доктора философии за исследования о получении красителей бразилина и гематоксилина. Сотрудник института Пастера (с 1904), где изучал органические основания и аминокислоты. Советник Военного министерства по вопросам химического оружия; занимался изучением отравляющих газов, ядов змей. Член-корр. АН СССР (с 1924), Сельскохозяйственной академии (с 1926) и Медицинской академии (с 1931). Несколько раз номинировался на Нобелевскую премию по химии.

** Урбен (Urbain) Жорж (1872–1938) – французский химик, иностранный член АН СССР (с 1925). Труды по химии редкоземельных элементов и комплексных соединений. Открыл лютеций (1907).

*** Перрен (Perrin) Жан Батист (1870–1942) – французский физик, член Парижской АН (с 1923), лауреат Нобелевской премии (1926). Исследовал природу катодных и рентгеновских лучей. Изучал электрокинетические явления и предложил прибор для исследования электроосмоса (1904). Работы по изучению броуновского движения, которые экспериментально подтвердили теорию Эйнштейна-Смолуховского и окончательно доказал существования молекул и т. д.

**** Дюкло Пьер Эмиль (1904–1940) – французский физик, химик и биолог.

дитель G. Urbain), в свою очередь состоит из 2-х лабораторий. Стены в лабораториях выложены белой плиткой; средние столы с большими фаянсовыми раковинами. Наружная подводка горячей и холодной воды, давления. Жидкий воздух. Холодильники электрические. Печи индивидуальные. Исследования: анализ силикатов, термический анализ, электролиз. Не считают энергию каолинового кольца, принятой окончательно. Нет кривых дикита и каолинита. Общие впечатления от посещения Института: богатство оборудования и прекрасная отделка помещений. Комнаты большие и светлые. Масса стекла.

Александр Павлович пробыл в Институте 4 часа, подробно знакомясь со структурой, руководством Института, лабораториями и с их оснащением оборудованием и реактивами, системой отчётности сотрудников, с вспомогательными службами и даже со службой консьержа, и, как знать, может быть он что-то использовал из увиденного при организации ГЕОХИ в 1947 г.

В перерывах между посещений институтов, Александр Павлович работал в библиотеках Парижа: библиотеке Музея естествознания, Национальной библиотеке Франции, в библиотеках Сорбонны и научных учреждений, отмечая практически мгновенную подачу заказанной литературы и в то же время слишком плохую подборку научных журналов, а зачастую – их полное отсутствие. Ни в одной из библиотек Парижа не нашёл необходимой ему статьи французского биолога Désormes'a.

10 сентября – последний день в Париже. Перед отъездом на морские биостанции в Баньюльс и Аркашон, Александр Павлович успевает сходить второй раз в Лувр, чтобы посмотреть старых мастеров и французских мастеров XIX века.

Биостанция в Баньюльсе находится на берегу Средиземного моря в 10 км от границы с Испанией на гряде, которая врзается в море. Основана под названием «Лаборатория Араго» в 1881 г. На станции его встречает молодая дама Одетта Тодес – главный помощник проф. О. Дюбоска* и шеф работ по сравнительной физиологии и зоологии. Осмотр начинается с Аквариума – это большой светлый зал, расположенный в нижнем этаже, с бассейнами на полу, на столах и в стене. Рядом небольшой музей. Это рассчитано на публику. Имеется свой бот. Животные представлены по биоценозам. Губки красного и жёлтого цвета. Кораллы. Огромные раки. осьминог. Большие рыбы – в бассейнах. Лаборатории – зоологические и биологические. В то время работали только биологи. Библиотека в два зала. Периодика хорошо представлена, но Désormes,a и тут нет. Собственных изданий станция не имеет. Ведёт обмен, но Трудов Биогеохимической лаборатории тоже нет. Главное преимущество станции – это светлые помещения. Наконец, в кабинете Дюбоска. Обмен мнениями о работах. Дюбоск признаёт, что направления исследований Биогеохимической лаборатории чрезвычайно перспективны и интересны. Поздно вечером Александр Павлович отправляется на поезде в Бордо и 12 сентября рано утром, сделав пересадку, попадает в Аркашон.

Морская биостанция в Аркашоне основана в 1887 г. Обществом естествоиспытателей Бордо. Находится под шефством бордоского университета. Директор станции проф. Р. Сигалас. Он – паразитолог. Работают только специалисты. Студентов нет. Проф. Сигалас жалуется: денег нет, все старо, специалистов не хватает. Помимо всевозможных актиний, морских звёзд, коньков и дорад, внушительно смотрится музейная коллекция устриц, промыслом которых, собственно, и прославился Аркашон. Также интересны залы, посвящённые археологии региона. Работа над дыханием Invertebrata. В лаборатории знакомство с Denevois – профессором химии и биохимии физиологии растений бордоского университета. Александр Павлович рассказывает о своих работах и работах Лаборатории, в том числе, с Вг. Затем Denevois – о своих и о своей теории

* О. Дюбоск (Duboscq) – профессор Сорбонны, директор морской биостанции в Баньюльсе.

приспособления водорослей к пресной воде. После обеда ведёт в библиотеку, смотреть его работы. Библиотека в маленькой комнате без основных изданий. Имеется собрание изданий Аркашонской станции. Désormes, а нет. Уже поздно. Надо торопиться. Александру Павловичу предстоит дальний переезд на север Франции, в Бретань на морскую биостанцию в Роскове. Поезд отходит в 22 часа 10 минут, а ещё хотел посмотреть город. 14 сентября в 8 час. утра на станции в Роскове. Проф. Перес уже ждал Александра Павловича в аквариуме, с которого и был начат осмотр станции. Станция не показывается публике, поэтому аквариум для экспериментальных работ. Работа главным образом по морфологии, биологии и физиологии. Лаборатории общие и биологические. Работают не только профессора, аспиранты и студенты, но и иностранцы. В сезон их работает 60 человек и больше. Химическая лаборатория. Оборудование небогатое. Химия представлена работами по изучению Al в морской воде, редкими элементами в море. Также ведутся работы по геологии, биоценологии и математике. Проф. Перес рассказывает о своих работах, Александр Павлович – о работах Лаборатории. Показывает свою лабораторию, библиотеку. Библиотека-прекрасная. Все энциклопедии и масса специальной периодики, но Désormes – а нет. На станции чувствуется интернациональность в работе: люди из разных мест и стран. Всех сотрудников интересует возможность посетить СССР. Масса вопросов. Александр Павлович рассказывает о Лаборатории. Станция имеет достаточно хорошее оборудование, прекрасно снабжается. Тут можно хорошо работать. Семинары, лекции. Александр Павлович со всеми прощается и едет в Сен-Моло (порт в Бретани), чтобы пересест на пароход «Dinard», идущий в Саутгемптон. В Саутгемптоне, пройдя все формальности паспортного контроля, Александр Павлович, наконец, на пароходе. Собирается встать рано утром следующего дня, чтобы не пропустить Белый остров – южную оконечность Великобритании. В 5 часов утра Александр Павлович на палубе. Тучи и сквозь туман чуть – чуть видна Земля. Это Англия. Наконец, пароход «Dinard» входит в Солентский пролив и пришвартовывается на пристани Саутгемптона. После прохождения таможни, Александр Павлович садится в поезд и приезжает в Лондон. Оставив чемодан в отеле и купив путеводитель, идёт знакомиться с городом, которое целенаправленно начинает с Южного Кенсингтона, где сосредоточен ряд научных зданий и музеев, добравшись туда на метро. И сразу же начинает сравнивать то, что видит в Лондоне с тем, что видел в Париже. На улицах Лондона практически нет ансамблей; ресторанов и кафе значительно меньше, а больше булочных и кондитерских с различными сладостями. Метро чище, опрятнее. Сделано экономно в системе «Tube». Поезда почти круглые, вагоны длинные, удобные с мягкими креслами. Сквозняк буквально срывает шляпу, так как воздух качают в метро. Поезда идут быстро. Масса линий с пересадками и т. д. Знакомство с Лондоном фактически началось с музеев и библиотек. В первый день идёт в Музей естествознания, который является одним из 3-х крупнейших в мире. Коллекция включает более 700 миллионов экспонатов по ботанике, зоологии, энтомологии, минералогии и палеонтологии. Музей оказался для Александра Павловича чрезвычайно интересен, так как многих представителей флоры и фауны, увиденных здесь, он изучал на химический элементный состав. Затем посетил музеи, сосредоточенные также в Южном Кенсингтоне: Геологический, Политехнический, Британский; Музей Виктории и Альберта; Альберт-холл и др. Работал в библиотеке Британского музея. Огромное удовольствие доставила поездка в Ботанический сад Кью. После знакомства с флорой оранжерей, Александр Павлович пришёл к убеждению, что систематическое исследование химического элементного состава опунцевых, толстянковых, кактусов и агав может дать интересные данные. После работы в библиотеках Лондона: Геологического общества, университета, Лондонского музея, экспериментальной станции в Ротамстиде, Научного музея, в библиотеках биостанций и др., Александр Павлович пришёл к выводу, что

библиотеки Лондона значительно лучше Парижских, хотя их численность меньше. Лучше система каталогизации, больше периодики и большее разнообразие научных журналов.

Утром 24 сентября Александр Павлович получил письмо от Вернадского о том, что он приедет 24/IX. Александр Павлович направился в указанный отель, но Владимир Иванович ещё не приехал. Поезд по расписанию приходит днём. Решил зайти позже, а пока направился в Тауэр, который произвёл жуткое впечатление: ямы, застенки, клетки, дамбы, орудия пыток и на этом фоне нелепо выглядят представленные для осмотра драгоценности королевской короны. Вечером встреча с Владимиром Ивановичем и разговор допоздна о его книге «Биосфера». Вплоть до отъезда Александра Павловича домой через Данию, учёные постоянно общались и проводили свободное время вместе, за исключением поездок Александра Павловича на биостанции. Надо отметить, что между ними были не только корпоративные, но и дружеские отношения и полное взаимопонимание. Александр Павлович по сыновьи заботился о Владимире Ивановиче. Когда тот плохо себя чувствовал, давал необходимые медицинские советы (А. П. Виноградов окончил в 1924 г. Военно-медицинскую академию имени С. М. Кирова в Ленинграде и имел право на врачебную практику на всей территории СССР), в 1935 г. нашёл для Вернадских квартиру в Москве в Дурновском переулке и следил за её ремонтом; выполнял все просьбы, касающиеся их быта и т. д.

29 сентября Александр Павлович направился на Ротамстидскую опытную станцию, которая находится в Нарпендене (графство Хартфордшир). Это старейший и крупнейший в Великобритании научно-исследовательский сельскохозяйственный институт. Основан в 1843 г. сэром Б. Лосом. Сначала Александра Павловича сопровождал генеральный гид. По желанию гостя осмотр станции начали с библиотеки и с химии. В библиотеке основные агрохимические журналы представлены с основания. Полная доступность литературы. Много русских изданий. Химическая лаборатория не представляет чего-либо особенного. Работы по азоту, фосфору. Явный интерес к микроэлементам. Есть книги Владимира Ивановича. Просят прислать Труды Лаборатории. Вызывают сотрудника, работающего с микроэлементами: никелем, кобальтом, медью, железом и бором. Их влияние на рост растений. Опыты ведутся на крыше, с которой прекрасный вид на опытные поля. Далее физики. Показывают большую и очень сложную аппаратуру по газовому анализу. Изучают поглощение газов почвой. В этой же комнате и метеорологические исследования. Вся запись ведётся в комнате этажом ниже. Затем Александра Павловича представляют директору станции доктору Расселлу. Расспрашивает о работе, о советских почвоведрах. Хорошо знает Полынова. Приглашает на традиционное чаепитие, на которое собираются в большом зале все сотрудники станции. Знакомит то с одним, то с другим. Но пора уезжать. Вечером с Владимиром Ивановичем обедали в шикарном ресторане на Oxford Street. Договариваются на завтра идти к Левису в научную книгу смотреть литературу.

2-ого октября Александр Павлович едет на биостанцию в Плимут. Станция расположена на высоком берегу. Террасы образуют спуски вниз к морю. На станции – бассейн. Вход со стороны города. Доктора Форда нет. Будет через несколько минут. Проводят в аквариум. Комната примерно 15 на 7 метров в один этаж. По обе стороны в стенах аквариумы. Население аквариума – разнообразное: разные рыбы (камбала и др.), осьминог, но самые замечательные – это раки, актинии – целый сад. Звёзды, ежи, моллюски. Рестер, когда плывёт кверху – танцует блюз. К низу – просто падает. Вымершающее животное просвечивается. Видно движение крови. Появляется доктор Форд. Он зоолог. Эта станция, вернее институт, очень большая по сравнению с другими станциями на море. Приезжает много специалистов из разных городов и стран. Зоологи и биологи помещаются на 2 этаже. Всё заставлено аквариумами, банками. Работа с ли-

чинками рыб. Везде электричество, газ, калорифер воздуха. Химические комнаты на 3-ем этаже. Изучают состав планктона. Они не знают работ Биохимической лаборатории. Даже III-й том Трудов Биогел у них не зарегистрирован. Долгий разговор о химическом элементном составе организмов, составе воды. Интересуются, какие элементы концентрирует планктон. Изучают медь, никель, кобальт, марганец, железо. Александр Павлович подробно рассказывает о своих работах и чувствует неподдельный интерес к этим вопросам. Далее физиология. Эти работы представляют здесь химию моря. Интересуются распределением отдельных химических элементов. Изучают их действие на диатомовые. Беседа длилась около 5-и часов и только в 3 часа ночи Александр Павлович вернулся в свой отель в Лондоне, идя по пустынному, плохо освещённому, городу. На следующий день с утра работа в библиотеке, а днём были с Владимиром Ивановичем у Уварова Б. П. У него – интересный разговор о саранче в Африке. Оказывается, что начало саранчовых туч – это область Нигера с своеобразными климатическими условиями. Это центр зарождения одного из 3-х подвидов саранчи, которая затем летит в огромном количестве через всю Африку и достигает Туркестана. Вечером вместе пообедали опять на Oxford Street и договорились о походе в музей на 4-е октября. Оказалось, что 4/X-это воскресенье и все музеи с утра закрыты. Поэтому Владимир Иванович поехал к своему знакомому профессору минералогии, а Александр Павлович отправился на берег Темзы, а потом в Вестминстер Абби. Встретившись днём и пообедав, идут в Зоологический и Геологический музеи. Владимир Иванович, наконец получил билет в Зоо, как член Зоологического общества. Решили сначала идти в Гео, где Александр Павлович уже был и теперь является гидом. Сначала смотрят региональную геологию, а затем идут в минералогический отдел. Александр Павлович находит Владимиру Ивановичу трубки с оловом с Мальты, Борнео и др. Очень своеобразные образования 100-700 метров (1000 футов). Действительно трубки большого поперечного сечения. Правильной формы в граните, известняке с большим содержанием олова. В Зоо едут на такси, так как задержались в Геологическом музее. В аквариум опоздали. Смотрят рептилий и птиц. Ужинают вместе и Александр Павлович отправляется собираться к отъезду на остров Мэн*. Купил билет на поезд до Ливерпуля, куда приехал рано утром, имея несколько часов, чтобы познакомиться с городом. В 10 часов на пристани. Там же появляются сначала проф. Даниэль и чуть позже – доктор Брюс (старший химик) с велосипедом. Всю дорогу в течение 4 часов 30 минут обмен мнениями о работе. У них работа ведется в 3-х главных направлениях: выясняются условия развития устриц, биология рыб и химия – Ph, N, температура и солёность по отношению к водорослям. За час до приезда в Дуглас на горизонте среди дымки лёгких облаков появляются слабые очертания острова. Но когда подошли близко, он внезапно появился, заняв половину горизонта. Высокий берег, не ровный. Дуглас – широкая, но неглубокая гавань. Брюс на станцию едет на велосипеде, а Александр Павлович вместе с проф. Даниэлем – на автобусе. Станция в 2 этажа. Имеет бассейн для разведения личинок, рачков, устриц. На нижнем этаже – аквариум. Здесь рыбы, раки, моллюски и т. д. В соседней комнате аквариум для работ. Показывают музей, но там в основном представлены орудия лова. На станции нет электричества, но есть газ. Химическая комната – это обычная практикантская. Отдельная комната для занятий. Здесь бывают сотрудники из разных университетов Англии. Библиотека имеет главные издания по океанографии. После осмотра – обстоятельный разговор втроем о химическом составе организмов и морской воды. Интерес у них большой. Обмениваются оттисками. Вечером Александр Павлович с проф. Даниэлем идут в гости, где продолжается обсуждение проблем. На следующее утро проф. Даниэль провожает Александра Павловича на поезд. Обещают писать друг

* Остров Мэн находится в Ирландском море примерно на одинаковом расстоянии от Англии, Уэльса, Шотландии и Ирландии. Это самое красивое и живописное место в Британии.

другу. В Лондоне Александра Павловича встречает Владимир Иванович. Идут есть. Александр Павлович рассказывает о станции, о работе, о замечательном острове Мэн и его жителях.

Литература

1. АРАН.Ф. 518. Оп. 5. Д. 23. Л. 4–9.
2. АРАН. Ф. 566. Оп. 1. Д. 16. Л. 26.
3. Виноградова Л. Д. «Я не мог пройти мимо науки» (О жизни и деятельности академика А. П. Виноградова). М.: Наука, 2007. С. 68.
4. Переписка В. И. Вернадского А. П. Виноградова / Отв. ред. А. А. Ярошевский. Сост. и автор комментариев Л. Д. Виноградова. – М.: Наука, 1995. – С.102.
5. АРАН. Ф. 2. Оп.1. Д. 32. Л. 40.
6. Академия наук в решениях Политбюро ЦК РКПб–ВКПб. 1922–1991.1922–1952 / Сост. В. Д. Исаков. – М.: РОСПЕН, 2000. – С. 238.
7. Там же. С. 237.

ACCORDING TO THE PAGES ACADEMICIAN A. P. VINOGRADOV'S DIARY OF 1936 YEAR

L. D. Vinogradova

In the article, which based on the archival material, author tells us about the first foreign scientific mission of Academician A.P. Vinogradov, its organization and results.

Keywords: Academician A. P. Vinogradov's diary, Academician V. I. Vernadsky, Biogeochemical laboratory, biogeochemical researches

БИОЦЕНТРИЗМ И АНТРОПОЦЕНТРИЗМ В ФИЛОСОФСКОМ НАСЛЕДИИ В. И. ВЕРНАДСКОГО И Л. Н. ТОЛСТОГО

М. В. Капитальчук

*Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко,
г. Тирасполь, Республика Молдова
e-mail: kapitalim@mail.ru*

Познать научную истину нельзя
логикой, можно лишь жизнью
В. И. Вернадский

Прямые выводы разума ошибочны,
нелепые выводы опыта – без-
ошибочны
Л. Н. Толстой

Проведен анализ биоцентристских и антропоцентристских воззрений в философском наследии В. И. Вернадского и Л. Н. Толстого. Установлено, что в их мировоззрении присутствуют не только оба эти аспекта, но и выходящие за их рамки элементы, которые можно отнести к природо-, космо-, тео-, геоцентризму. Показано, что биогео-

химия является неотъемлемой основой разных направлений «биосферологии» (или «ноосферологии»).

Ключевые слова: В. И. Вернадский, Л. Н. Толстой, мировоззрение, биоцентризм, антропоцентризм, биосфера, ноосфера, биогеохимия.

В связи с нарастающими темпами глобальных экологических проблем, сегодня в научной и учебной литературе все более часто употребляется термин «биоцентризм», который противопоставляется «антропоцентризму». Биоцентризм понимается как научный подход, ставящий превыше всего интересы живой природы, а антропоцентризм – это воззрение, согласно которому человек есть центр и высшая цель мироздания. Биоцентристы обвиняют антропоцентризм в глобальных экологических проблемах и призывают отказаться от данного вида мировоззрения [5, 29] во имя спасения человечества. В литературе можно встретить точку зрения, что теоцентризм по своей сути также является антропоцентристским. Однако, антропоцентризм и теоцентризм – это не одно и то же [10].

Л. Н. Толстой – всемирно известный писатель, а В. И. Вернадский всемирно известный ученый-естествоиспытатель, два величайших мыслителя и гуманиста конца XIX начала XX вв., которые были хорошо знакомы, много рассуждали, и как указывает исследователь деятельности В. И. Вернадского И. И. Мочалов: «Толстой для Вернадского являл собою прекрасный пример творчески преобразующей роли сознательного начала в человеческой истории, т.е. оказался воплощением того, что для Вернадского субъективно было самым дорогим, что составляло фундамент мировоззрения, а в последние годы жизни ученого воплотилось в созданном им учении о ноосфере» [17, с. 203–204]. Биоцентристы ссылаются на Л. Н. Толстого [29], а учение о ноосфере В. И. Вернадского воспринимается антропоцентрично.

Мы попытались выявить элементы антропоцентризма и биоцентризма и определить их соотношение в философском наследии В. И. Вернадского и Л. Н. Толстого, а также уточнить роль биогеохимии в ноосферологии.

В общепринятом понимании мировоззрение подразделяют на мифологическое, религиозное и философское. В современной литературе экологической направленности обсуждаются мировоззрения, которые определяют место человека в природе (в прошлом и настоящем): природоцентризм, космоцентризм, теоцентризм, антропоцентризм, наукоцентризм, техникоцентризм, биосфероцентризм, экоцентризм, биоцентризм, эко-биоцентризм, витацентризм, натуроцентризм.

Во времена В. И. Вернадского и Л. Н. Толстого, термины биоцентризм, антропоцентризм, теоцентризм, космоцентризм и др. не использовались в интерпретации философских воззрений, хотя содержание рассматриваемых понятий всегда были в центре внимания исследователей естественных и гуманитарных наук. Стоит отметить, что субъективное отношение человека к живому – это не простая с психологической точки зрения сфера взаимодействия, на что влияют взгляды, связанные с общим уровнем развития науки в целом и биологических знаний в частности, а также уровнем воспитания.

Человек, по мысли Л. Н. Толстого, включает в себе часть «Целого», под которым писатель понимает мир в широком смысле слова [14]. Мир, «Целое», природа – синонимы в его восприятии. Но, одновременно, по мнению Льва Николаевича, конечная цель развития природы – человек [15]. Эта позиция соответствует антропному принципу, который уже вошел в систему высшего образования как новый теоретический подход, согласно которому возникновение человечества является конечной целью Вселенной, иначе ее просто некому было бы познавать [18, с. 428]. Исходя из вышесказанного, мы можем Л. Н. Толстого считать антропоцентристом.

Против антропоцентризма выступают сторонники биоцентризма, считая пагубным явлением верховенство человека на планете, который наделен исключительными правами [5, с. 251–252; 21, с. 105]. Выраженными биоцентристскими взглядами отличаются защитники животных [29], которые призывают отказаться от использования животных в научных целях и употребления в пищу животных и продуктов животного происхождения.

Как известно, Л. Н. Толстой был вегетарианцем и призывал отказаться от мясоедения. Многие зоозащитники-биоцентристы, как правило, ссылаются на ряд выдающихся личностей, в том числе и на Л. Н. Толстого, в которых явно высказывается мысль о том, что отношение к людям напрямую зависит от их отношения к животным. Приведем несколько обычно цитируемых выражений гуманиста: «От убийства животного до убийства человека – один шаг», «Как можно надеяться, что на земле воцарится мир и процветание, если наши тела являются живыми могилами, в которых погребены убитые животные?», «Убивая животных ради пропитания, человек подавляет в себе высшие духовные чувства – сострадание и жалость к другим живым существам, подобным ему, – и, переступая через себя, ожесточает свое сердце» и т. д. [30].

Но с другой стороны, мы знаем Льва Николаевича как религиозного мыслителя, а значит, он был теоцентристом. Известная цитата Л. Н. Толстого: «Не убий относится не к одному убийству человека, но и к убийству всего живого. И эта заповедь была записана в сердце человека, прежде чем она была услышана на Синае», говорит о двух центризмах одновременно: тео и био.

В экологической психологии, которая большое внимание уделяет изучению субъективного отношения к природе, Л. Н. Толстого отнесли к поступочному субъективно-непрагматическому типу личности, которому свойственно субъективное восприятие природы, регулирующееся высокими этическими нормами [24, с. 151].

Таким образом, мы можем заключить, что в философском наследии Л. Н. Толстого наблюдается антропо-, тео-, и биоцентризм, но последнее более за ним закрепились в сознании современных биоцентристских течений, поскольку, определяющую роль в этом сыграли пищевые ограничения Л. Н. Толстого и его трепетное и благоговейное отношение к животным.

О мировоззрении В. И. Вернадского мы можем судить в первую очередь исходя из его учения о ноосфере. Однако сам В. И. Вернадский не дал однозначное формальное определение термину «ноосфера», что явилось причиной совершенно различных трактовок и интерпретаций данного понятия. Так, например, Г. Н. Саенко отмечает: «Философскую концепцию о Ноосфере нельзя понять без знания единства Человека и Вселенной, без знания истории религии... В. И. Вернадский был идеалистом, он считал, что в основе мира лежит Божественное начало...» [23, с. 69–70]. Но сам В. И. Вернадский, когда ему предложили опубликовать статью «О научном мировоззрении» в сборнике «Проблемы идеализма» заявил, что он не идеалист, а реалист и отказался от печати в предложенном сборнике [2, с. 11].

Можно ли сказать, что Владимир Иванович хоть отчасти был теоцентристом? На этот вопрос хорошо ответил И. И. Мочалов: «Вопрос об отношении В. И. Вернадского к религии составляет трудность не столько логического или теоретико-познавательного, сколько психологического порядка» [16]. Но, В. И. Вернадский является ярким представителем, так называемого, русского космизма, т. е. космоцентристом его вполне можно было бы назвать. Назначение человека в философии космизма – быть разумом и волей в единстве человека и природы в космическом измерении человеческого бытия [4, с. 179].

Космизм развивался русскими религиозными философами, а приобрел естественнаучное обоснование в работах русских естествоиспытателей. Не случайно космизм

получил развитие именно в России и в советский атеистический период развития страны, его так и называют «русский космизм». Одна из духовных потребностей человека – потребность в вере [10, с. 99], если нельзя и не принято (даже опасно) в обществе верить в Бога, то всегда можно найти альтернативу: Космос, Вселенную, Мировую гармонию, Информационные поля, Сталина, Ленина, светлый коммунизм и др. В связи с чем, хотелось бы привести слова еще одного яркого космоцентриста К. Э. Циолковского: «...все порождено Вселенной. Она – начало всех вещей, от нее все зависит. ...Мы предполагаем, а Вселенная распоряжается, как хочет... Если нам и удастся исполнить свою волю, то только потому, что нам позволила Вселенная» [4, с. 179]. Из слов Константина Эдуардовича, несложно заметить, что космоцентризм имеет сходство с теоцентризмом, с той лишь разницей, что в космоцентризме, нет имени Бога, нет заповедей и каких бы то ни было предписаний. «Я считаю себя глубоко религиозным человеком – писал Вернадский. – А между тем для меня не нужна церковь и не нужна молитва» [16]. И одновременно есть такие записи: «На днях закончил чтение книжки о Рамакришне, которая мне дала так много, как давно ни одна книга...» [22, с. 36]. Из писем В. И. Вернадского к религиозному философу (священнику православной церкви) П. А. Флоренскому, видно как перекликались представления Вернадского – о ноосфере и Флоренского – о пневматосфере (сфера человеческого духа) [1, с. 17]. Г. Н. Саенко анализируя научные взгляды В. И. Вернадского, заключает: «Таким образом, В.И. Вернадский пришел к пониманию необходимости и неизбежности слияния в один мощный поток исканий науки, религии и философии» [23, с. 64].

Учение о ноосфере Вернадского с одной стороны явно антропоцентрично, поскольку разумно может управлять единственный вид на Земле – *Homo Sapiens*, даже если он совершает ошибки, он имеет возможность их осознать и исправиться, изменить осознанно вектор развития, и только Человек может быть ответственным за прошлое, настоящее и будущее, никакой другой биологический вид на земле не может заменить человека. С другой стороны учение о ноосфере Вернадского природоцентрично (натуцентризм), можно было сказать **геобио**центрично, поскольку в центре и живое вещество и косное. Именно поэтому В. И. Вернадский считает, что наукой о биосфере является **биогеохимия**, с чем не могут полностью согласиться ряд исследователей, выделяющих особую науку о биосфере – «биосферологию» [3, 27]. Б. С. Соколов предложил классификацию направлений биосферологии как метанауки, которая включает геобиологическое и биогеохимическое, геомеридное, ноосферное и эволюционное направления [27, с. 147]. Биогеохимия в данной классификации занимает довольно скромное место в геобиологическом направлении, что по нашему мнению совершенно не верно. Какие бы научные направления не включала биосферология, всегда в центре будут химические элементы, из которых состоит все живое и не живое, которые вечны, которые всегда в движении, они всегда живут и несут информацию. К тому же, в дальнейшем, очевидно, термин «биосферология» будет все чаще заменяться термином «ноосферология». Единство живого и неживого состоит именно в химическом плане, на что и обращает внимание В. И. Вернадский, являющийся основоположником биогеохимии. Биогеохимия является основой для всех направлений в биосферологии.

Практически у всех элементов проявление токсичности, особенно металлов неразрывно связаны с нарушением деятельности нервной системы [26]. Появился даже термин – «металлизация» окружающей среды. На V Съезде Российского общества медицинской элементологии (2018 г.) большое внимание было уделено влиянию металлов на нервную систему, поведение, проанализирована связь с различными заболеваниями нервной системы, а также представлены новые монографии зарубежных исследователей, посвященные нейротоксикологии металлов [32]. Также было обращено внимание на связь социальной активности с питанием [25, с. 49].

Негативное влияние на нервную систему оказывает не только избыток, но и недостаток элементов, а также дисбаланс элементов, с чем связывают ряд заболеваний нервной системы, а также, низкий интеллектуальный уровень. В XXI веке исследователям еще предстоит изучение влияния металлов на процесс «цефализации» (по Дана) в «психологической эре» (по Ле-Конту), на которых ссылался В. И. Вернадский [2, с. 239].

В эволюционном плане стоит отметить, что согласно исследованиям Н. И. Вавилова, центрами видообразования растений были территории многих горных стран, где часто к поверхности подходят рудные тела и встречаются обширные ореолы рассеяния металлов.

Таким образом, мы видим, что биогеохимический аспект является неотъемлемым элементом не только геобиологического направления, но и для ноосферного, эволюционного и других, которые могли бы иметь место в «биосферологии» (или «ноосферологии»). Как был прав В. И. Вернадский, который предвосхитил свое время: «...я принял как основу биосферы биогеохимические явления» [2, с. 235].

Биогеохимия может также занять свое достойное место и в биогеохимической социобиологии (биогеоэкологии) [11, 13]. Возможно, совсем скоро кроме психологических, социологических, демографических, экономических др. теорий возникновения войн, появятся биогеохимические [12], связанные, в первую очередь, с антропогенным изменением окружающей среды. «Своей жизнью человек создает в биосфере новую биогенную силу» – говорил В. И. Вернадский [2, с.27]. К ней можно отнести «металлизацию» окружающей среды. В. Л. Сусликов предупреждал об опасности неконтролируемой коммерциализации, связанной с распространением и употреблением биологически активных добавок [28, с. 28], которые могут привести к отрицательным последствиям не только для человека [7], но и для экосистем, изменяя круговорот вещества в биосфере. Исследователями выявлена взаимосвязь элементного статуса не только с уровнем интеллекта, психофизиологическими особенностями личности, но и со степенью тяжести преступлений [20]. Как мы понимаем, ученым еще предстоит выяснить связь разумного поведения (ноосферного поведения) с содержанием и соотношением химических элементов. «XX век есть век научного атомизма», – говорил Вернадский [2, с. 235], сейчас мы можем добавить, XXI век тоже.

С одной стороны природа влияет на человека и является «строителем» всего живого в химическом плане (содержания и соотношения элементов). С другой стороны, человек изменяет окружающую среду, не только уничтожая редкие и исчезающие виды растений и животных, но и создавая для них неблагоприятные химические условия существования, которые являются лимитирующим фактором и для жизнедеятельности человека. Известно, что загрязнение окружающей среды влияет и на репродуктивные показатели в природных популяциях [19, с. 277]. Но, что более опасно и не предсказуемо влияние тяжелых металлов на поведение и психику человека. Поэтому сохранять надо не только все живое (био), но и неживое (косное, гео) в надлежащем химическом природном равновесии.

Исходя из вышеописанных рассуждений, на сегодняшний день мы можем отметить, что в философском наследии В. И. Вернадского присутствуют элементы следующих «центризмов»: природо-, космо-, тео-, антропо-, био-, геоцентризма.

В связи с этим заслуживают внимания результаты проведенного нами опроса студентов Приднестровского университета, которые на вопрос «Какой вид мировоззрения спасет человечество?» ответили следующим образом: «биоцентризм» – 13 %, «антропоцентризм» – 16 %, «теоцентризм» – 27 %, а 52 % из числа опрошенных заявляли, что неверно говорить об одном центризме и выбрали био-антропоцентризм, тео-биоцентризм, био-тео-антропоцентризм одновременно, это явление мы назвали полицентризмом.

Доминирующее мировоззрение, связанное с определением места и роли Человека в природе непосредственно влияет на ход решения проблемных практических вопросов [9]. История естествознания показала, как опасно занимать крайние позиции по отношению к какому-либо явлению или субъекту [6, 8]. Биоцентризм и антропоцентризм сегодня рассматриваются как противоположные и несовместимые мировоззрения. В 2016 году нами было предположено, что «возможно, совсем скоро будет вскрыто их диалектическое единство и появится новый подход, не принижающий ценность Человека и одновременно ставящий приоритеты на сохранении всего живого и этического отношения к животным» [9, с. 90]. В этом же году появляется публикация молдавского философа Т. Н. Цырдя «Нооцентризм – методологический уровень этики эпохи становления разума» [31].

Стоит отметить, что сам В. И. Вернадский в своей первой философской работе «О научном мировоззрении», отмечал, что «...само научное мировоззрение не есть что-нибудь законченное, ясное, готовое; оно достигалось человеком постепенно, долгим и трудным путем. В разные исторические эпохи оно было различно» [2, с. 196–197]. Теперь мы понимаем, что научное мировоззрение, так же как и методологические установки эволюционирует [6].

Уделяя большое внимание вопросам биогеохимии, завершим рассматриваемую тему словами самого В. И. Вернадского «Можно смотреть поэтому на наше будущее уверенно. Оно в наших руках. Мы его не выпустим» [2, с. 242].

Литература

1. Берестовская Д. С. В. И. Вернадский и П. А. Флоренский – судьбы русских мыслителей // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. Сер. «Философия. Культурология. Политология. Социология». – Т. 24(65). – 2013. – № 3. – С. 17–30.
2. Вернадский В. И. Научная мысль как планетарное явление / Отв. ред. А. Л. Яншин. – М.: Наука, 1991.
3. Гегамян, Г. В. О биосферологии В. И. Вернадского // Журн. общ. биологии. – 1980. – Т. 41. – № 4. – С. 581–595.
4. Глазачев С. Н., Игнатов С. Б., Игнатова В. А., Марченко А. А. Экологическая культурология. Педагогическая адаптация. – М.: РИО МГГУ им. М. А. Шолохова, 2008.
5. Гусев М. В. Биоцентризм как базис биоэтики и биологическое образование. Миссия России // Терминологический словарь (тезариус). Гуманитарная биология; Под ред. А. В. Олескина. – М.: Изд-во МГУ, 2009. – С. 251–262.
6. История и методология биологии: Учеб.-метод. пособие / Сост. М. В. Капитальчук. – Тирасполь, 2014.
7. Капитальчук М. В. Биогеохимический аспект экологического состояния региона // Гео-экологические и биоэкологические проблемы Северного Причерноморья: Материалы V Межд. науч.-прак. конф. – Тирасполь: Изд-во ПГУ, 2014. – С.120–122.
8. Капитальчук М. В. Биополитика и биоэтика: Учеб. пособие. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2015.
9. Капитальчук М. В. О проблеме взаимосвязи мировоззрения и отношения человека к животным // Strategia supraviețuirii din perspectiva bioeticii, filosofiei și medicinei // Culegere de articole științifice. Vol. 22 / Red. resp. T.N. Țirdea (Отв. ред. Т. Н. Цырдя). – Chișinău: CEP “Medicina”, 2016. – P.87–90.
10. Капитальчук М. В. Экологическая этика: Учеб. пособие. – Тирасполь: Изд-во Приднестр. ун-та, 2016.
11. Капитальчук М. В. Биогеохимическая социобиология – миф или реальность? Современные проблемы состояния и эволюции таксонов биосферы. – М.: ГЕОХИ РАН, 2017. – С. 144–149.
12. Капитальчук М. В. Возможное влияние загрязнения окружающей среды металлами на человека в бассейне реки Днестр // Интегрированное управление трансграничным бассейном

Днестра: платформа для сотрудничества и современные вызовы. Материалы Межд. конф. – Тирасполь: Изд-во «Elan Poligraf», 2017. – С. 155–160.

13. Капитальчук М. В. Особенности степи в аспекте биогеохимической социобиологии // Степи Северной Евразии: Материалы VIII междунар. симпозиума; Под науч. ред. акад. РАН А. А. Чибилева. – Оренбург: ИС УрО РАН, РАН, 2018. – С. 450–453.

14. Легонькова В. Б. Человек и природа в романе Л. Н. Толстого «Война и мир»: Дис. ... канд. филос. наук. – Магнитогорск: МГПИ, 2001.

15. Маковицкий Д. П. Последние дни Л. Н. Толстого. Из яснополянских записок // Новый мир. – 1978. – № 8. – С. 156–185.

16. Мочалов И. И. В. И. Вернадский и религия // Из Архива В.И. Вернадского. Режим доступа: <http://vernadsky.lib.ru/e-texts/archive/Mochalov02.html>

17. Мочалов И. И. Л. Н. Толстой и В. И. Вернадский // Русская литература. – 1979. – № 3. – С. 193–204.

18. Найдыш В. М. Концепции современного естествознания. – М.: Гардарики, 2002.

19. Никонов В. В., Лукина Н. В., Безель В. С. и др. Рассеянные элементы в бореальных лесах. – М.: Наука, 2004.

20. Нотов О. С. Влияние питания и элементного статуса на психофизиологические показатели в экстремальных условиях жизнедеятельности: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. – СПб, 2010.

21. Олескин А. В. Биополитика // Терминологический словарь (тезариус). Гуманитарная биология; Под ред. А. В. Олескина. – М.: Изд-во МГУ, 2009. – С. 86–205.

22. Росов В. А. В. И. Вернадский и русские востоковеды. Мысли – Источники – Письма. СПб.: Сердце, 1993.

23. Саенко Г. Н. Владимир Иванович Вернадский: Ученый и мыслитель. – М.: Наука. 2002.

24. Ситаров В. А., Пустовойтов В. В. Социальная экология: Учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений. – М.: Изд. центр «Академия», 2000.

25. Скальный А. В. Цинк и здоровье человека. – Оренбург: РИК ГОУ ОГУ, 2003.

26. Скальный А. В., Рудаков И. А. Биоэлементы в медицине. – М.: Изд. дом «ОНИКС 21 век»: Мир, 2004.

27. Соколов Б. С. Некоторые размышления о биосфере, концепции геомериды и ноосфере. Глобальные экологические проблемы России / Отв. ред. Ф. Т. Яншина; Ин-т геохимии и аналит. химии им. В. И. Вернадского РАН. – М.: Наука, 2008. – С. 136–149.

28. Сусликов В. Л. Геохимическая экология болезней: В 4 т. – Т. 3: Атомовитозы. – М.: Гелиос АРВ, 2002.

29. Центр защиты прав животных «Вита». Режим доступа: <http://www.vita.org.ru/>

30. Цитаты великих о веганстве, вегетарианстве и правах животных. Центр защиты прав животных «Вита». Режим доступа: <http://www.vita.org.ru/veg/quotes.htm>

31. Цырдя Т. Н. Нооцентризм – методологический уровень этики эпохи становления разума: системно-дискурсивный анализ // Сахаровские чтения 2016 года: экологические проблемы XXI века: Материалы 16-й междунар. науч. конф.; Под ред. С. А. Маскевича, С. С. Позняка, Н. А. Лысухо. – Минск: МГЭИ им. А. Д. Сахарова; БГУ, 2016. – С. 331–332.

32. Aschner M., Costa L.G. Neurotoxicity of Metals. – N. Y.: Springer, 2017.

BIOCENTRISM AND ANTHROPOCENTRISM IN THE PHILOSOPHICAL HERITAGE OF V. I. VERNADSKY AND L. N. TOLSTOY

M. V. Kapitalchuk

The analysis of biocentric and anthropocentric views in the philosophical heritage of V. I. Vernadsky and L. N. Tolstoy. It has been established that in their worldview there are not only both these aspects, but also elements that go beyond them, which can be attributed to nature, cosmo, theo and geocentrism. It is shown that biogeochemistry is an integral basis of different directions of "biospherology" (or "noospherology").

Keywords: V. I. Vernadsky, L. N. Tolstoy, worldview, biocentrism, anthropocentrism, biosphere, noosphere, biogeochemistry.

О РОЛИ БИОТЫ И БИОГЕННОГО ВЕЩЕСТВА В БИОСФЕРЕ. ЧЕТВЕРТЫЙ БИОГЕОХИМИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП

С. А. Остроумов

*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
г. Москва, Россия*

В. И. Вернадский сформулировал три биогеохимических принципа. Эти принципы были изложены, например, в его книге «Химическое строение биосферы Земли и ее окружающей среды» (1-й биогеохимический принцип – параграф 195 этой книги, Второй биогеохимический принцип – параграф 198 и третий биогеохимический принцип-параграф 208). В дополнение к этим основополагающим принципам автор настоящего краткого сообщения делает попытку сформулировать дополнительный четвертый (4-й) принцип, который согласуется с идеями В. И. Вернадского о важной роли организмов в изменении химических параметров биосферы. Новый принцип подчеркивает дополнительные аспекты жизненно важной роли живых организмов в формировании более заметной геохимической среды. Четвертый принцип подчеркивает регулируемую роль организмов в абиогенной миграции химических элементов в биосфере.

Ключевые слова: биосфера, геохимия, биогеохимия, миграция, химические элементы, В. И. Вернадский, роль организмов, биота, экология, регулирование, иммобилизация, виды веществ;

Введение

В. И. Вернадский (1863–1945), изучая закономерности функционирования биосферы, сформулировал три биогеохимических принципа [1]. Эти принципы были изложены, например в книге «Химическое строение биосферы Земли и ее окружения» (1-й биогеохимический принцип – раздел (пункт в тексте книги) 195; второй биогеохимический принцип – раздел 198; третий принцип – раздел 208) [1].

Первые два принципа были посвящены биогенной миграции элементов, третий принцип был посвящен констатации максимально возможного заселения планеты для всего существующего в данный момент живого вещества.

Учитывая нарастание объема новых научных данных в области геохимии, биогеохимии и смежных наук, возникает необходимость продолжения усилий по анализу и обобщению новой научной информации, что ведет к целесообразности попыток сформулировать дополнения к системе биогеохимических принципов. Настало время в дополнение к этим трем вышеупомянутым принципам, с учетом работ [2–9], сформулировать и ввести в рассмотрение еще один принцип. Были получены новые экспериментальные данные о химико-биотических взаимодействиях в биосфере, в том числе большой объем новых фактов об иммобилизации химических элементов с участием биомассы и мортмассы [2–9].

О 4-м биогеохимическом принципе

Необходимо отметить, что новые факты о способности мортмассы иммобилизовать токсичные химические элементы имеют существенное значение и вносят принципиально дополнение в наше понимание воздействия биоты на масштаб и особенности таких абиогенных процессов, как сорбция и снижение подвижности атомов химических элементов. Вопрос о степени подвижности атомов химических элементов всегда был среди центральных вопросов в публикациях В. И. Вернадского о биосфере. Это застав-

ляет еще раз, с дополнительным вниманием, анализировать новые данные, что было сделано, например, в работе [10] и привело к следующему теоретическому выводу.

Принцип 4. В биосфере имеет место не только биогенная миграция элементов, но и биологическая регуляция абиогенной миграции элементов [10].

Это теоретическое обобщение может быть прокомментировано следующим образом. Это обобщение подчеркивает еще один аспект существенного, могущественного влияния живых организмов на геохимическую среду, причем в опосредованном виде. Выявляется существование нескольких типов этого влияния – прямое влияние, через осуществление биогенной миграции и опосредованное, через регуляцию абиогенной миграции.

Данное обобщение возникло в результате анализа новых экспериментов автора, которые дали дополнительные примеры сорбции химических элементов на мортмассе биологического происхождения, что ведет к иммобилизации сорбируемых атомов химических элементов, к снижению степени их подвижности в геохимической среде, к снижению их биодоступности и уменьшению проявляемой ими токсичности для организмов, находящихся в этой среде (например, в водной среде обитания).

Новые факты дополнительно подтверждают важность биологических факторов для физико-химических процессов удаления этих химических элементов из водной среды. Эти факты дают новые примеры того, как биологические факторы модифицируют и регулируют абиогенную миграцию химических элементов.

В научной литературе опубликованы положительные отклики и оценки авторитетных ученых, которые свидетельствуют о признании научной ценности цитируемого ими четвертого принципа [11].

Продолжение этой работы автора привело к попыткам выявить и другие обобщения, характеризующие и детализирующие функциональную, общебиологическую и экологическую значимость того влияния, которую организмы (и биота в целом) оказывают на абиотические параметры геохимической среды и биосферы. Это привело к попыткам выявить еще один, пятый принцип биогеохимии.

Пятый принцип сформулирован в публикации [10]. Дополнительное изложение вопросов, обсуждаемых в данной статье, дано в предыдущих работе [10] а также [12–15].

Выводы

1. Анализ новых фактов, полученных в экспериментальной работе автора в области изучения химико-биологических взаимодействий в биосфере, дает новые свидетельства и детали, подтверждающие фундаментальные обобщения В. И. Вернадского о принципиально значительной роли организмов в формировании параметров геохимической среды.

2. В дополнение к трем принципам биогеохимии В. И. Вернадского сформулированы два новых принципа. В данной публикации изложена предлагаемая формулировка четвертого принципа биогеохимии, а также его краткое обоснование.

Литература

1. Вернадский В. И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. – М.: Наука, 1965.
2. Остроумов С. А. Новая типология вещества и роль экс-живого вещества (ЭЖВ) в биосфере // Ecological Studies, Hazards, Solutions. – 2010. – Vol. 16. – P. 62–65.
3. Остроумов С. А. Обезвреживание токсичных элементов в биосфере и совершенствование экологического мониторинга // Экология промышленного производства. – 2012. – № 1. – С. 26–33.

4. Ермаков В. В., Карпова Е. А., Корж В. Д., Остроумов С. А. Глава 3. Живое вещество и роль детрита в биогенной миграции микроэлементов// Инновационные аспекты биогеохимии. – М.: ГЕОХИ РАН, 2012. – С. 103–133.
5. Остроумов С. А. О типологии основных видов вещества в биосфере // Экологическая химия. – 2011. – Т. 20. – № 3. – С. 179–188.
6. Остроумов С. А. Токсичные элементы в биосфере, экологические вопросы детоксикации и совершенствование экологического мониторинга // Прикладная токсикология. – 2012. – № 2(8). – С. 28–41.
7. Остроумов С. А. Новые результаты экспериментальной работы по изучению химико-биотических взаимодействий и три проблемы, поставленные В. И. Вернадским // Биополитика. Открытый междунар. семинар на биологическом факультете Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Избр. сообщения. – М.: МГУ, 2012. – С. 41–44.
8. Остроумов С. А. Химико-биотические взаимодействия и новое в науке о биосфере, основанное В. И. Вернадским. – М.: МАКС-ПРЕСС, 2013.
9. Остроумов С. А. Функции живого вещества в биосфере // Вестник РАН. – 2003. – Т. 73. – № 2. – С. 164–169.
10. Остроумов С. А. Четвертый и пятый биогеохимические принципы // Ecological Studies, Hazards, Solutions. – 2013. – Т. 19. – С. 92–94.
11. Розенберг Г. С., Краснощеков Г. П. Экология «в законе» (теоретические конструкции современной экологии в цитатах и афоризмах). – Самара; Тольятти: ИЭВБ РАН; Самарск. гос. экон. ун-т; ООО «Полиграфическое объединение «Стандарт», 2016.
12. Остроумов С. А. Четвертый биогеохимический принцип // Ecological Studies, Hazards, Solutions. – 2018. – Т. 25. – С. 128–131. – <https://www.researchgate.net/publication/331714769>
13. Остроумов С. А. Преобразование и детоксикация организмами среды обитания // Современные тенденции развития биогеохимии (сер. «Труды биогеохимической лаборатории» (Тр. БИОГЕОЛ. Т. 25. Ред. В. В. Ермаков). – М.: ГЕОХИ РАН, 2016. – С. 283–293. – 2016. <https://www.researchgate.net/publication/313402678>
14. Остроумов С. А. Некоторые вопросы экологической биогеохимии детрита и охрана природы // Современные проблемы состояния и эволюции таксонов биосферы / (Ред. В. В. Ермаков). – М.: ГЕОХИ РАН, 2017. – С. 102–108. – https://www.researchgate.net/profile/Sergei_Ostroumov/publication/318378420
15. Остроумов С. А. Новые аспекты роли организмов и детрита в детоксицирующей системе биосферы // Экологическая химия. – 2017. – Т. 26. – № 6. – С. 301–311. – <https://www.researchgate.net/publication/321149781>

ON THE ROLE OF BIOTA AND BIOGENIC MATTER IN THE BIOSPHERE. THE FOURTH BIOGEOCHEMICAL PRINCIPLE

S. A. Ostroumov

V. I. Vernadsky formulated three biogeochemical principles. These principles were set out, for example in his book "The chemical structure of the biosphere of the Earth and its environment" (1st biogeochemical principle – Paragraph 195 of that his book, the second biogeochemical principle – Paragraph 198, and the third biogeochemical principle – Paragraph 208). In addition to those fundamental principles, the author of this brief communication makes an attempt to formulate an additional fourth (4th) principle which is in accord with the ideas of V.I.Vernadsky of important role of organisms in modification of chemical parameters of the biosphere. The new principle underlines additional aspects of the vital role of living organisms in conditioning the geochemical environment more visible. The fourth principle emphasizes a regulatory role of organisms in abiogenic migration of chemical elements in the biosphere.

Keywords: biosphere, geochemistry, biogeochemistry, migration of chemical elements, V. I. Vernadsky, role of organisms, biota, ecology, regulation, immobilization, types of matter.

ФИЛОСОФИЯ В. И. ВЕРНАДСКОГО И Л. Н. ТОЛСТОГО КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОЗНАНИЯ

Э. Э. Абхаирова

*Крымский федеральный университет им. В. И. Вернадского,
Медицинская академия им. С. И. Георгиевского,
г. Симферополь, Россия
e-mail: elmaz1112@gmail.com*

Рассматривается влияние идей В. И. Вернадского и Л. Н. Толстого на формирование экологического сознания у человечества. В. И. Вернадский – ученый, научные идеи которого могут служить базисом для научно-обоснованного природопользования. Философия Льва Толстого схожа с мыслями Владимира Вернадского, поэтому посредством своих произведений он пытался привить читателю любовь к природе и сформировать экологическое сознание.

Ключевые слова: экологическое сознание, В. И. Вернадский, Л. Н. Толстой, природа, окружающая среда, человек.

На сегодняшний день серьезно обострились проблемы взаимодействия человека и окружающей среды, значительно увеличилась интенсивность антропогенного прессинга на природу. В связи с этим многие государства и общественные организации прилагают значительные усилия для решения экологических проблем, основным средством для которого является формирование экологического сознания. Экологическое сознание – это способность понимать неразрывность связи человечества с природой, зависимость благополучия людей от целостности и сравнительной неизменности природной среды и использования этого понимания в практической деятельности.

В формирование экологического сознания на протяжении многих лет вносили свой вклад великие ученые и мыслители. Владимир Иванович Вернадский сыграл весомую роль в развитии экологического мышления благодаря своим трудам о биосфере и ноосфере.

Не менее важным в формировании экологического сознания у человека является вклад Льва Николаевича Толстого. Лев Толстой – величайший писатель-романист, который мастерски описывал и любил природу, а также призывал любить ее и заботиться о ней всех остальных.

Исследования В. И. Вернадского стали основополагающими в формировании осознания роли жизни и живого вещества в геологических процессах. По словам В. И. Вернадского, на земной поверхности нет постоянно действующей химической силы, а потому более могущественной по своим конечным последствиям, чем живые организмы, взятые в целом [1]. Атмосфера, ландшафты, общий вид нашей планеты – это результат жизнедеятельности живых организмов. Деятельность человечества в представлении В. И. Вернадского – это стихийный природный процесс, поэтому ученый отводил человеку особую роль в становлении облика Земли.

Владимир Иванович первым представил биосферу как единую динамическую систему, которая населена и управляется живым веществом. Именно Вернадским было установлено, что взаимодействие косного и живого веществ – это явление, благодаря которому происходят разнообразные геохимические процессы, осуществляется миграция атомов и их участие в геологических и биологических циклах. Ученый говорил, что с одной стороны, биосферу можно рассматривать как среду жизни, а с другой – как результат жизнедеятельности [2]. В последующих своих трудах В. И. Вернадский полагал, что биосфера постепенно преобразовывается в ноосферу. Ноосфера – это новое со-

стояние биосферы, связанное с разумной деятельностью человека. Как считал ученый, с развитием цивилизации встает вопрос о перестройке биосферы в интересах свободно мыслящего человечества как единого целого. Процесс ноосферогенеза, или «созидания сферы разума», должен способствовать гармонизации отношений в системе «человек–общество–природа».

На сегодняшний день считается, что для оптимального становления ноосферы как планетарного процесса необходимо сохранение биосферы и обеспечение ее максимально возможной естественной эволюции. Именно биосфера является фундаментом существования жизни на нашей планете и дальнейшего развития разума при условии создания человеком механизмов существенного снижения антропогенного влияния и уменьшения давления на природную среду [1].

Глобальный экологический кризис поставил человечество перед выбором дальнейшего пути развития. На данный момент существует два варианта развития ситуации: человек, как и прежде, ориентирован на непрекращающийся рост производства или этот рост согласовывается с реальными возможностями окружающей среды и человеческого организма. Для решения сложившихся проблем человечество должно перейти от одностороннего пользования ресурсами среды к тактике поддержания и сохранения природы и считать эти задачи приоритетными в собственной деятельности.

Таким образом, формирование у человека понимания и осознания неразрывности связи человеческой жизни и природных процессов как ее основы на сегодняшний день является одной из важнейших задач науки. В. И. Вернадский говорил, что человек должен понять, что он не случайное, независимое от окружающего, свободно действующее природное явление, а неизбежное проявление большого природного процесса, который закономерно длится в течение, по крайней мере, двух миллиардов лет. Синтетический подход к пониманию процессов развития природы, человека, общества, культуры привел Владимира Ивановича к пониманию необходимости сохранения окружающей среды как основы существования человека. Люди должны разумно подходить к использованию ресурсов природы и понимать, что они способны к сознательному направлению организованности ноосферы [2].

Лев Николаевич Толстой был писателем, умевшим обратить внимание на красоту природы, ее важность и ценность. В своих произведениях он не просто описывает природу – она живет на страницах его книг. Иногда природа – это даже действующее лицо повествования, как это можно видеть в известном романе «Война и мир». В этом же романе он мастерски отобразил свое отношение к природе, к явлениям, которые происходят в ней. Чувство красоты и бережного отношения ко всему живому у писателя сформировалось с раннего детства. Он представлял себя частью природы, постоянно ощущая близость к ней, о чем не раз упоминал в своих записях. Толстой не любил все, что было испорчено цивилизацией, поэтому он наслаждался окружающей природой: реками, лесами, цветами. Писатель везде, даже в самых невыразительных природных созданиях, умел находить красоту [3].

В философско-этическом учении Льва Толстого важное место занимает проблема человека, как части природы. Лев Николаевич пытался объяснить место человека в окружающей природной среде и взаимоотношение с ней. В частности, в работе «О жизни» он писал, что человек является частью природы, а природа – частью человека.

Автор много размышлял о предназначении человека в мире и его взаимоотношениях с природой. В фундаментальном осмыслении этой проблемы Толстой уделял значительное внимание познанию законов развития живой и неживой природы, сущности жизни, ее происхождению и развитию. Для Льва Николаевича природа была целостным организмом, который постоянно движется и развивается. Ее части находятся не только во взаимосвязи, но и в диалектическом единстве. Он отмечал, что в

природе все постоянно развивается, и каждая составляющая ее способствует развитию других частей [3].

Антропологический принцип для Льва Толстого – основа воспитания человека. Принцип природосообразного воспитания личности он возвел до уровня единой основы своей педагогической системы. Он заботился о том, чтобы воспитание и обучение не подавили то очень важное, что дано ребенку от рождения, чтобы ребенок всю жизнь продолжал тянуться к природе, ценить и любить ее.

Близость к природе, увлечение садоводством, умение проникать в глубинные процессы, происходящие в ней, любовь к животным и растительному миру стали основой для формирования у Л. Н. Толстого бережного и любовного отношения к природе и стремление передать это отношение детям, а впоследствии и своим читателям. Бережное отношение к природе, любовь ко всему живому стали для Толстого корнем в понимании природы как основы духовно-нравственного воспитания человека.

Таким образом, В. И. Вернадский и Л. Н. Толстой считали, что человек и природа неразделимы. Вернадский и Толстой, каждый со своих позиций, отмечали, что человек должен понять, что нерациональное использование ресурсов природы приведет к возникновению экологических проблем, поэтому они призывали человечество к экологической сознательности и заботе об окружающей среде. Ученый и писатель независимо друг от друга и разными способами говорили об одном: о природосообразном воспитании и важности осознания биосферы как основы человеческого существования.

Литература

1. Моисеенко Т. И. В. И. Вернадский и экологические проблемы современности // Вестник ТюмГУ. Экология и природопользование. – 2013. – № 12. – С. 10–20.
2. Титаренко И. Н., Папченко Е. В. Аксиологические идеи В. И. Вернадского и их место в формировании экологического мировоззрения // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2014. – С. 233–239.
3. Шаталов А. А. Л. Н. Толстой о природе и природосообразном воспитании // Вестник Московского гос. гуманитарного ун-та им. М. А. Шолохова. – 2013. – С. 42–49.

THE PHILOSOPHY OF V. I. VERNADSKY AND L. N. TOLSTOY AS A BASIS FOR THE FORMATION OF ECOLOGICAL CONSCIOUSNESS

E. E. Abkhairova

The influence of the ideas of V.I. Vernadsky and L.N. Tolstoy on the formation of the ecological consciousness of humanity is considered. V.I. Vernadsky is a famous scientist, one of the founders of ecology as a science. He believed that nature and human are an indivisible unit and human should be aware of this. The biosphere as Vernadsky thought is the basis of human's existence, therefore rational using of environmental resources is very important. It is worth noting that the philosophy of Lev Tolstoy is similar to the thoughts of Vladimir Vernadsky, therefore, through his works he tried to inculcate in the reader a love to nature and form ecological consciousness in him as the basis of the future.

Keywords: ecological consciousness, V. Vernadsky, L. Tolstoy, nature, environment, human.

Раздел II

**БИОГЕННАЯ АККУМУЛЯЦИЯ
И ТРАНСФОРМАЦИИ
ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ
ХИМИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ**

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДРЕВНИХ И СОВРЕМЕННЫХ ПОЧВ КАК ГЕОАРХИВ ДЛЯ РЕКОНСТРУКЦИИ КЛИМАТА

Ю. А. Азаренко¹, В. Е. Приходько²

¹ Омский государственный аграрный университет
имени П. А. Столыпина, г. Омск, Россия
e-mail: azarenko.omgau@mail.ru

² ФИЦ ПНЦБИ РАН «Институт физико-химических и биологических проблем
почвоведения», г. Пушкино, Московская область, Россия
e-mail: kpve00@mail.ru

Проведенное исследование свидетельствует о сходстве ряда геохимических коэффициентов, но в основном – об их различии между подкурганными палеопочвами и фоновыми аналогами для трех изученных некрополей: раннего средневековья (Сростки-1, Предгорная зона Алтайского края) и эпохи поздней бронзы (срубный этап, Каранаево-1, Услы-2, лесостепное Предуралье). Меньшая величина индексов, характеризующих степень выветривания почв и элювирования оснований в палеопочвах сравнительно с фоном указывает на большую засушливость климата в периоды до сооружения курганов трех некрополей по сравнению с современными условиями и на возрастание его гумидизации при создании изученных курганов.

Ключевые слова: палеопочвы, геохимические индексы, палеоклимат

Элементный химический состав почв является одним из индикаторов процессов почвообразования и состояния условий окружающей среды, в том числе биогеохимической обстановки, при которых происходит процесс почвообразования. Изучение содержания химических элементов, их распределение и соотношение в профиле современных и погребенных почв позволяет реконструировать условия почвообразования и осадконакопления прошедших хроносрезов. В связи с этим геохимические методы применяют в палеогеографических и палеоэкологических исследованиях при изучении почв археологических памятников, эволюции почв и решении других вопросов [1]. Одной из приоритетных задач естественнонаучного направления является реконструкция климата прошлых эпох. В качестве литохимических индикаторов палеоклимата и условий почвообразования предложен ряд геохимических коэффициентов [2]. Целью нашей работы было использование геохимических методов исследования при комплексном изучении подкурганных разновозрастных почв и реконструкции климата.

Объекты и методы

Объектами исследований служили подкурганные и фоновые почвы археологических памятников: 1) раннесредневекового некрополя Сростки-1 (890–975 гг. н. э. ¹⁴C кал., 1σ; Бийский район Алтайского края, 85°42.876'Е, 52°24.337'N, 255 м над ур. м.) и 2) могильников срубной культуры Каранаево-1 (55°14.155' N; 53°36.130' E, высота 259 м над ур. м.) и Верхние Услы-2 (55°35.627' E, 53°43.820' N, высота 185 м над ур. м.) (3660 ± 40 (дата по дереву), 3860 ± 120 (даты по костям, ¹⁴C кал., 1σ) лет назад, Предуральская лесостепь Стерлибашевский и Стерлитамакский районы республики Башкортостан, соответственно). Памятники находились в 30 км друг от друга.

Содержание элементов почв определяли методом рентген-флуоресцентного анализа на аппарате “СПЕКТРОСКАН МАКС-GV” по методике измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах. Для количественной калибровки использовали комплект Государственных стандартных образцов почв, а также стандартных пород и почв, полученных из Института геологии университета Мехико, Мексика. Анализ выполнен в ЦКП ИФХиБПП РАН канд. биол. наук П. И. Калининым.

Рассчитывали геохимические коэффициенты, основанные на молярных отношениях: $CIA = (Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O)) \times 100$, (CaO – бескарбонатный), $Al_2O_3 / (CaO + MgO + Na_2O + K_2O)$ [8]; Rb/Sr [7]; Ba/Sr, $Fe_2O_3 + MnO / Al_2O_3$, $(CaO + MgO) / Al_2O_3$ [9], Sr/Ba (цит. по [3]); Na_2O / K_2O , $(K_2O + Na_2O) / Al_2O_3$, Na_2O / Al_2O_3 ; TiO_2 / Al_2O_3 [6]; MnO / Al_2O_3 , MnO / Fe_2O_3 , $MnO + Fe_2O_3 / Fe_2O_3$ [2]; коэффициент элювиирования $K_e = Al_2O_3 / (MnO + CaO + K_2O + MgO + Na_2O)$ (цит. по [3]); коэффициент подвижности $K_p = \sum (Na, K, Mg, Zn) / SiO_2$ [3].

Результаты и их обсуждение

Сростки-1. Близкие величины индексов TiO_2/Zr и Ti/Al в фоновом черноземе и подкурбанной почве свидетельствуют о литологической однородности почвенной толщи (табл. 1).

Таблица 1

Значение геохимических коэффициентов в слое 0-10 см почв

Геохимический показатель	Сростки-1		Каранаево-1		Верхние Услы-2	
	палеопочва	фон	палеопочва	фон	палеопочва	фон
CIA	63	66	56	66	53	57
CIW	71	76	63	77	59	65
Al/Ca+Mg+Na+K	1,01	1,13	0,26	0,57	0,33	0,50
SiO_2 / Al_2O_3	8,4	8,7	9,9	10,5	8,6	9,7
Rb/Sr	0,24	0,24	0,21	0,56	0,12	0,18
Ba/Sr	4,7	4,7	3,4	6,9	3,0	3,7
Sr/Ba	0,20	0,20	0,31	0,14	0,34	0,27
MnO/Sr	0,10	0,10	0,16	0,39	0,07	0,10
$(Fe+Mn)/Fe$	1,07	1,07	1,12	1,17	1,07	1,09
Mn/Fe	0,07	0,07	0,12	0,17	0,07	0,09
Mn/Al	0,02	0,02	0,05	0,05	0,018	0,023
Na/K	0,55	0,49	0,82	0,69	0,71	0,61
Na/Al	0,18	0,16	0,26	0,25	0,21	0,22
$(K+Na)/Al$	0,36	0,36	0,45	0,47	0,39	0,43
$(Ca+Mg)/Al$	0,63	0,53	3,43	1,29	2,63	1,56
Ti/Al	0,09	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10
Ti/Zr	0,57	0,54	0,49	0,51	0,50	0,54
CaO^* / Al_2O_3	0,22	0,15	0,50	0,05	0,49	0,33
K_e	1,7	1,9	1,0	1,5	1,2	1,3
K_p	1,7	1,6	1,7	1,9	1,8	3,0

* - CaO бескарбонатный

Геохимические индексы выветривания минералов: CIA, CIW, $Al/Ca+Mg+Na+K$ в фоновом черноземе больше по сравнению с палеопочвой, что указывает на более слабую степень выветривания минералов в подкурбанной почве и, следовательно, меньшее количество осадков в период раннего средневековья, чем в настоящее время.

Расчет геохимических коэффициентов Na/K, Na/Al объекта Сростки указывает на большую долю Na в палеопочве по сравнению с фоновым черноземом. Значения коэффициента $Ca+Mg/Al$, отражающего концентрирование кальцита в палеопочве, также были больше, чем в фоновом черноземе. Следовательно, накопление в профиле палеопочвы щелочных и щелочноземельных элементов также свидетельствует о том, что почвообразование в период раннего средневековья могло происходить в условиях более засушливого климата. В то же время величина отношения Sr/Ba – показателя гидротермических условий в палеопочве и фоновом аналоге не различались. Значение этого коэффициента характерно для почв лесостепной зоны.

Величины отношений Mn/Al , Mn/Fe , указывающих на интенсивность биологических процессов, в профилях современного чернозема и палеопочвы различались незначительно. Однако в палеопочвах объекта Сростки выявлено меньшее содержание P и S и, напротив, большее – Ca , Na и Mg , чем в фоновом черноземе, что может указывать на меньшую активность биогенно-аккумулятивных процессов и более слабую степень выноса оснований в профиле подкурганной почвы. О меньшей активности выщелачивания оснований из профиля палеопочвы свидетельствует также величина коэффициента элювиирования $K_э$.

Большая обогащенность карбонатами верхних горизонтов и меньшие величины коэффициентов выветривания в профиле палеопочвы объекта Сростки говорят о том, что почвообразование в фазу, предшествующую сооружению раннесредневековых курганов, проходило в несколько более засушливом климате по сравнению с современными условиями. Данные палинологии, способные быстрее изменяться при динамике климата, свидетельствуют о близости летней увлажненности в период строительства средневековых курганов и в настоящее время, и о возможно более холодных и сухих зимах по сравнению с современным периодом [5].

Палеопочвы **срубных некрополей Каранаево-1, Верхние Услы-2** характеризовались меньшими величинами коэффициентов выветривания (CIA , CIW , $Al/Ca + Mg + Na + K$, Rb/Sr) по сравнению с фоновыми черноземами. Величина отношения Sr/Ba косвенно указывает на формирование почв при умеренном увлажнении, сходном с условиями лесостепной зоны. Однако значение этого коэффициента в подкурганных почвах было несколько больше, чем в современном черноземе, а коэффициента Ba/Sr – напротив, больше в фоновой почве. Такие противоречивые данные могут указывать на смену условий увлажнения от засушливых к более влажным при формировании палеопочв двух объектов в период до их погребения в срубный период.

Индексы Na/Al , $K+Na/Al$, $K+Na/Al$, характеризующие поведение в почвах щелочных металлов, не имели значительных различий в изученных незасоленных почвах. Однако отношение $Ca+Mg/Al$ в палеопочвах больше, чем в фоновых аналогах. Следует отметить, что карбонаты в изученных почвах аккумулируются, начиная с поверхности, однако в верхних горизонтах палеопочв их содержание больше, за счет миграции из материала насыпи, обогащенной $CaCO_3$.

Коэффициенты элювиирования $K_э$ и подвижности $K_п$ в основном соответствовали выше установленным показателям педогенеза. Фоновые черноземы в отличие от палеопочв характеризовались большей величиной $K_э$, что указывает на более интенсивный вынос оснований из фоновых профилей. Тогда как $K_п$, диагностирующий вынос из почвы соединений Na , K , Mg , Zn , свидетельствует об обратном. Коэффициенты, характеризующие биологическую активность и условия окисления (Mn/Al , Mn/Fe , $(Fe+Mn)/Fe$) имели несколько меньшую величину в палеопочвах срубного периода по сравнению с фоновыми аналогами. Эти различия обусловлены большей биогенной концентрацией Mn в верхних слоях современных черноземов по сравнению с палеопочвами. Ранее на основе палинологического анализа подкурганных почв Каранаево-1 и Верхние Услы-2 сделан вывод о более благоприятном режиме увлажнения в период возведения курганов [4].

Заключение

Подкурганные палеопочвы трех некрополей отличались от современных аналогов большим накоплением карбонатов кальция в основном в верхних горизонтах (в результате их миграции из насыпи), меньшей величиной коэффициентов, характеризующих степень выветривания почвенного материала и элювиирования оснований. Это свидетельствует о несколько большей засушливости климата в период, предшествующий со-

оружению курганов раннего средневековья (Сростки, Предгорная зона Алтайского края) и в эпоху поздней бронзы (срубный этап, Каранаево, Услы, лесостепное Предуралье) и по сравнению с современными условиями. Большое реконструированное количество гумуса во всех палеопочвах сравнительно с фоном и величины некоторых геохимических показателей, а также данные спорово-пыльцевого анализа, способные быстрее изменяться при динамике климата, указывают на возрастание увлажнения климата в период создания исследованных курганов [4,5]. Различия величин геохимических коэффициентов обусловлены трансформациями, вызванными изменениями климатических условий, и частично процессами диагенеза в верхних горизонтах палеопочв под насыпями курганов, материал которых обогащен карбонатами и гумусом.

Работа проведена при поддержке РФФИ, грант 17-05-01151а.

Литература

1. Бикмулина Л. Р., Якимов А. С., Мосин В. С., Баженов А. И. Геохимические особенности почв и культурных слоев поселения неолита-энеолита Кочегарово-1 в лесостепной зоне Западной Сибири и их палеоэкологическая интерпретация // *Археология, этнография и антропология Евразии*. – 2017. – Т. 45. – № 2. – С. 35–44.
2. Калинин П. И., Кудреватых И. Ю., Вагапов И. М., Борисов А. В., Алексеев А. О. Биогеохимические процессы в степных ландшафтах Ергенинской возвышенности в голоцене // *Почвоведение*. – 2018. – № 5. – С. 526–537. DOI: 10.7868/S0032180X18050027
3. Лисецкий Ф. Н., Смекалова Т. Н., Маринина О. А. Биогеохимические особенности разновременных залежей в степной зоне // *Сибирский экологический журнал*. – 2016. – № 3. – С. 436–448. <http://dx.doi.org/10.15372/SEJ20160314>
4. Приходько В. Е., Рогозин Е. П., Чаплыгин М. С. Реконструкция климата, почв и растительности срубного времени на основании исследования курганов Предуральской лесостепи Республики Башкортостан // *Почвоведение*. – 2016. – № 9. – С. 1052–1067.
5. Приходько В. Е., Михаревич М. В., Азаренко Ю. А., Шаяхметов М. Р., Горбунов В. В., Тишкин А. А., Пивоварова Е. Г. Междисциплинарное исследование курганов некрополя Сростки-1 и реконструкция климата эпохи средневековья на Алтае // *Современные решения актуальных проблем Евразийской археологии: Сб. науч. статей*. – Барнаул, 2018. – С. 119–123.
6. Schilman B., Bar-Matthews M., Almogi-Labin A., Luz B. Global climate instability reflected by Eastern Mediterranean marine records during the late Holocene // *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. – 2001. – Vol. 176. – P. 157–176.
7. Gallet S., Bor-ming J., Torii M. Geochemical characterization of the Luochuan loess-paleosol sequence, China, and paleoclimatic implications // *Chemical Geology*. – 1996. – Vol. 13. – P. 67–88.
8. Nesbitt H. W., Young G. M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites // *Nature*. – 1982. – Vol. 299. – P. 1523–1534.
9. Retallack G. J. Soils and Global Change in the Carbon Cycle over Geological Time // *Treatise on Geochemistry*. – 2003. – P. 581–605.

GEOCHEMICAL PECULIARITIES OF ANCIENT AND BACKGROUND SOILS AS GEOARCHIVES FOR CLIMATE RECONSTRUCTION

Yu. A. Azarenko, V. E. Prikhodko

Similarity of some geochemical coefficients, but mostly their difference between underkurgan paleosols and background of three necropolises: the Early Medieval Ages (Srostki-1, Cis-mountain area of the Altai Kray) and late Bronze Age (Srubnay stage, Karanaevo-1, Usly-2, forest steppe Cis-Urals) are shown. A smaller value of indices

characterizing the degree of soil weathering and base eluviation in paleosoils compared with the background indicates a greater aridity of the climate during the periods before the construction of the mounds of three necropolises compared to modern conditions and the increase in its humidization during the creation of the studied mounds.

Keywords: paleosoils, geochemical coefficients, climate.

СЕЛЕНОВЫЙ СТАТУС ЧЕЧЕНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ

З. А. Амагова¹, Н. А. Голубкина², В. Х. Мацадзе¹

¹ *Чеченский научно-исследовательский институт сельского хозяйства,
пос. Гикало, Грозненский район, Чеченская республика
e-mail: Amman1999@mail.ru*

² *Федеральный научный центр овощеводства,
пос. ВНИИССОК, Московская область, Россия
e-mail: segolubkina45@gmail.com*

Мониторинг содержания селена в укосах трав, черемше, пшенице и родниковой воде Чеченской Республики впервые позволил выявить крайнюю неоднородность распределения микроэлемента в объектах окружающей среды в 11 районах республики и существование значительного дефицита/маргинальной недостаточности в 4 остальных районах (Грозненском, Наурском, Веденском, Шаройском).

Ключевые слова: мониторинг селена, Чеченская Республика, укосы, пшеница, черемша, родниковая вода

Введение

Селен является эссенциальным микроэлементом для человека, обеспечивая защиту организма от возникновения и развития кардиологических и ряда онкологических заболеваний, вирусных инфекций, нормализуя репродуктивную функцию и работу мозга. Биодоступность селена почвы для растений, антагонизм селена с тяжелыми металлами, содержание селена в используемом зерне и уровень потребления населением витаминов и белков – вот лишь некоторые факторы, влияющие на селеновый статус населения.

Особые трудности возникают в оценке селенового статуса в условиях большой вариативности биогеохимических условий исследуемой территории. Примером этому может служить Чеченская Республика, южная часть которой занимает склоны Большого Кавказа, центральная – включает плодородную Чеченскую равнину, а северная – расположена на Терско-Сунженской возвышенности и далее Терско-Кумской низменности. Республика отличается разнообразием природных зон: от полупустынь и степей на севере до лесостепей и пояса горных лесов к югу. Многолетние военные действия на территории Чеченской республики являются основной причиной загрязнения нефтепродуктами и тяжелыми металлами значительной части территории, уничтожения уникальных лесных массивов, нарушения плодородия и развитие эрозии почв.

До настоящего времени исследования селенового статуса Чеченской республики носили фрагментарный характер [1-4].

Целью настоящего исследования было осуществление оценки селенового статуса 15 районов Чеченской республики по содержанию микроэлемента в укосах трав, пшенице и черемше, а также питьевой воде.

Материалы и методы

Сбор образцов укосов трав, черемши, пшеницы и родниковой воды осуществляли в 2017–2018 гг в 15 районах Чеченской республики. Образцы трав и черемши высушивали при комнатной температуре без доступа яркого солнечного света, пшеницы – при 70 °С до постоянной массы и гомогенизировали. Все образцы полученных порошков укосов, черемши и пшеницы до начала проведения анализов хранили в герметически закрытых полиэтиленовых контейнерах. Содержание селена в растительных образцах и воде определяли флуорометрически [5]. Статистическую обработку данных выполняли с использованием компьютерной программы Microsoft Excel XP.

Результаты и их обсуждение

Среди объектов мониторинга окружающей среды по накоплению селена укосы трав представляются наиболее удобными, обеспечивающими меньшую вариабильность по сравнению с анализом почв и позволяющими осуществлять оценку биодоступности селена почв без специального фракционирования, необходимого в работе с почвами [6]. Медиана содержания селена в укосах трав 15 районов Чеченской Республики составила 50 мкг/кг с.м. при интервале наблюдаемых концентраций от 17 до 720 мкг/кг. Наибольшая вариабильность наблюдаемых значений была характерна для Гудермесского, Ножай-Юртовского, Урус-Мартановского и Сунженского районов (рис. 1а).

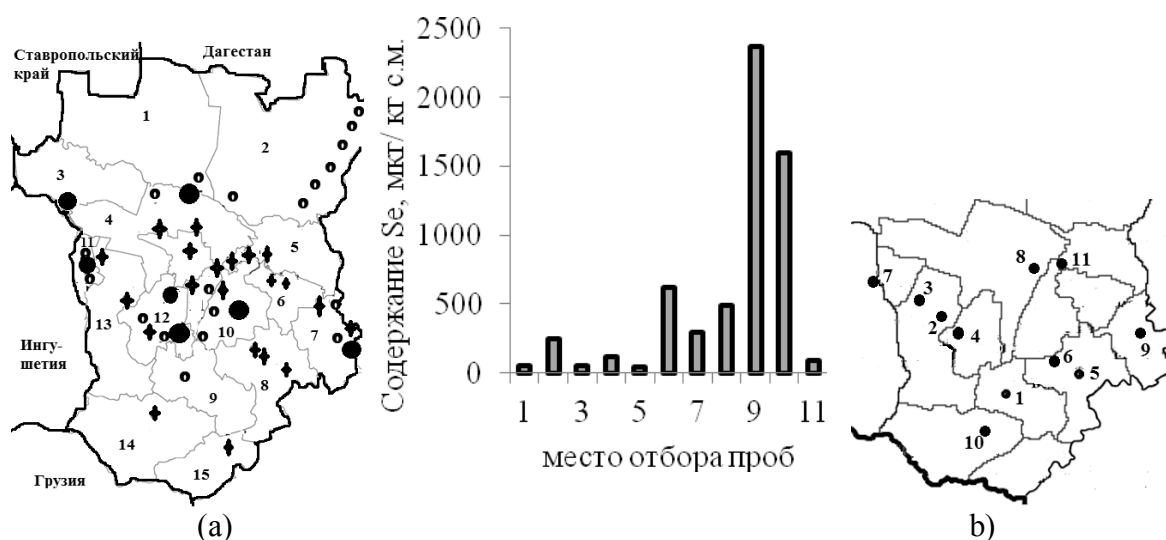


Рис. 1. (а) Содержание селена в укосах трав. Заштрихованные черные кружки – избыток селена (> 350 мкг/кг с. м.), не заштрихованные кружки – нормальный уровень (70–350 мкг/кг), крестики – низкий уровень (< 70 мкг/кг с.м.).

Районы: 1) Наурский, 2) Шелковской, 3) Надтеречный, 4) Грозненский, 5) Гудермесский, 6) Курчалоевский, 7) Ножай-Юртовский, 8) Веденский, 9) Шатойский, 10) Шалинский, 11) Сунженский 12) Урус-Мартановский, 13) Ачхой-Мартановский, 14) Итум-Калинский, 15) Шаройский.

(b) Содержание селена в проростках черемши: 1) Шатой, Шатойский район; 2) с. Янди Ачхой-Мартановский район; 3) с. Бамут Ачхой-Мартановский район; 4) с. Рошни-Чу, Урус-Мартановский район; 5) Ведено, Веденский район; 6) с. Хотни-Чу, Веденский район; 7) с. Галашки, Сунженский район; 8) с. Беркат-Юрт, Грозненский район; 9) с. Чурч-Ирзу Ножай-Юртовский район; 10) с. Башек-Кале Итум-Калинский район; 11) Гудермесский район

Неравномерность распределения селена в объектах окружающей среды республики подтверждалась данными накопления микроэлемента черемшой (рис. 1b), по-

зволюя выделить аномальные зоны селенозов в Ножай-Юртовском и Итум-Калинском районах.

Выборочная оценка содержания селена в пшенице 5 районов Чеченской Республики (рис. 2) являются еще одним подтверждением неравномерности распределения селена по территории республики. Сравнение полученных данных со средними показателями содержания селена в пшенице России (80 мкг/кг с.м.) позволяет выделить лишь один район – Сунженский – с достоверно более высокими уровнями накопления микроэлемента. Урус-Мартановский и Шелковской районы в целом производят зерно с концентрацией селена около 80 мкг/кг. Грозненский и Ножай-Юртовский районы отличаются значительной неоднородностью качества производимого зерна.

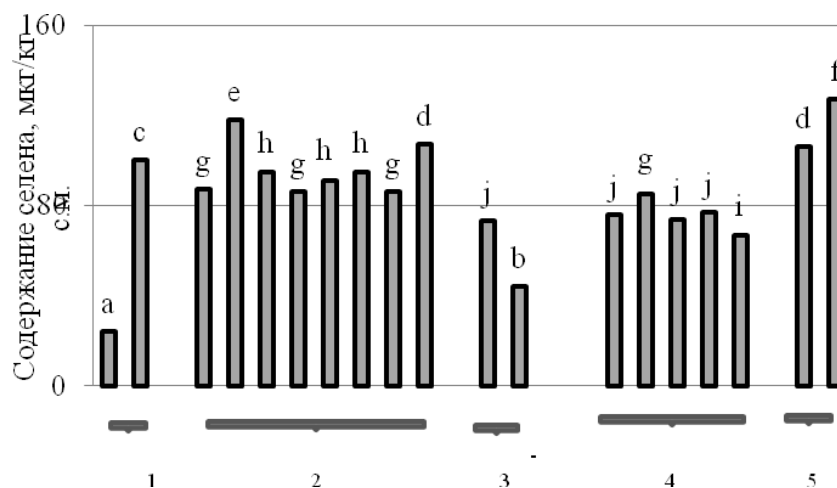


Рис. 2. Содержание селена в пшенице: 1) Грозненский район; 2) Шелковской район; 3) Ножай-Юртовский район; 4) Урус-Мартановский район; 5) Сунженский район (значения с одинаковыми индексами статистически не различаются, $P > 0,05$)

Таблица

**Неравномерность распределения селена
в объектах окружающей среды Чеченской Республики**

Дефицит/избыток	Черемша			Родники			Пшеница			Укосы		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Гудермесский	+			+	+					+		+
Ножай-Юртовский			+	+	+	+	+	+		+	+	+
Урус-Мартановский				+		+		+		+		+
Сунженский		+		+	+	+			+	+		+
Шалинский					+					+		+
Шелковской				+				+	+	+		+
Наурский				+	+						+	
Шаройский				+	+						+	
Грозненский		+		+	+		+	+		+	+	
Итум-Калинский			+		+					+		
Курчалоевский				+		+				+		
Веденский2/0	+	+			+					+		
Ачхой-Мартановский	+	+		+	+					+		
Надтеречный				+						+		
Шатойский	+			+	+	+				+		

1 – низкий уровень; 2 – средний уровень; 3 – высокий уровень.

Содержание селена в родниковой воде ($n = 61$) варьировало от 8 до 4100 нг/л с наиболее выраженными аномалиями в Ножай-Юртовском, Сунженском, Шатойском, Урус-Мартановском, Ачхой-Мартановском и Курчалоевском районах.

В целом с учетом всех проведенных исследований частота зафиксированных аномалий аккумуляирования селена в республике представляется крайне высокой (см. табл.). Показательно, что данные, полученные ранее по содержанию селена в почве разных регионов Чеченской Республики (Голубкина и др., 2017) оказываются малоинформативными.

В совокупности из 15 обследованных районов республики 11 имели аномалии в содержании селена в окружающей среде, 4 района: Грозненский, Веденский, Наурский и Шаройский, – характеризовались уровнями накопления селена от низкого до среднего (рис. 3).

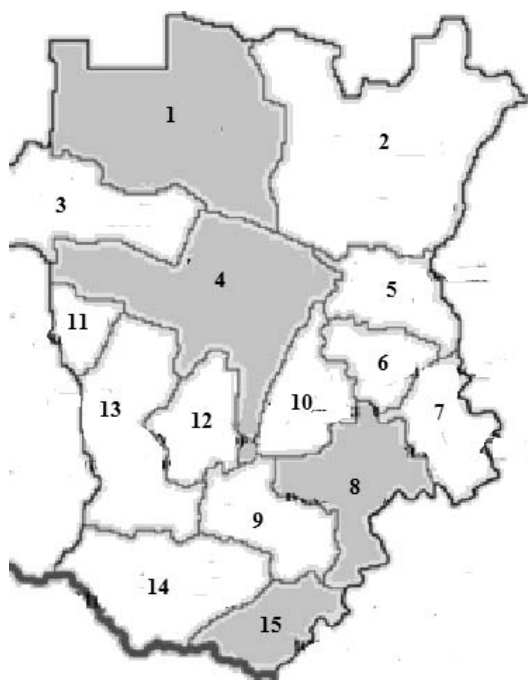


Рис. 3. Районы селеновых аномалий (белые) и селенового дефицита / маргинальной недостаточности (серые) в Чеченской Республике.
Наименование районов см. рис. 2а

Заключение

Проведение комплексного мониторинга содержания селена в объектах окружающей среды Чеченской Республики позволило впервые установить высокую неоднородность распределения микроэлемента по территории региона.

Литература

1. Амагова З. А., Голубкина Н. А. Проблема йодной и селеновой недостаточности в Чеченской республике // Микроэлементы в медицине. – 2017. – № 3. – С. 13–19.
2. Голубкина Н. А., Амагова З. А., Мацадзе В. Х. Мониторинг содержания селена в объектах окружающей среды Чеченской Республики // Успехи современной науки. – 2017а. – Т. 2. – № 9. – С. 28–33.
3. Голубкина Н. А., Амагова З. А., Кошеваров А. А. Содержание селена в почве Чеченской республики // Всемирный день охраны окружающей среды // Материалы междунар. науч.-практ. конф. – Омск, 2017. – С. 91–95.

4. Скальный А. В., Киселев М. Ф. (ред) Элементный статус населения России: В 5 т. – СПб.: Медкнига «ЭЛБИ-СПб», 2010–2014.
5. Alfthan G. A. A micromethod for the determination of selenium in tissues and biological fluids by single-test-tube fluorimetry // Anal. Chim. Acta. – 1984. – Vol. 65. – P. 187–194. [http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670\(00\)85199-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0003-2670(00)85199-5)
6. Wang S., Liang D., Wang D., Lin Z Selenium fractionation and speciation in agriculture soils and accumulation in corn (*Zea mays* L.) under field conditions in Shaanxi Province, China 2012 // Science of The Total Environment, 2012. – Issue 427–428. – P. 159–164 DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.03.091

SELENIUM STATUS OF THE CHECHEN REPUBLIC

Z. A. Amagova, N. A. Golubkina, V. H. Matsadze

Determination of Se content in grass mowing, *A. ursinum*, wheat and spring water revealed for the first time high heterogeneity of Se distribution in the Chechen environment of 11 regions of the republic and the existence of significant/moderate deficiency of Se in the other 4 regions (Groznsky, Naursky, Vedensky, Sharovsky).

Keywords: Se monitoring, Chechen republic, grass mowing, wheat, *A. ursinum*, spring water.

МЕЛКИЕ МЛЕКОПИТАЮЩИЕ ИМПАКТНЫХ РЕГИОНОВ: РОЛЬ В БИОГЕННЫХ ЦИКЛАХ В УСЛОВИЯХ СОКРАЩЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ВЫБРОСОВ

В. С. Безель, С. В. Мухачева

Институт экологии растений и животных УрО РАН,
г. Екатеринбург, Россия,
e-mail: msv@ipae.uran.ru

На примере природных популяций рыжей полевки, населяющих территории в зоне действия крупного медеплавильного комбината, рассмотрено участие мелких млекопитающих в биогеохимических циклах некоторых элементов (Cu, Zn, Cd, Pb) в условиях интенсивного загрязнения среды (1990–1992 гг.) и после существенного сокращения промышленных выбросов (2015–2017 гг.). Анализ изменений величины транзитного потока элементов (ТП) и их содержания в «животном опаде» (ЖО) в градиенте техногенной нагрузки показал, что за 25 лет в импактной зоне ТП для Cu, Cd и Pb приблизились к фоновым, а Zn – 2-кратно снизился в сравнении с ним. На буферных участках существенных изменений ТП не отмечено. За тот же период, поток Cd и Pb через ЖО в импактной зоне приблизился к фоновому, для Cu и Zn различия усилились. В результате сочетанного влияния факторов к концу периода наблюдений отмечена интенсификация (фоновая зона), замедление (импактная зона) и стабилизация (буферная зона) биогеохимического обмена элементов. Основная причина изменений – перестройки в структуре сообщества мелких млекопитающих.

Ключевые слова: загрязнение среды, снижение выбросов, медь, цинк, кадмий, свинец, транзитный поток элементов, «животный опад», рыжая полевка

Введение

Согласно современным представлениям в структуре и функционировании природных биогеоценозов (БГЦ) важнейшее значение имеют пищевые цепи живых организмов. Участие животных в биогенном обмене включает в себя транзитный поток элементов (ТП), связанный с потреблением первичной продукции и выделением элементов с продуктами жизнедеятельности, «животный опад» (ЖО) в виде отмирающих особей, а также роющую и гнездостроительную функции. В случае млекопитающих основные потоки элементов связаны с их трофической деятельностью. Животные-фитофаги, в том числе мышевидные грызуны, способствуют ускорению и стабилизации минерального обмена в БГЦ, однако их роль часто недооценивается [4].

Промышленное загрязнение не только увеличивает содержание химических элементов в отдельных компонентах биоты, но и, в силу антропогенной трансформации природных БГЦ, влияет на интенсивность и состав биогенных циклов. В результате деформации биогенных потоков изменяется исходное фоновое распределение элементов. В связи с повсеместным сокращением объемов промышленных выбросов в последние десятилетия усилилось внимание к проблеме восстановления нарушенных экосистем. Особый интерес представляют процессы самопроизвольной реабилитации территорий, позволяющие исследовать механизмы и интенсивность процессов естественного восстановления природных БГЦ.

Цель работы – оценка динамических изменений величины биогенных потоков эссенциальных (Cu, Zn) и токсических (Cd, Pb) элементов через популяции рыжей полевки из окрестностей СУМЗ после существенного сокращения выбросов. Предполагали, что постепенное восстановление компонентов биоты, начавшееся после снижения выбросов, приведет к выравниванию количественных показателей биогенных потоков изученных элементов на сравниваемых территориях.

Методы

Исследования проводили в окрестностях СУМЗ в периоды стабильно высоких (1990–1992 гг., I период) и сильно сокращенных выбросов (2015–2017 гг., II период). В результате длительного (с 1940 г.) воздействия вокруг завода сформировались зоны с разной степенью поражения экосистем: импактная (1–3 км от завода), буферная (4–10 км) и фоновая (20–30 км). В качестве модельного объекта использовали рыжую полевку (*Myodes glareolus*) – типичного обитателя лесов таежной зоны, фитофага, доминировавшего в течение всего периода наблюдений в составе сообществ мелких млекопитающих загрязненных (более 50 % численности населения) и фоновых (около 75 %) территорий. Работы выполнены на одних и тех же ключевых участках по единой методике. Животных отлавливали ежегодно (3 тура, май – сентябрь) с помощью ловушек-плашек (25 шт. через 5–7 м, экспозиция – 4 суток), которые устанавливали на стационарных линиях в импактной (1–2 км), буферной (4–6 км) и фоновой (20 км) зонах. Отлов животных на всех участках проводили одновременно, располагая в каждой зоне от 3 до 9 линий. Отработано 26 тыс. ловушко-суток (13.8 тыс. в I период, 12.3 тыс. – во II), добыто 764 экз. (416 – в I период, 348 – во II). У добытых полевок определяли пол, возраст, репродуктивный статус, массу тела.

Накопление элементов (Cu, Zn, Cd, Pb) в рационе животных оценивали по их аккумуляции в содержимом желудка, в целом организме – в тушках. Содержимое желудка отбирали при вскрытии индивидуально у каждой особи, высушивали, гомогенизировали, подвергали микроволновому озолению (с 65%-ной HNO₃). Тушки (без желудочно-кишечного тракта) высушивали, сжигали в муфельной печи с последующим озолением. Концентрацию элементов в образцах определяли методом атомной абсорбции с использованием пламенного (Cu, Zn) и электротермического (Cd, Pb) вариантов атомизации. Проанализировано 487 образцов желудков, 15 тушек.

Для оценки величины ТП и ЖО привлекали данные по абсолютной численности животных [2]. Суточное потребление корма «условной» особью для I и II периода вычисляли на основе средневзвешенных значений с учетом демографической структуры, размерно-весовых показателей полевых и количества поедаемого корма [3]. ТП и ЖО рассчитывали для бесснежного периода – с мая по октябрь (6 мес.), учитывая, что полевки являются короткоцикловыми животными (продолжительность жизни около 1 года). Величину суточного ТП в пределах зоны вычисляли как произведение численности животных, концентрации соответствующего элемента в рационе и потребления корма «условной» особью. Для расчета ЖО использовали данные о численности животных, средней массе «условной» особи и концентрации соответствующего элемента в тушке.

Расчеты выполнили в пакете JMP v.11. Статистически значимыми считали различия при $p < 0.05$. Данные по концентрациям элементов предварительно логарифмировали. Для выявления различий между участками и периодами использовали дисперсионный анализ (ANOVA).

Результаты и обсуждение

Численность населения рыжей полевки при увеличении техногенной нагрузки монотонно снижалась ($F = 6.67$, $p = 0.011$), в пределах зоны различия между периодами были незначимыми ($F = 0.69$, $p = 0.421$). В период II различия между зонами усилились за счет разнонаправленных трендов: 40% увеличения обилия полевых в фоновой (с 13 до 18 экз/га) и буферной зонах (с 7 до 11 экз/га) при одновременном 60% снижении в импактной зоне (с 3.8 до 2.3 экз/га). Сходным образом в градиенте загрязнения изменялась и *биомасса* полевых: в фоновой зоне она увеличилась с 259 до 354 г/га, в буферной – с 131 до 207 г/га, в импактной – снизилась с 75 до 48 г/га.

Суточное потребление корма «условной» особью составляло в среднем 3.0 г (сухой массы) и не имело зональных отличий ($F = 1.49$, $p = 0.264$), в то же время от I периода ко II повсеместно регистрировали 10% снижение этого показателя ($F = 7.76$, $p = 0.017$), что, вероятно, обусловлено общим «омоложением» населения.

Концентрации всех элементов в рационах полевых по мере приближения к заводу ($p < 0.0001$) закономерно увеличивались. Так, в период I на импактных участках для Cu, Cd и Pb отмечено превышение фоновых концентраций в 5–6 раз, для Zn – в 2 раза. Во II период диапазон изменений для Zn сохранился на том же уровне, концентрации Cu при удалении от завода уменьшились в 4.6 раз. Для токсических элементов различия, напротив, усилились в 7–10 раз (для Cd и Pb соответственно). Снижение концентраций в рационах полевых от периода I к периоду II было значимым только для Cu ($F = 23.42$, $p < 0.0001$) и Pb ($F = 9.18$, $p = 0.003$), тогда как аккумуляция Cd увеличилась, а Zn – осталась на прежнем уровне.

Расчетные значения *величины ТП* показывают, что в течение бесснежного периода на каждом гектаре пихтово-еловых лесов за счет потребления первичной продукции популяциями рыжей полевки в биогеохимический обмен включается Zn – от 0.2 до 1.3 г, Cu – от 0.06 до 0.6 г, Cd – от 2.4 до 23 мг, Pb – от 7.1 до 163 мг. При этом зональные различия в величине ТП для всех элементов были значимыми. Для Cu, Cd и Pb в течение обоих периодов регистрировали нелинейные изменения с максимумом в буферной зоне, тогда как для Zn отмечали монотонное убывание по мере приближения к заводу. Четкие динамические изменения величины ТП от периода I ко II (интенсивность биогенного обмена снизилась в 2.5 раза), были зарегистрированы только в импактной зоне для Cu ($F = 11.33$, $p = 0.028$) и Pb ($F = 11.04$, $p = 0.029$).

Содержание элементов в ЖО для Cd, Pb и Zn оказалось в 25–75 раз ниже в сравнении с ТП, для Cu различия составили от 75 до 200 раз. Причем независимо от периода исследований эссенциальные элементы в большем количестве содержались в ЖО на фоновых участках, токсические – на загрязненных территориях.

Ранее [1] на примере локальных популяций рыжей полевки из окрестностей СУМЗ в период стабильно высоких выбросов (1990–1998 гг.), показано, что участие животных в биогенных циклах определяется уровнем химического загрязнения среды и численностью животных. Современные данные подтвердили выводы, сделанные ранее. В зависимости от сбалансированности процессов результатами сочетанного действия этих факторов в условиях сокращения выбросов могут быть интенсификация, замедление, либо стабилизация биогеохимического обмена элементов. В окрестностях СУМЗ наблюдали все перечисленные варианты. В импактной зоне интенсивность обмена для большинства элементов (за исключением Cd) снижается по сравнению с исходными значениями в 2 раза, так что величина ТП достигает фоновых величин (Cu, Cd, Pb), либо становится ниже (Zn). В буферной зоне констатировали стабилизацию биогеохимического обмена, поскольку существенных изменений величины потоков ни для одного из элементов не выявлено. При этом именно в этой зоне для большинства элементов (кроме Zn) ТП достигал максимальных значений, превышая фоновые уровни в 1.7–5.5 раз, импактные – в 1.3–3.7 раз. В фоновой зоне наблюдали интенсификацию биогенного обмена (кроме Pb), когда величина ТП двукратно увеличилась в сравнении с исходными значениями. За тот же период, поток Cd и Pb через ЖО в импактной зоне приблизился к фоновым значениям, для Cu и Zn различия, напротив, усилились.

Заключение

Установлено, что биогеохимическое своеобразие транзитных потоков элементов через локальные популяции рыжей полевки на участках с разным уровнем загрязнения определяется численностью животных и содержанием элементов в их рационе. Многократное сокращение объема промышленных выбросов СУМЗ за последние 25 лет (1990–2017 гг.) не привело к эквивалентному снижению концентраций ТМ в корме рыжих полевок из окрестностей завода. Изменения численности животных в градиенте загрязнения носили разнонаправленный характер – в фоновой и буферной зонах она выросла, в импактной зоне – снизилась. Подобный феномен является результатом межвидовой конкуренции двух симпатрических видов (рыжей и красной полевок) с близкими экологическими требованиями, а не следствием снижения качества среды вблизи источника эмиссии. Результатом сочетанного действия перечисленных выше факторов в зависимости от сбалансированности процессов были интенсификация (фоновая зона), замедление (импактная зона), либо стабилизация (буферная зона) биогеохимического обмена элементов. Наши предположения о постепенном выравнивании количественных показателей ТП изученных элементов на загрязненных и фоновых территориях подтвердились частично. Величина ТП Cu, Cd, Pb в импактной зоне к концу периода исследований приблизилась к фоновым значениям. Основной причиной подобных изменений было не снижение концентраций тяжелых металлов в компонентах биоты, а существенные перестройки в структуре сообщества мелких млекопитающих, повлекшие за собой резкое падение численности рыжей полевки на импактной территории.

Анализ данных и подготовка рукописи выполнены в рамках госзадания Института экологии растений и животных УрО РАН.

Литература

1. Безель В. С., Мухачева С. В., Куценогий К. П. и др. Участие мелких млекопитающих в биогенных циклах химических элементов в наземных экосистемах // Пробл. биогеохим. и геохим. экол. – 2007. – Т. 4. – № 2. – С. 80–91.
2. Бернштейн А. Д., Михайлова Т. В., Апекина Н. С. Эффективность метода ловушко-линий для оценки численности и структуры популяций рыжей полевки // Зоол. журн. – 1995. – Т. 74. – № 7. – С. 217–282.

3. Мухачева С. В. Особенности питания рыжей полевки в условиях техногенного загрязнения среды обитания // Сиб. экол. журн. – 2005. – № 3. – С. 523–533.
4. Покаржевский А. Д. Геохимическая экология наземных животных. – М.: Наука, 1985.

SMALL MAMMALS OF THE IMPACT REGIONS: ROLE IN BIOGEOCHEMICAL CYCLES DURING THE PERIOD OF REDUCED INDUSTRIAL EMISSION

V. S. Bezel, S. V. Mukhacheva

The participation of small mammals in biogeochemical cycles of essential (Cu, Zn) and toxic (Cd, Pb) trace elements in the conditions of intensive environmental pollution (1990–1992) and after a significant reduction of industrial emission (2015–2017) was considered on the example of natural populations of the bank vole inhabiting in the vicinity of a large copper smelter and background area. Analysis of the dynamic changes in the transit flow (TF) of trace elements and their content in the "animal litter" (AL) in the gradient of pollution showed that over 25 years of observations in the impact zone, the value of TF for Cu, Cd and Pb approached the background levels, and Zn – 2-fold decreased in comparison with it. On the buffer zone a significant change in the levels of TF has not registered for any of the elements. During the same period, Cd and Pb flow through the AL in the impact zone approached the background levels, for Cu and Zn differences, on the contrary, increased. As a result of the combined effect of factors by the end of the investigated period, intensification (background zone), slowdown (impact zone) and stabilization (buffer zone) of biogeochemical exchange of trace elements were noted. The main reason for the changes is the restructuring of the community of small mammals.

Keywords: environmental pollution, reduction of emission, copper, zinc, cadmium, lead, transit flow, animal litter the bank vole.

СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ ПОДЗОНЫ ПОДТАЕЖНЫХ ЛЕСОВ С РАЗЛИЧНЫМ ВИДОВЫМ СОСТАВОМ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

В. А. Боев¹, В. В. Боев², С. Ю. Корнеева¹, Н. В. Аксенов¹

¹ Тюменский государственный университет,
г. Тюмень, Россия
e-mail: vikbiov2009@mail.ru

² Томский государственный университет,
г. Томск, Россия
e-mail: v-3@mail.ru

Изучение микроэлементного состава почв фоновых территорий имеет важное практическое значение, поскольку позволяет получить данные о фоновом содержании микроэлементов, необходимые для проведения мониторинга окружающей среды

и дающие возможность получить отправные точки для оценки загрязнения тяжелыми металлами почв, а также прогноза развития экологической ситуации на территориях подверженных техногенному воздействию.

Ключевые слова: микроэлемент, подвижные формы, растение-эдификатор, видовой состав, особо охраняемая территория.

Введение

Проведение исследований микроэлементного состава почв в пределах особо охраняемых территорий (ООПТ), представляет уникальную возможность получения информации о фоновом содержании микроэлементов в условиях практически полного отсутствия антропогенного загрязнения, которое обеспечивается законодательным статусом таких территорий. Любая хозяйственная деятельность, противоречащая целям охраны природы на таких территориях, запрещена или ограничена в очень жестких пределах, что сводит к минимуму возможность антропогенного загрязнения почв и растительности [2].

Методы

На территории Тюменского федерального заказника нами были заложены три учетные площадки для проведения исследований по биологическому круговороту макро- и микроэлементов площадью 0,25 га с различным видовым составом древесных растений-эдификаторов, на которых были отобраны по 10 образцов верхнего горизонта почв с глубины 0-10 см.

Анализ содержания микроэлементов в почве проводился при помощи атомно-абсорбционного спектрофотометра Contr AA Центра коллективного пользования Тюменского государственного университета.

Определяли валовое содержание и подвижные формы микроэлементов (экстрагент – ацетатно-аммонийный буфер с pH-4,8).

Характеристика видового состава древесных растений-эдификаторов учетных площадок представлена в таблице 1.

Результаты исследований

Исследования проводились на территории Тюменского федерального заказника, который расположен в пределах Нижнетавдинского района Тюменской области, в юго-западной части Западно-Сибирской низменности, в системе Тарманского, озерно-болотного массива, в междуречье среднего течения Тавды и Туры.

Территория федерального заказника представляет пологоволнистую равнину с абсолютными высотами в пределах от 60 до 100 м, постепенно понижающуюся в южном направлении. Поверхность равнины значительно заозерена и заболочена. Господствующими ландшафтами являются пологоволнистые равнины с сосново-березовыми и березовыми парковыми травяными лесами на дерново-подзолистых многогумусных почвах правобережья Тавды и достаточно дренированные высокие междуречные равнины.

Находясь в поясе зоны подтайги, территория заказника характеризуется сложной мозаикой распределения преимущественно лесных и болотных типов растительных формация, среди которых, по суходолам, на местах старых вырубок – разбросаны участки хлебных полей и разнотравных лугов, используемых под сенокосы и пастбище.

Как видно на приведенных данных (табл. 1), наибольшую площадь в заказнике занимают леса (46,1 %), а также различные типы болот и водоемы (40,8 %). На открытые и суходольные пространства, включающие в себя возделываемые человеком кормовые поля, а также естественные разнотравные луга приходится всего 10,2 % [1] его общей площади.

Таблица 1

**Распределение ландшафтов на территории
Тюменского федерального заказника**

Наименование элементов ландшафта	Площадь, га	% к общей площади
Вторичные высокоствольные лиственные с преобладанием березы и осины	18330	34,3
Сложные сосняки с примесью других хвойных и лиственных пород	6030	11,4
Темнохвойная тайга с преобладанием ели и пихты	1280	2,4
Разнотравные луга	1540	2,9
Посевы силосных культур	3940	7,3
Ромовые и кустарниково-травяные болота	18030	33,7
Озера, реки	3885	7,1
Населенные пункты, грунтовые дороги	530	0,9
Итого общая площадь заказника	53,385	100

Видовой состав древесных растений-эдикаторов учетных площадок представлен в табл. 2.

Таблица 2

**Характеристика видового состава
растений-эдикаторов учетных площадок**

№ площадки	Количество деревьев				
	Сосны	Березы	Осины	Липы	Всего
1	163	46	6	0	215
2	—	92	12	219	323
3	74	86	18	56	234

Площадка 3 представлена березово-сосновым с липой лесом, площадка 1 – папоротниковым сосняком с примесью березы, площадка 2 – липово-березовым лесом. На первой площадке преобладают сосны, на второй – липы, на третьей преобладают сосны и березы. Липы доминируют на площадке 2. Количество осин незначительно на всех площадках. Наиболее значительный древесный покров характерен для площадки 2.

Содержание микроэлементов в почвах учетных площадок представлено в табл. 3.

Таблица 3

**Валовое содержание и содержание подвижных форм микроэлементов
в дерново-подзолистых почвах, мг/кг**

Площадка 1			Площадка 2		Площадка 3	
Элемент	Валовое С, мг/кг	Подвижное С, мг/кг	Валовое С, мг/кг	Подвижное С, мг/кг	Валовое С, мг/кг	Подвижное С, мг/кг
Cu	13,1	0,08	16,9	1,02	13,9	1,51
Cd	1,88	0,17	2,28	0,13	1,95	0,30
Cr	9,33	0,56	6,65	0,52	15,3	0,38
Ni	9,21	0,15	46,49	0,58	31,26	1,02
Mn	388,03	51,13	1187,14	162,20	576,34	84,81

Как следует из представленных данных валовое содержание меди, кадмия и хрома в почвах учетных площадок колеблется в незначительных пределах, подобная закономерность характерна и для подвижных форм этих элементов.

Более значительным размахом колебаний характеризуется валовое содержание никеля и марганца, а также содержание подвижных форм этих элементов.

Так наибольших значений содержание никеля достигает в почвах площадки 2 (липово-березовый лес), а наименьших – площадки 1 (папоротниковый сосняк с примесью березы) – соответственно 46,29 и 9,21 мг/кг. Содержание подвижных форм никеля достигает наибольших значений в почвах площадки 3 (березово-липовый лес), а наименьшие значения характерны для площадки 1 (папоротниковый сосняк с примесью березы) – соответственно 1,02 и 0,15 мг/кг.

Нами также рассчитана подвижность микроэлементов, характеризующая долю подвижной формы относительно валового содержания. Значение подвижности микроэлементов в почвах учетных площадок приведены в табл. 4.

Таблица 4

Подвижность микроэлементов в почвах учетных площадок (%)

Микроэлемент	Площадка 1	Площадка 2	Площадка 3
Cu	–	6,04	10,9
Cr	5,19	4,12	4,79
Ni	7,24	11,46	6,38
Cd	9,0	9,1	17,3
Mn	15,63	16,62	16,67

Из приведенных в табл. 4 данных следует, что наибольшей подвижностью отличаются марганец и хром, а наименьшей хром.

Подвижность хрома, марганца и меди в почвах учетных площадок отличаются незначительно, подвижность никеля максимальна в почвах площадки 2 (липово-березовый лес), а кадмия – в почвах площадки 3 (березово-липовый лес).

Заключение

1. Валовое содержание меди, кадмия и хрома в дерново-подзолистых почвах подтаежных лесов с различным видовым составом деревьев-эдификаторов колеблется в незначительных пределах; более значительным размахом колебаний характеризуется валовое содержание никеля и марганца.

2. Для подвижных форм в дерново-подзолистых почвах подтаежных лесов с различным видовым составом деревьев-эдификаторов выявлены подобные закономерности, как приведенные выше для валового содержания.

3. Наибольшей подвижностью в почвах смешанных широколиственных лесов характерна для марганца и кадмия; наименьшая – для хрома.

4. Связи между видовым составом растений-эдификаторов и содержанием микроэлементов в почвах не выявлено.

Литература

1. Гуров В. И., Крюков К. В. Проект внутрихозяйственного устройства государственного заказника «Тюменский». – Новосибирск, 1980.
2. Мотузова Г. В., Безуглова О. С. Экологический мониторинг почв. – М.: Академ. проект; Гаудеамус, 2007.

CONTENT OF MICROELEMENTS IN SOD-PODZOLIC SOILS SUBZONE OF SUB-TAIGA FORESTS WITH DIFFERENT SPECIES COMPOSITION OF WOODY VEGETATION

V. A. Boev, V. V. Boev, N. V. Aksenov, S. U. Korneeva

The study of the microelement composition of soils of background areas is of practical importance, as it allows to obtain data on the background content of trace elements necessary for environmental monitoring and provides an opportunity to get the starting points for the assessment of heavy metal contamination of soils, as well as the forecast of the environmental situation in the areas.

Keywords: trace element, moving the form, a plant – edifiers, species composition, protected area.

ПОЛИЭЛЕМЕНТНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ПОЧВ И ТЕХНОЗЕМОВ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ ХАПЧЕРАНГИНСКОГО ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНОГО КОМБИНАТА (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

**Е. А. Бондаревич¹, М. А. Солодухина²,
Ю. А. Витковский¹, Л. А. Михайлова¹**

¹*Читинская государственная медицинская академия,
г. Чита, Россия*

e-mail: bondarevich84@mail.ru

²*Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН,
г. Чита, Россия*

В исследовании рассматривается уровень загрязненности ландшафтов с. Хапчеранга в сравнении с кларками химических элементов. Выявлена значительная загрязненность почвенных образцов в техногенной зоне села. Основными загрязнителями были мышьяк, свинец, кадмий, цинк, и олово.

Ключевые слова: Хапчеранга, мышьяк, метод масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

Предприятия горно-промышленного комплекса осуществляют свою деятельность на территории Забайкалья с XVIII века, в результате чего произошло накопление огромных объемов отвалов и пустой породы. Многие минеральные компоненты, сопутствующие основным рудам, не использовались и при накоплении на поверхности стали оказывать негативное влияние на экосистемы, выступая постоянным источником загрязнения. На фоне природных биогеохимических провинций образовалось множество техногенных, прогнозируемое действие которых будет ощутимо в течение еще многих веков. Хапчерангинский горно-обогатительный комбинат, существовавший в период с 1934 до начала 1970-х годов, занимался добычей и переработкой оловянно-полиметаллических руд и производил оловянный и цинковый концентраты. В ходе его существования было сформировано хвостохранилище общей площадью 56,7 га и объемом более 6,2 млн. тонн, расположенное в центральной части села Хапчеранга [1].

Целью работы было определение ведущих загрязнителей в условиях села Хапчеранга и сравнение уровня их накопления с фоновыми территориями.

Материалы и методы

Для исследования использовано 18 проб почв и техноземов с территории селитебной (n=7), техногенной (n=6) и фоновой зон (n=5), отобранных до глубины 0-20 см в июне 2017 года. В качестве фоновой была выбрана территория, расположенная в 60 км северо-восточнее с. Хапчеранга – урочище «Ангаихата», в окрестностях с. Нарасун (Акшинского района).

Определение 52 химических элементов проводили методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре Perkin Elmer NexION 300D (США) в аккредитованной лаборатории ЗАО «СЖС Восток Лимитед» (г. Чита). Статистическая обработка проводилась методами описательной (среднее, $\pm SE$) и непараметрического (уровень значимости по критерию Краскала-Уоллиса) анализа. Значения кларков приведены согласно рекомендациям для оценки состава верхней части литосферы [4]. Для оценки уровня загрязнения ландшафтов использовались коэффициенты концентрации химических элементов ($K_C = \frac{C}{K}$) и суммарный показатель загрязнения ($Z_C = \sum K_C - (n-1)$), где C – концентрация элемента в пробе (мг/кг), K – кларк. Для эколого-геохимической оценки почв и техноземов использовался суммарный показатель загрязнения, рассчитанный по коэффициентам концентрации и характеризующийся следующими критическими значениями: $Z_C < 16$ – допустимая, $16 < Z_C < 32$ – умеренно опасная, $32 < Z_C < 128$ – опасная, $128 < Z_C$ – чрезвычайно опасная категория загрязнения [3].

Результаты и их обсуждение

По среднему содержанию отмечено значительное превышение кларка по 12-ти химическим элементам, особенно в условиях техногенного ландшафта (рис. 1, а). Незначительное 2-4-х кратное превышение кларка отмечалось для хрома, цезия, меди, молибдена, вольфрама. По большинству химических элементов имелась тенденция к уменьшению их содержания в направлении от техногенной зоны к фоновому участку. Однако содержание лития и рубидия имело иные особенности, и в условиях фона их содержание было равным или выше, чем в условиях загрязненного района (рис. 1, а).

Главными загрязнителями в условиях с. Хапчеранга были мышьяк, кадмий, свинец, олово и цинк, количество которых в почвах и техноземах многократно превышало нормативные показатели (ОДК и ПДК) [2].

Для комплексной оценки степени загрязнения по значениям средних концентраций химических элементов проведены расчеты коэффициента концентрации (рис. 1, б), максимальные показатели по которому отмечались для мышьяка, кадмия, лития, свинца, олова и цинка.

Техногенная и селитебная зоны с. Хапчеранга характеризовались чрезвычайно опасным ($Z_C=397,39$) и опасным ($Z_C=107,37$) уровнем загрязнения. Основной вклад в этот показатель внесли мышьяк, кадмий, свинец, олово и цинк (рис. 1, б). Для фоновой территории коэффициент Саета составил 59,61 единиц, что указывает на опасный уровень загрязненности. Однако источников техногенного загрязнения в окрестностях села Нарасун нет. Основной вклад вносили гадолиний, галлий, литий, рубидий, что может быть связано с геохимическим фоном района. Без их учета суммарный показатель загрязненности имел показатель менее 16 единиц, что указывает на экологическое благополучие региона.

Таким образом, исследование почв и техноземов с. Хапчеранга позволило оценить эколого-геохимические условия района как неблагоприятные для экосистем и проживающего в этом районе населения. В связи с тем, что в миграцию включено значительное количество токсичных элементов (мышьяк, кадмий, свинец) высоким является риск развития нарушений метаболизма у живых организмов при хронической интоксикации тяжелыми металлами и металлоидами.

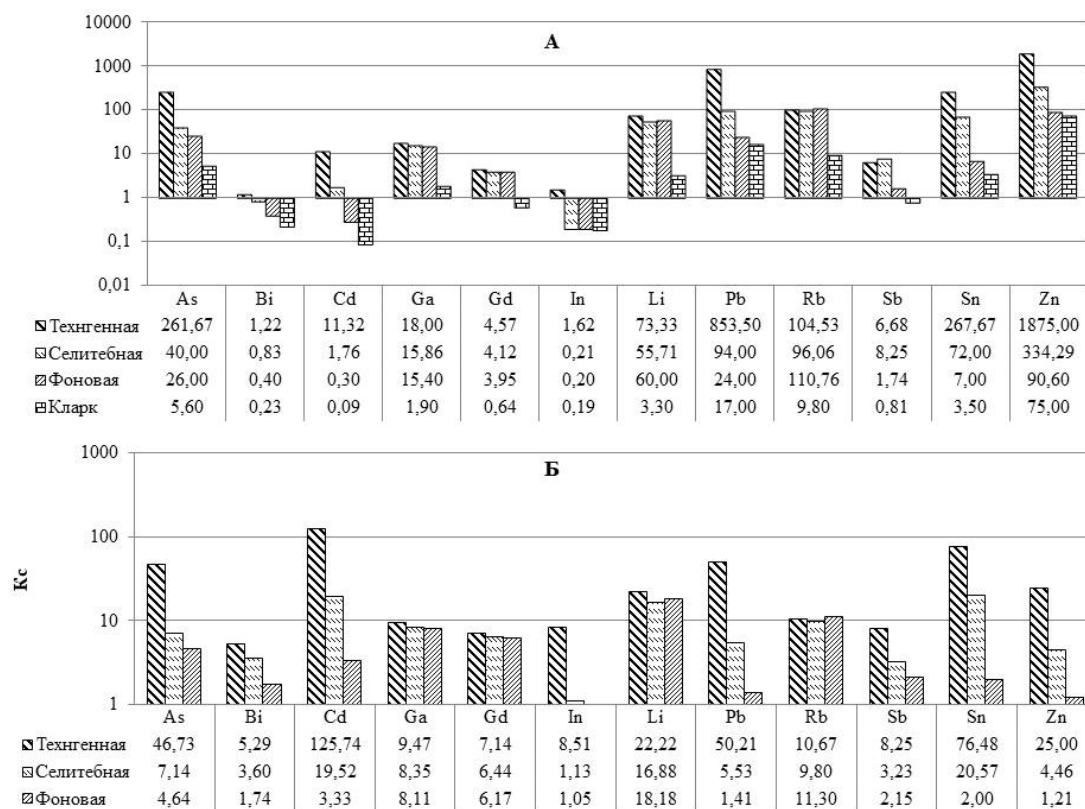


Рис. 1. А – среднее содержание химических элементов в почвах и техноземах, имеющих наибольшее превышение, относительно кларковых значений (мг/кг); Б – коэффициенты концентрации ведущих загрязнителей среды в условиях с. Хапчеранга

Литература

1. Быбин Ф. Ф. Горно-промышленный комплекс // Энциклопедия Забайкалья. Читинская область. Т. 1. – Новосибирск: Наука, 2002. – С. 92.
2. Витковский Ю. А. и др. Влияние антропогенных геохимических факторов среды обитания на элементный статус детей п. Хапчеранга (Восточное Забайкалье) // ЭНИ Забайкальский медицинский вестник, 2018. – № 2. – С. 14–23.
3. Геохимия окружающей среды / Под ред. Сает Ю. Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др. – М.: Недра, 1990. – С. 38.
4. Касимов Н. С., Власов Д. В. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии // Вестн. Московского ун-та. Сер. 5 «География». – 2015. – № 2. – С. 7–17.

POLYELEMENT POLLUTION OF SOILS AND TECHNOZEMS UNDER THE CONDITIONS OF THE KHAPCHERANGA MINING AND PROCESSING PLANT (EASTERN TRANSBAIKALIA)

E. A. Bondarevich, M. A. Solodukhina, Y. A. Vitkovsky, L. A. Mikhailova

The study examines the level of pollution in landscapes with. Hapcherang in comparison with the clarke of chemical elements. Revealed significant contamination of soil samples in the man-made zone of the village. The main pollutants were arsenic, lead, cadmium, zinc, and tin.

Keywords: Hapcheranga, arsenic, inductively coupled plasma mass spectrometry method.

ЦИНК И КАДМИЙ – НАКОПЛЕНИЕ И БИОТРАНСФОРМАЦИЯ В ДИКОРАСТУЩИХ РАСТЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОЙ ТЕРРИТОРИИ ЧИТЫ

Е. А. Бондаревич, Н. Н. Коцюржинская, Г. Ю. Самойленко

Читинская государственная медицинская академия,

г. Чита, Россия

e-mail: bondarevich84@mail.ru

Урбанизированная территория Читы характеризуется сильным техногенным загрязнением тяжелыми металлами. В наибольшей мере это связано с накоплением цинка и кадмия в почвах и их активным перемещением в растительные организмы. В работе выявлено, что травянистые растения *Artemisia gmelinii* и *Stemmacantha uniflora* активно накапливали цинк, а кадмий задерживался в корневой системе. Активное перемещение токсикантов из корней к фотосинтезирующим органам происходило у *Artemisia gmelinii*, тогда как для *Stemmacantha uniflora* отмечалось их задерживание в корнях.

Ключевые слова: цинк, кадмий, травянистые растения, коэффициенты транслокации и дискриминации, барьерная функция органов

Введение

Цинк и кадмий в условиях интенсивной хозяйственной деятельности человека имеют высокую технофильность и активно поступают в экосистемы, оказывая негативное влияние на экосистемы. Интенсивность их миграции в геосредах и биосистемах определяется множеством факторов окружающей среды, прежде всего формированием и функционированием геохимических барьеров. Однако немаловажный вклад вносят и барьерные механизмы растительных организмов, обеспечивающие замедление процесса переноса токсичных соединений по трофическим цепям. Степень накопления и перемещения тяжелых металлов из почвы и в организме растений оценивают различными эколого-геохимическими коэффициентами, примерами которых являются индексы транслокации (TF) и дискриминации (DF) [1]. Актуальным является их использование и анализ применительно растениям из природных экосистем в условиях урбанизированной территории Читы. Коэффициент транслокации отражает эффективность транспорта элементов из подземных в надземные органы и используется при изучении дальнего транспорта металлов [1, 3]. Величина TF зависит от природы элемента (в общем случае для эссенциальных элементов характерна активная транслокация в надземные органы, а для токсичных – существование корневого барьера) и видовой стратегии растения по отношению к данному элементу (для гипераккумуляторов $TF > 1$ даже в случае токсичных элементов, для исключателей $TF < 1$) [1, 4].

Величина коэффициента дискриминации позволяет судить о том, как и насколько, изменяется почвенное соотношение Zn/Cd в растении. При $DF \gg 1$ происходит активное избирательное поглощение Zn , $DF \approx 1$ – указывает на пассивный характер поглощения Zn и Cd из почвы. Значения $DF < 1$ свидетельствуют о преимущественном – по сравнению с почвой – накоплении Cd и характерны для органов, выполняющих барьерную функцию [5].

Материалы и методы

Образцы почв и растений для элементного анализа отбирали из корнеобитаемого слоя (0-15 см) в трехкратной повторности, согласно общепринятым методикам, в июне и августе в период с 2014 по 2017 гг. Подвижные формы (ПФ) Zn и Cd экстрагировали аммиачно-ацетатным буфером ($pH=4,8$).

Для исследования использовали растения семейства Asteraceae – *Artemisia gmelinii* Weber ex Stechm. (полынь Гмелина) и *Stemmacantha uniflora* (L.) Dittrich (большоголовник одноцветковый). Растения высушивали на воздухе, разделялись на органы и после высушивания подвергались мокрому озолению с добавлением концентрированной HNO_3 и 30 %-го раствора H_2O_2 . Перед анализом золу растворяли в концентрированной HCOOH . Определение тяжелых металлов в почве и в золе растений проводили методом инверсионной вольтамперометрии на анализаторе «ТА-Универсал», методом добавок.

Отбор проб осуществляли с площадок: 1 – гора «Титовская сопка» (лесостепной участок), 2 – гора «Чита», на склоне южной экспозиции (лесостепной участок), 3 – гора «Чита», на склоне западной экспозиции (экотон на границе степи и соснового леса), 4 – лесостепной склон западной экспозиции возле мкр. «Сосновый бор», 5 – равнинный степной участок в окр. ГРЭС, 6 – равнинный степной участок в окр. п. Антипиha, 7 – экотон в урочище «сенная падь», 8 – горностепной участок юго-восточной экспозиции Яблонового хребта, 9 – экотон на границе горной степи и смешенного леса на склоне южной экспозиции в урочище «Никишиха».

На основании полученных данных рассчитывали коэффициент транслокации (TF): $TF = \frac{C_{shoot}}{C_{root}}$, где C_{shoot} – концентрация элемента в фотосинтезирующих органах, мг/кг; C_{root} – концентрация элемента в тканях корня, мг/кг [1, 2]. И коэффициент дискриминации Zn/Cd (DF): $DF = \frac{Zn_{plant}/Zn_{soil}}{Cd_{plant}/Cd_{soil}}$, где Zn_{plant} и Zn_{soil} – концентрация цинка в фитомассе и в почве (подвижная форма), в мг/кг; Cd_{plant} и Cd_{soil} – то же для кадмия [1, 5]. Методами описательной статистики рассчитывались: среднее ($M \pm \sigma$) и медиана; взаимосвязь признаков оценивалась корреляционным анализом по коэффициенту Пирсона; уровень значимости по критерию Краскала-Уоллиса в программе PAST 3.0.

Результаты и их обсуждение

Изученные виды относятся к группе многолетних растений с выраженными ксерофильными признаками, широко представленные в лесостепных и степных фитоценозах Восточного Забайкалья. *A. gmelinii* формирует фитоценозы, активно заселяя сильно нарушенные территории. *S. uniflora* напротив крайне чувствителен к разрушению ландшафтов. Однако в экосистемах, имеющих природный почвенный слой, но испытывающий техногенное загрязнение вид произрастает.

Анализ DF для изученных видов имел следующие особенности. Для листьев и корней *A. gmelinii* в условиях большинства пунктов наблюдения отмечалось низкое значение показателя и $DF < 1$ был в 71,88 %, $DF \approx 1$ в 6,25 %, а $DF \gg 1$ в 21,88 % случаев. Это указывает на активное накопление кадмия в барьерных органах, при этом средние значения коэффициента имели минимальные показатели для корней (табл. 1). Данное распределение указывает, что основным источником поступления токсиканта в растения выступает почва, а путь миграции проходит через корневую систему.

Для растений *A. gmelinii* величины $DF \gg 1$ в большинстве случаев отмечались для площадок, расположенных в по окраине леса (экотоны), и имеющих низкую загрязненность почвы (пункт 7 – 7,75 мг/кг (ПФ Zn) и 0,35 мг/кг (ПФ Cd); пункт 9 – 2,87 мг/кг (ПФ Zn) и 0,39 мг/кг (ПФ Cd)). Данные показатели характеризуют интенсивное поступление цинка в фитомассу *A. gmelinii*. По средним и медианным значениям DF выявлено уменьшение показателя в течение вегетационного периода для листьев *A. gmelinii* и его значительный прирост для корней (табл. 1).

Отмечена сильная корреляционная связь между показателями DF в парах «листья июнь – листья август» ($r=0,933$, $p=0,0007$), «корень июнь – лист июнь» ($r=0,858$, $p=0,006$) и «корень июнь – корень август» ($r=0,774$, $p=0,024$). Значимых отличий между совокупностями групп между собой не выявлено.

Для органов *S. uniflora* в большинстве случаев (65,63 %) отмечается величина $DF < 1$, в 12,5 % $DF \approx 1$, а в 18,75 % – $DF \gg 1$ (табл. 1). При этом низкие значения коэффициент имел и для листьев и для корней, что указывает на задержку Cd в барьерных органах. Для экологически чистых пунктов № 1 и 9 (пункт 1 – 5,30 мг/кг (ПФ Zn) и 0,39 мг/кг (ПФ Cd)) отмечались высокие показатели DF, особенно для корней, что указывает на его интенсивное накопление.

По средним и медианным значениям DF у *S. uniflora* выявлено увеличение показателей в течение вегетационного периода и для листьев и для корней (табл. 1). Отмечалась высокий уровень связи между показателями DF в паре «корень июнь – лист июнь» ($r=0,999$, $p < 0,001$). Остальные признаки имели связи средней и низкой силы. Значимых отличий между показателями для *S. uniflora* между собой не отмечено.

Таблица 1

Показатели коэффициентов дискриминации и транслокации, рассчитанные для *A. gmelinii* и *S. uniflora*

<i>Artemisia gmelinii</i>								
Пункты	Коэффициенты дискриминации				Коэффициенты транслокации			
	Лист		Корень		Zn		Cd	
	DF (июнь)	DF (авг.)	DF (июнь)	DF (авг.)	TF (июнь)	TF (авг.)	TF (июнь)	TF (авг.)
Пункт 1	0,48	0,33	0,74	3,46	26,56	161,70	40,63	170,50
Пункт 2	0,04	0,41	0,36	4,32	1,04	0,92	10,00	9,69
Пункт 3	0,33	0,05	0,25	0,91	2,00	2,00	1,50	34,29
Пункт 4	0,04	0,18	0,18	0,11	0,39	1,94	1,75	1,16
Пункт 5	0,04	0,12	0,03	0,08	1,60	2,69	1,00	1,71
Пункт 6	0,40	0,28	0,17	1,57	0,67	0,43	0,28	2,37
Пункт 7	10,52	13,56	0,43	0,22	0,49	1,65	0,02	0,03
Пункт 9	19,70	13,00	1,90	5,43	4,14	5,58	0,40	2,33
Среднее	3,9±2,6	3,5±2,1	0,5±0,2	2,0±0,7	4,6±3,2	22,1±19,9	6,9±4,9	27,8±20,8
Медиана	0,37	0,31	0,31	1,24	1,32	1,97	1,25	2,35
<i>Stemmacantha uniflora</i>								
Пункт 1	18,15	15,82	27,83	2,40	0,85	1,15	1,30	0,17
Пункт 2	0,14	14,57	0,34	1,11	1,14	1,00	2,79	0,08
Пункт 3	0,04	0,11	0,04	0,06	1,79	1,04	1,60	0,61
Пункт 4	0,40	1,14	0,50	0,13	0,84	0,47	1,05	0,05
Пункт 5	0,04	0,06	0,03	0,07	1,46	2,24	1,15	2,88
Пункт 6	0,45	1,95	0,26	0,67	0,80	1,21	0,46	0,42
Пункт 8	0,76	0,60	0,35	0,10	2,62	2,03	1,22	0,32
Пункт 9	1,66	13,61	1,72	50,26	0,68	0,68	0,71	2,50
Среднее	2,7±2,2	5,9±2,6	3,9±3,4	6,8±6,2	1,3±0,2	1,2±0,2	1,3±0,3	0,9±0,4
Медиана	0,43	1,55	0,35	0,40	1,00	1,09	1,19	0,37

По величине коэффициента транслокации для видов отмечались следующие тенденции. У растений *A. gmelinii* в значительном числе проб выявлено превышение показателя TF по цинку в 62,5 % случаев, по кадмию в 68,75 %, тогда как значения $TF \leq 1$ по цинку отмечались в 37,5 %, а по кадмию в 31,25 %. Величины коэффициента и по цинку и по кадмию имели максимальные значения для пунктов № 1, и только по Cd в пункте № 3 (табл. 1). Такие значения TF указывают на интенсивное перемещение в надземные органы элементов и их аккумуляцию в надземной фитомассе в течение вегетации, особенно в условиях интенсивного воздействия техногенных факторов.

По средним показателям коэффициента отмечался прирост в 4 и 4,8 раза по Zn и Cd соответственно, однако медианы имели гораздо более скромные величины. Между всеми парами признаков отмечалась высокая корреляционная связь, имеющая пределы показателя корреляции от 0,96 до 0,99 при уровне значимости $p < 0,001$.

Для *S. uniflora* имелись иные тенденции по перемещению цинка и кадмия от корней к листьям. Вклад $TF \geq 1$ по цинку составлял 62,5 %, по кадмию 50 %, однако значения показателей были небольшими и только в редких случаях превышали 2 единицы (табл. 1). Таким образом, для вида характерна низкая интенсивность миграции Zn^{2+} и Cd^{2+} из корней в надземные органы. По средним и медианным значениям коэффициента транслокации по цинку практически не происходило изменений, тогда как по кадмию отмечалось снижение. Сила корреляционных связей между сравниваемыми признаками имела среднюю и низкую силу, не достигая уровня значимости при $p < 0,05$.

Заключение

По коэффициенту дискриминации оба вида интенсивно накапливают цинк в условиях экологически благоприятных территорий, однако, с ростом загрязненности площадей этот показатель снижался. Кадмий в основном накапливался в корнях, что указывает на их мощное барьерное функционирование. По величинам коэффициента транслокации отмечалось значительное перемещение цинка и кадмия в надземные органы растений в течение вегетации для *A. gmelinii*. Напротив *S. uniflora* характеризовался относительно низкими значениями показателя и его постоянством в течение вегетации, что указывало на низкую скорость перемещения тяжелых металлов из корневой системы в надземные органы.

Литература

1. Железнова О. С., Черных Н. А., Тобратов С. А. Цинк и кадмий в фитомассе древесных растений лесных экосистем: закономерности транслокации, аккумуляции и барьерных механизмов // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2017. – Т. 25. – № 2. – С. 253–270.
2. Jing Y., Cui H., Li T., Zhao Z. Heavy metal accumulation characteristics of Nepalese alder (*Alnus nepalensis*) growing in a lead-zinc spoil heap, Yunnan, southwestern China // iForest – Biogeosciences and Forestry. – 2014. – Vol. 7. – № 4. – P. 204–208.
3. Álvarez-Fernández A., Díaz-Benito P., Abadía A., López-Millán A.-F., Abadía J. Metal species involved in long distance metal transport in plants // Frontiers in plant science. – 2014. – Vol. 5. – № 105. – P. 1–20. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2014.00105>
4. Conn S., Gilliam M. Comparative physiology of elemental distributions in plants // Annals of Botany. – 2010. – Vol. 105. – № 7. – P. 1081–1102.
5. Zhu Y-G., Smolders E. Plant uptake of radiocaesium: a review of mechanisms, regulation and application // Journal of Experimental Botany. – 2000. – Vol. 51. – № 351. – P. 1635–1645.

ZINC AND CADMIUM - ACCUMULATION AND BIOTRANSFORMATION IN WILD PLANTS IN THE CONDITIONS OF THE TECHNOGENIC TERRITORY OF CHITA

E. A. Bondarevich, N. N. Kotsyurzhinskaya, G. Yu. Samoilenko

The urbanized area of Chita is characterized by heavy industrial pollution with heavy metals. To the greatest extent this is due to the accumulation of zinc and cadmium in soils and

their active movement into plant organisms. The work revealed that the herbaceous plants *Artemisia gmelinii* and *Stemmacantha uniflora* actively accumulated zinc, and cadmium was retained in the root system. The active movement of toxicants from the roots to the photosynthetic organs occurred in *Artemisia gmelinii*, whereas for *Stemmacantha uniflora* they were retained in the roots.

Keywords: zinc, cadmium, herbaceous plants, translocation and discrimination factors, barrier function of organs.

ИНДИКАЦИЯ АССОЦИИИ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ПИРОГЕННО-УГОЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ПОЧВАХ ИМПАКТНОЙ ЗОНЫ ЭНЕРГОГЕНЕРИРУЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Т. С. Дудникова, С. Н. Сушкова, Т. М. Минкина, Е. М. Антоненко,
Я. А. Попилешко, А. И. Барбашев, Н. А. Дорохова, И. Г. Дерябкина

*Южный федеральный университет, Академия биологии
и биотехнологии им. Д. И. Ивановского,
г. Ростов-на-Дону, Россия*

Проведена индикация ассоциации полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в почвах импактной зоны энергогенерирующего предприятия. Установлено накопление полиаренов в почвах всех мониторинговых площадок, расположенных на расстоянии от 1 до 20 км от источника загрязнения. Содержание ПАУ в почвах мониторинговых площадок зависело от уровня техногенной нагрузки на территорию по локализации мониторинговых площадок относительно предприятия и направлению преобладающих ветров, а также физико-химических свойств почв. Происхождение ПАУ в почвах рассчитано по соотношениям между индивидуальными ПАУ. Индикационные соотношения ПАУ в данной местности указывают на пирогенно-угольное происхождение ПАУ.

Ключевые слова: ПАУ, идентификация ПАУ, мониторинг, почва.

Введение

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – это группа высокомолекулярных органических веществ, простейшим элементом которых является бензольное кольцо [3]. Данные соединения липофильны, имеют высокую температуру плавления. Образуются в результате сжигания органического топлива в условиях недостатка кислорода. Многие из группы ПАУ проявляют канцерогенную активность [6, 7]. Санитарно-эпидемиологической службой России установлены ограничения содержания в почве только для одного представителя ПАУ – бенз(а)пирена (БаП). Предельно допустимая концентрация (ПДК) по БаП в России составляет 20 нг/г для почвы [2]. Эмиссия БаП составляет 5000 т. в год. В процентном соотношении 60% БаП поступает в окружающую среду в результате процессов связанных со сжиганием угля [5]. Доля угольной промышленности на мировом энергетическом рынке составляет 39 %, а в России – порядка 47%. ПАУ не образуются единично, данные соединения выделяются в виде смесей, которые поступают преимущественно из угольных электростанций в виде различных загрязняющих агентов в газообразном, аэрозольном и твердом состоянии в процессе работы [1].

Объект и методы исследования

Объектом исследования в данной работе являлись почвы территорий, прилегающих к «ОАО Вторая генерирующая компания оптового рынка электроэнергии ПАО ОГК-2 Новочеркасская ГРЭС» (НчГРЭС). НчГРЭС – предприятие с мощностью ≈ 19 ГВт, относится к предприятиям первого класса опасности. За 2017 г. выработка компании составила $\approx 7\%$ (63,5 млрд кВтч) от всероссийского производства электроэнергии. НчГРЭС занимает второе место (в пределах Российской Федерации) по выработке электроэнергии, уступая только Сургутской ГРЭС [8]. Мониторинговые площадки расположены по линии преобладающего направления ветра (Северо-западное (СЗ) направление) (№4, №8 (выезд из станицы Кушевской в сторону г. Новочеркасска), №9 (выезд из г. Новочеркасска в сторону станицы Грушевской), №10 (станция Грушевская)). Вокруг предприятия мониторинговые площадки были приурочены к точкам единовременного отбора проб воздуха для оценки санитарно-гигиенического состояния территории Логотип Управлением Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (площадки № 1-3, 5-7, 11). В почвенном покрове исследуемой территории преобладают черноземы обыкновенные (ЧО) (площадки №1, 4-7, 9-11, где содержание физической глины варьирует от 51 до 55%) но также встречаются аллювиальные (АЛ) (площадка №2, с содержанием физической глины 7%) и лугово-черноземные (ЛЧ) (площадки №3, с содержанием физической глины 67% и №8, с содержанием физической глины 60%) почвы.

В настоящей работе были количественно определены такие ПАУ как: 1) низкомолекулярные: нафталин, Бифенил, флуорен, фенантрен, антрацен, аценафтилен, аценафтен, флуорантен; 2) высокомолекулярные: Пирен, бенз(а)антрацен, хризен, бенз(б)флуорантен, бенз(к)флуорантен, БаП, дибенз(а)антрацен, бенз(г, h, i)перилен.

Почвенные образцы были отобраны в июне месяце, 2018 г. на глубину 0-20 см. Содержание ПАУ в почвенных образцах определяли стандартным методом РД 52.10.556-95 [4] в модификации. Количественное определение ПАУ в экстракте проводили методом высокоэффективной жидкостной хроматографии. Содержание ПАУ в анализируемых образцах рассчитывали по методу внешнего стандарта.

Происхождение ПАУ в почвах устанавливали по соотношениям между индивидуальными ПАУ: $\text{Ант}/(\text{Ант}+\text{Фен})$, $\text{Флт}/(\text{Флт}+\text{Пир})$, $\text{БаП}/\text{BghiП}$. Соотношение $\text{Ант}/(\text{Ант}+\text{Фен})$ менее 0,1 определяет петрогенные источники, более 0,1 – пирогенные [2]. Соотношение $\text{Флт}/(\text{Флт}+\text{Пир})$ менее 0,4 указывает на петрогенное происхождение, от 0,4 до 0,5 – на выбросы при сжигании нефтепродуктов, более 0,5 – на сжигание угля и древесины [2]. Соотношение $\text{БаП}/\text{BghiП}$ менее 0,6 является признаком петрогенного происхождения, от 0,6 до 0,9 – происхождения, связанного с передвижными источниками, более 0,9 – сжигания угля [2].

Результаты количественного анализа суммы всех ПАУ показали существенное превышение содержания ПАУ в почве по сравнению с фоновыми концентрациями. С удалением от НчГРЭС в СЗ направлении (по линии преобладающего ветра) сумма ПАУ уменьшается с расстоянием согласно следующей схеме: площадка №4 (1,6СЗ) – 2757,8 нг/г > №8 (5СЗ) – 1150,9 нг/г > №9 (15СЗ) – 991,5 нг/г > №10 (20СЗ) – 850,6 нг/г. Содержание отдельных ПАУ в целом имеет такую же тенденцию, как и суммарный показатель накопления, однако здесь исключениями стали: Наф, Хри, Флу, и Флн, содержание которых в почвах мониторинговых площадок расположенных по линии преобладающих ветров не убывает с расстоянием (рис. 1).

Накопление ПАУ в почвах площадок, расположенных вокруг НчГРЭС (Рисунок 2), обусловлено, преимущественно, их физико-химическими свойствами за период исследований [17]. В АЛ почве площадки №2 с содержанием физ. глины (7%) содержание ПАУ минимально – 686,0 нг/г. В почвах площадок, представленных ЧО (№1, 5-7), где содержание физической глины варьирует в пределах 51-55%, сумма ПАУ в среднем

составляла 651,0 нг/г. Наивысшую адсорбционную способность по отношению к ПАУ продемонстрировала ЛЧ почва площадки №3, где содержание ПАУ в 20 см слое почвы составило 2232,2 нг/г при 67% физической глины. Содержание ПАУ в почвах с тяжёлым гранулометрическим составом (ГМС) (ЧО и ЛЧ) было в 2-2,5 раза выше чем в почвах с легким ГМС.

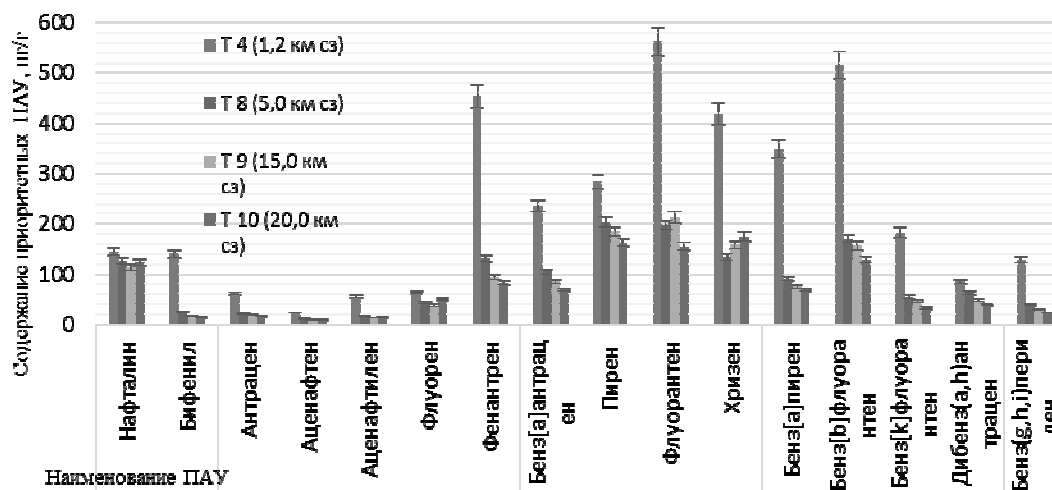


Рис. 1. Содержание отдельных ПАУ в почвах площадок, расположенных по линии преобладающего ветра

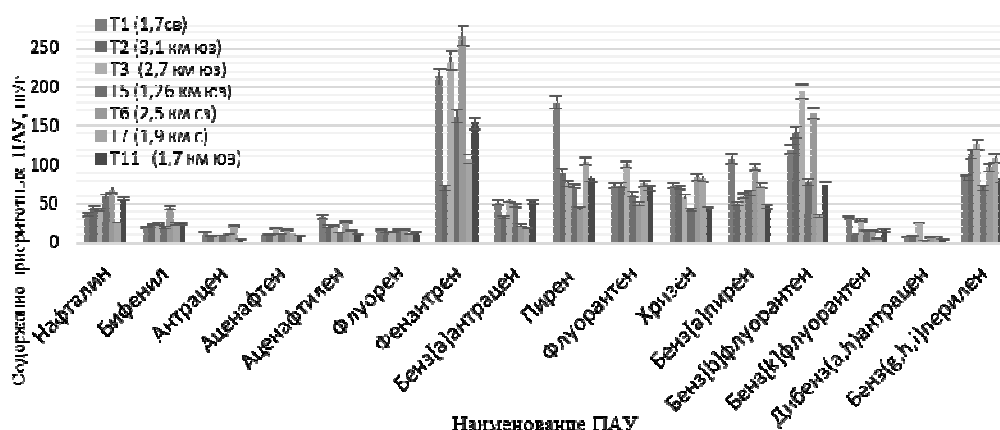


Рис. 2. Содержание отдельных ПАУ в почвах мониторинговых площадок, расположенных вокруг НЧГРЭС

Соотношение суммы: низкомолекулярные ПАУ/высокомолекулярные в размере < 1 свидетельствует о пирогенном происхождении ПАУ для почв площадок, расположенных по линии преобладающего ветра. Соотношение $BaA/(BaA+Хри)$ равное диапазону 0,2-0,45 указывает на пирогенно-угольное происхождение ПАУ [6] для данной территории (рис. 3).

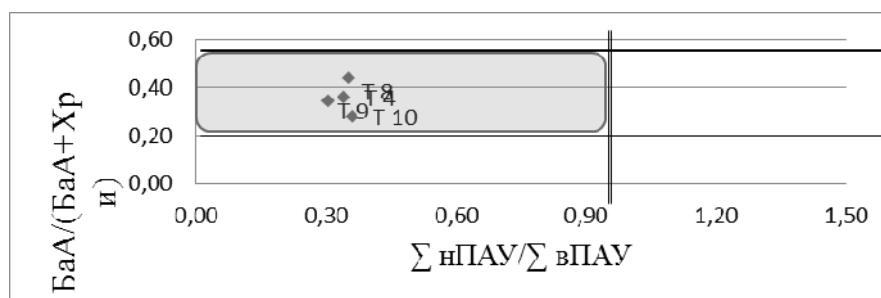


Рис. 3. Диагностические соотношения ПАУ

Заключение

Таким образом, установлено, что количественное распределение ПАУ в почвах мониторинговых площадок исследуемой территории зависит от их расположения относительно линии преобладающего ветра и удаленности от источника эмиссии. Содержание ПАУ в почвах мониторинговых площадок расположенных вокруг предприятия существенно образом зависит от гранулометрического состава, где почвы с высоким содержанием физической глины (ЛЧ 60-67%) способны сорбировать в 2,5 раза большее количество ПАУ по сравнению с АЛ почвами с почвами (7% содержание физической глины). Соотношение суммы низкомолекулярных ПАУ к высокомолекулярным и соотношение БаА/(БаА+Хри) свидетельствует о пирогенно угольном происхождении ПАУ для почв, расположенных по линии преобладающего ветра и неподалеку от жилых массивов (площадки №8-10). ПДК БаП превышено в почвах всех исследуемых площадок. Минимальная концентрация БаП была зафиксирована на площадке №2 - 49,6 нг/г (2,5 ПДК), а максимальная на площадке №4 - 347,8 нг/г (17,4 ПДК).

Литература

1. Лазарев Г. Е., Шаповалов А. Б. Образование доминирующих выбросов при энергогенерации // Экологические и природоохранные проблемы современного общества и пути их решения. – М.: Московский университет им. Витте, 2017. – Ч. 1. – С. 53–66.
2. Константинова Е. Ю. и др. Полициклические ароматические углеводороды в почвах промышленных и селитебных зон Тюмени // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – №. 8.
3. Цибарт А. С., Геннадиев А. Н. Полициклические ароматические углеводороды в почвах: источники, поведение, индикационное значение (обзор) // Почвоведение. – 2013. – №. 7. – С. 788–788.
4. РД 52.10.556-95. Методические указания. Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси. М.: Федеральная служба России по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2002.
5. Яковлева Е. В. и др. Полициклические ароматические углеводороды в системе почва-растение // Теоретическая и прикладная экология. – 2008. – №. 1. – С. 57–64.
6. Gauthier P. T. et al. Metal-PAH mixtures in the aquatic environment: a review of co-toxic mechanisms leading to more-than-additive outcomes // Aquatic toxicology. – 2014. – Т. 154. – С. 253–269.
7. Chunhui W. et al. Characteristics and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban soils: a review // Pedosphere. – 2017. – Т. 27. – №. 1. – С. 17–26.
8. Производство. 15.03.2019. <https://www.ogk2.ru>

INDICATION OF THE ASSOCIATION OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS OF PYROGEN COAL ORIGIN IN SOILS OF THE IMPACT ENERGY GENERATING ENTERPRISE ZONE

**T. S. Dudnikova, S. N. Sushkova, T. M. Minkina, E. M. Antonenko,
Y.A. Popileshko, A. I. Barbashev, I. P. Lobzenko, N. A. Dorohova, I. G. Deryabkina**

An indication of the polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) association in the soils of the power generating enterprise impact zone has been carried out. The accumulation of polyarenes in the soils of all monitoring sites located at a distance of 1 to 20 km from the source of pollution has been established. The PAHs content in the soils of monitoring sites depended on the anthropogenic load level on the territory and the localization of monitoring sites relative to the enterprise and the direction of the prevailing winds, as well as the

physicochemical properties of the soil. The PAHs origin in soils is calculated from the ratios between the individual PAHs. Indication ratios of PAHs in a given area indicate the pyrogen-carbon origin of PAHs.

Keywords: PAH, PAH identification, monitoring, soil.

ОЦЕНКА БИОГЕОХИМИЧЕСКОГО СТАТУСА БАСЕЙНА ТЕЛЕЦКОГО ОЗЕРА

О. А. Ельчининова^{1,2}, О. В. Кузнецова^{1,2}, А. В. Пузанов¹

¹*Институт водных и экологических проблем СО РАН,*

г. Барнаул, Россия

e-mail: gafiver@mail.gornu.ru

²*Горно-Алтайский государственный университет,*

г. Горно-Алтайск, Россия

e-mail: eoa59@mail.ru

Исследовано содержание биогенных и токсичных элементов в почвах и разных частях растительности (надземной, подземной массе и подстилке) бассейна Телецкого озера в системе высотной поясности. В почвах высокогорного пояса уровень валового содержания свинца и кадмия характеризуется как «очень низкий», меди и цинка – «низкий», в почвах горно-лесного пояса – свинца и кадмия «низкий», меди и цинка – «средний». Установленные значения содержания подвижных форм цинка относятся к грациям «низкое», меди и свинца – «среднее», кадмия – «повышенное». Концентрации исследованных элементов в почвах не превышают величин ОДК и ПДК, принятых в России. Максимальные запасы исследованных элементов обнаружены в корнях.

Ключевые слова: почвы, растительные ассоциации, надземная, подземная масса, подстилка, биогенные и токсичные элементы.

Введение

Телецкое озеро – крупнейший горный водоем России, второе в Сибири по объему (после Байкала) хранилище пресной воды, располагается на юге Западной Сибири. Озеро является объектом Всемирного культурного и природного наследия ЮНЕСКО под названием «Золотые горы Алтая». Бассейн Телецкого озера представляет собой горную страну площадью около 20 тысяч квадратных километров, со средней высотой гор 1940 м. Бассейн Телецкого озера частично входит в состав Алтайского государственного природного биосферного заповедника. Другая часть, особенно в летний период, испытывает повышенную антропогенную нагрузку из-за роста количества туристов. Поэтому оценка современного биогеохимического состояния данной территории весьма актуальна и крайне необходима. Полученные данные можно рассматривать как точку отсчета, с превышения которой начинается загрязнение [6], использовать для экспертных оценок состояния таксонов биосферы на различных уровнях жизни [1]. Цель настоящих исследований – оценка биогеохимического статуса бассейна Телецкого озера.

Методы

При проведении полевых исследований были использованы сравнительно-географический, сравнительно-генетический методы. Отбор проб проводили общепринятыми в почвоведении и агрохимии методами. Надземную фитомассу и подстилку от-

бирали с площади 1 м² на участках, сопряженных с почвенными разрезами. Отбор растительных проб проводили в фазу цветения, когда отмечается максимальное поступление химических элементов в надземную массу. Корни отмывали сначала в проточной воде, затем – дистиллированной. Определение содержания тяжелых металлов проводили атомно-абсорбционным методом. Подвижные формы элементов извлекали ацетатно-аммонийным буфером (рН 4,8). При обработке полученной информации использовали вариационно-статистический и корреляционный методы.

Результаты

Из факторов, влияющих на содержание в почве химических элементов и сопряженную с этим транслокацию их в растения, ведущая роль принадлежит составу и свойствам почвы. Максимальные валовые содержания биогенных элементов определены в почвах горно-лесного (медь), высокогорного (марганец) и степного пояса (цинк). Минимальные концентрации этих микроэлементов обнаружены в почвах речных долин, отличающихся легким гранулометрическим составом и повышенным увлажнением. Наибольшие содержания токсичных элементов приурочены к почвам горно-лесного пояса (рис. 1).

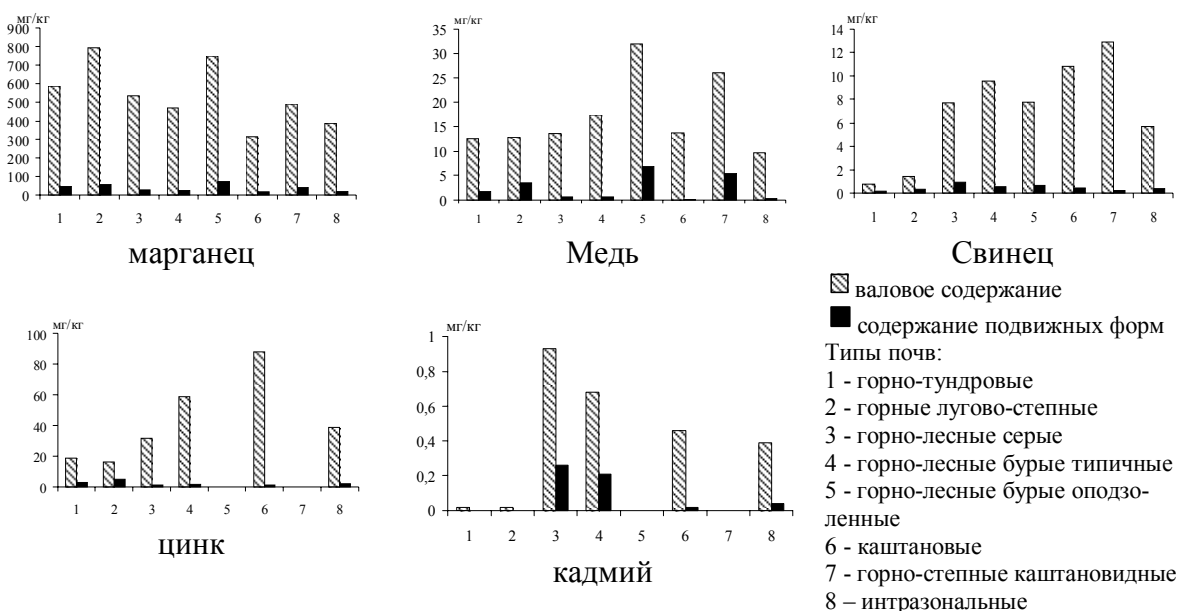


Рис. 1. Содержание тяжелых металлов в почвах

Максимальная степень подвижности для всех исследованных элементов установлена в почвах высокогорного пояса – от 7,2-8,2 (марганец) до 17,9-20,8 (свинец), минимальная – в степных и горно-степных почвах – от 0,5-2,1 (медь) до 4,3-10,0 % (кадмий). Почвы горно-лесного пояса занимают промежуточное положение.

Марганец в почвах с реакцией, близкой к нейтральной и щелочной, менее подвижен. Главным фактором снижения подвижного марганца в степных почвах является возможность образования труднорастворимых карбонатных солей. На кислых почвах мобильность марганца возрастает. В почвах с примерно одинаковой реакцией среды подвижность марганца выше в более легких разновидностях. Аналогичные закономерности обнаружены для остальных биогенных элементов (меди и цинка).

Подвижность свинца и кадмия в исследуемых типах почв в значительной степени обусловлена реакцией среды. Увеличение кислотности влечет переход слаборастворимых солей этих тяжелых металлов в более растворимые кислые соли. Кроме того, при подкислении уменьшается устойчивость металло-гуминовых комплексов. Высокая сте-

пень подвижности кадмия отмечена в почвах горно-лесного пояса (27,9-31,0%). В каштановых почвах этот показатель 4,3%. При тех же отмеченных закономерностях подвижность свинца ниже. Полученные данные близки к литературным. Так, подвижность свинца в дерново-подзолистых почвах зоны смешанных лесов европейской части России составила 22,1%, кадмия – 31,9% [7]. На повышенную подвижность кадмия в почвах Западной Сибири указывает В.Б. Ильин [2].

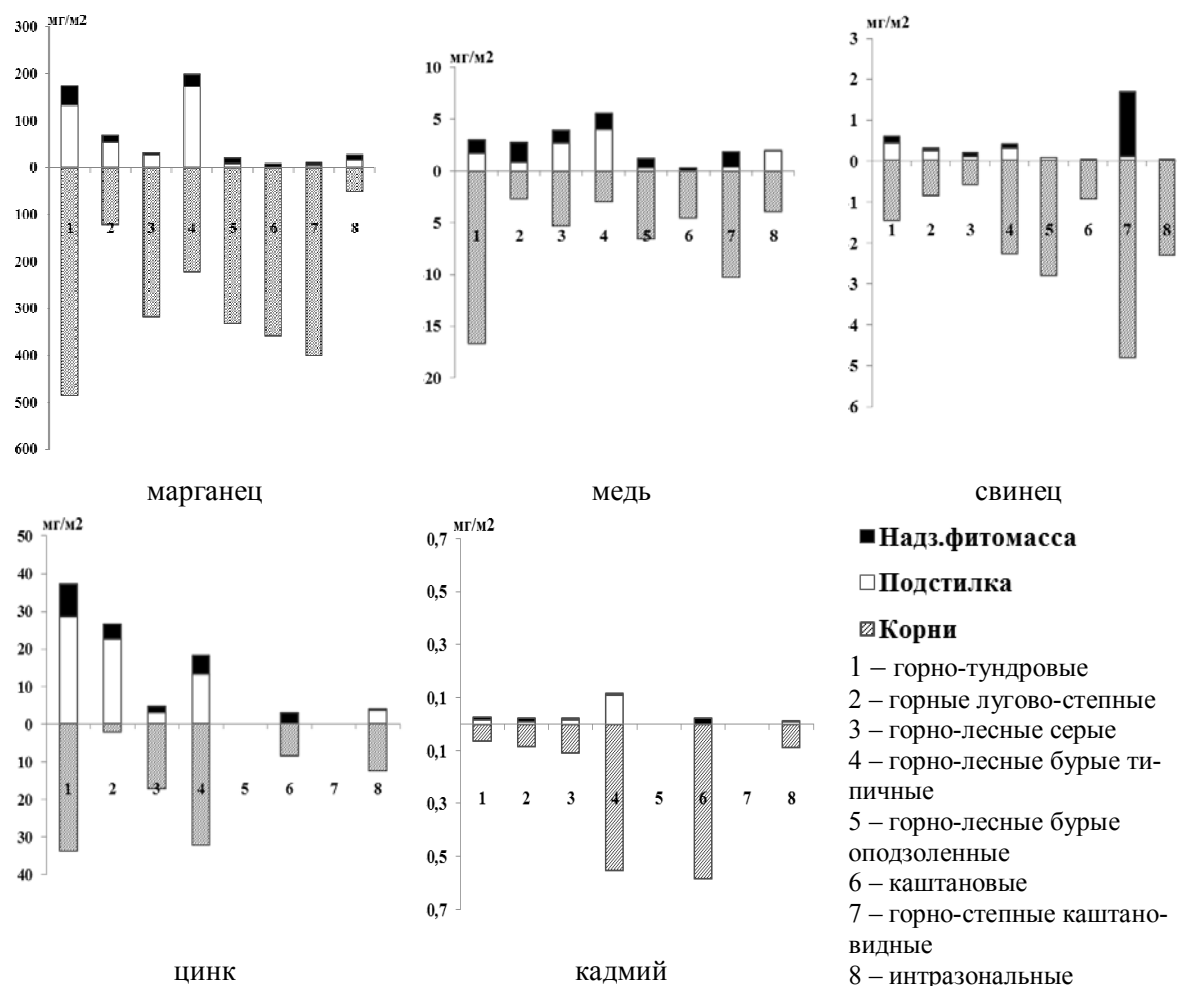


Рис. 2. Запасы элементов в разных частях растительных ассоциаций

По шкале экологического нормирования для почв со слабокислой и кислой реакцией среды по А.И. Обухову [3] в почвах высокогорного пояса уровень валового содержания свинца и кадмия характеризуется как «очень низкий», меди и цинка – «низкий», в почвах горно-лесного пояса – свинца и кадмия как «низкий», меди и цинка – «средний». Установленные значения содержания подвижных форм цинка можно отнести к грациям «низкое», меди и свинца – «среднее», кадмия – «повышенное». Концентрации исследованных элементов в почвах не превышают величин ОДК и ПДК, принятых в России [4, 5]. Выше изложенное свидетельствует об отсутствии загрязнения исследованных типов почв тяжелыми металлами.

Контрастность рельефа, климата и почв обусловили разнообразие растительного покрова. Для большинства типов почв биогенным элементам свойственен следующий убывающий ряд накопления (мг/кг): подстилка > надземная масса > корни; токсичным – подстилка > корни > надземная масса. Но поступление элемента обратно в почву определяется не только его содержанием в частях растительных ассоциаций, но

и в большей мере, их запасами, которые определяются по формуле: $Z = C \times M$, где Z – запас элемента, мг/м²; C – содержание элемента, мг/кг; M – масса части растительной ассоциации, кг/м². В естественных травянистых луговых, степных ассоциациях распределение массы обычно выглядит следующим образом: корни > подстилка > надземная масса. На сенокосах, пастбищах или стихийно стравливаемых участках подстилка может отсутствовать вообще.

Наибольшая доля запаса элементов на единицу площади сосредоточена в корневой системе (рис. 2). Запасы марганца в корнях растений в почвах горно-лесного пояса варьируют от 52,8 до 90,7%, высокогорного пояса – от 63,5 до 73,6%. Немного ниже эти показатели для меди и цинка. Несмотря на разные механизмы поглощения и распределения по органам растений кадмия и свинца, доля запасов этих токсикантов, сосредоточенная в корневой системе отличается незначительно и варьирует от 67,8 до 95,9% (кадмий) и от 70,7 до 98,7% (свинец). В почвах степного пояса в корневой системе концентрируется более 95% всех исследованных элементов.

Подстилка является концентратором химических элементов, поглощенных из почвы, и в дальнейшем – потенциальным источником поступления их в почву. В лесной подстилке в горно-лесном поясе сосредоточено более 40% марганца и меди, 11,6-15,0% свинца и 13,8-16,4% кадмия. В степном поясе подстилка не играет большой роли в круговороте химических элементов ввиду её небольшого количества или полного отсутствия. В надземной массе растений высокогорного и горно-лесного поясов сосредоточено 6,3-14,2%, марганца, 6,6-18,6% меди, 7,8-14,0% цинка, доля токсичных элементов еще ниже. В степном поясе эти показатели не превышают 4-6%.

Заключение

Выше изложенное свидетельствует об отсутствии загрязнения почв тяжелыми металлами. По запасам биогенных и токсичных элементов части растительных ассоциаций высокогорного и горно-лесного поясов можно расположить в следующий убывающий ряд: корни > подстилка > надземная масса, степного пояса – корни > надземная масса ≥ подстилка.

Литература

1. Ермаков В. В. Геохимическая экология и биогеохимические критерии оценки экологического состояния таксонов биосферы // Геохимия. – 2015. – № 3. – С. 203–221.
2. Ильин В. Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва – растения. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007.
3. Обухов А. И., Ефремова Л. А. Охрана и рекультивация почв, загрязненных тяжелыми металлами // Тяжелые металлы в окружающей среде и охрана природы: Тез. докл. 2-й Всесоюз. конф. – Ч. 1. – М., 1988. – С. 23.
4. Ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2511-09. – М., 2009.
5. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2401-06. – М., 2006.
6. Сысо А. И. Закономерности распределения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007.
7. Черных Н. А., Прасанна Джагат. Формы и трансформация соединений свинца и кадмия в разных типах почв // Вестник РУДН. Сер. Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2000. – № 4. – С. 82–88.

ASSESSMENT OF THE BIOGEOCHEMICAL STATUS OF THE BASIN OF LAKE TELETSKOYE

O. A. El'chininova, O. V. Kuzneczova, A. B. Puzanov

The content of biogenic and toxic elements in soils and different parts of vegetation (overground phytomass, underground phytomass and litter) of the lake Teletskoye basin in the system of high-altitude zones is investigated. In the soils of the Alpine zone, the level of gross content of lead and cadmium is characterized as «very low», copper and zinc – «low», in the soils of the mountain-forest zone – lead and cadmium is characterized as «low», copper and zinc – «medium». The established values of the content of mobile forms of zinc can be attributed to gradations of «low», copper and lead – «average», cadmium – «increased». The concentrations of the studied elements in soils do not exceed the values of UEC and MPC accepted in Russia and abroad. The maximum reserves of the studied elements were found in the roots.

Keywords: soils, plant associations, overground phytomass, underground phytomass, litter, biogenic and toxic elements.

РАВНОВЕСИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЧВЫ И РАСТЕНИЯ КАК ОБЪЕКТИВНЫЙ НАУЧНЫЙ ПРИНЦИП ЗАКОНА МАКСИМУМА И МИНИМУМА

Ю. И. Ермохин, О. Ю. Илюшкина

*Омский государственный аграрный университет,
г. Омск, Россия*

Изучая различные аспекты минерального питания по уровню содержания доступных для растений элементов в почве, мы вносим удобрения в почву, которые являются посредниками между двумя законами земледелия. Химический процесс, непрерывно идущий в почве и в растении – это два сопряженных процесс. И здесь существует очень точно установленные биологические равновесия химических элементов в природе механизм которых современная наука пока стремится познать.

Ключевые слова: система «ИСПРОД», оптимум, максимум, минимум, удобрения, ионное равновесие почвы, растений.

Существующие сегодня методы: полевой опыт, визуальный, почвенный, растительный (каждый в отдельности) не могли дать исчерпывающей информации о режиме питания растений [1, 3, 5, 6]. Поэтому в последние годы большой интерес представляет комплексный метод, который объединяет все выше перечисленные методы и позволяет оценить потребности растений в элементах питания с использованием экспрессных методов на основе обратной связи – в системе «удобрение ↔ почва ↔ растение» – идентификация ответной реакции почвы и развивающихся растений на этой почве [2, 7, 8, 9–13]. Комплексный метод «ИСПРОД ОмГАУ» (интеграционная система почвенно-растительной оперативной диагностики) достаточно полно разработан, в 70–80-е годы прошлого столетия, в условиях Западной Сибири для овощных, зерновых, масличных, кормовых, лекарственных культур. Использование данного метода позволяет научно прогнозировать действие удобрений, величину и качество урожая, проводить коррек-

цию питания растений на ходу процесса роста и развития, используя формулу листового анализа.

При диагностировании азотного питания растений нельзя не обратить внимание ещё на один элемент – фосфор, его количественного соотношения ($P_2O_5:N-NO_3$). Фосфор начинает поступать в растения на самых ранних фазах жизнедеятельности, в тот период, когда питание растений шло ещё за счет материнских запасов семени.

Так, на серых лесных почвах в условиях Западно-Сибирского Нечерноземья наилучшие дозы минеральных удобрений под многолетнюю культуру козлятник восточный были внесены в сочетании 1:4:8 (с шагом класса 45 кг. д.в./га). При разовом внесении удобрений общая урожайность биомассы составила в среднем за четыре года 142.1 т/га, прибавка 45.4 т/га или 46.9%.

Для получения данного урожая кормовой культуры (142.1 т/га) оптимальный уровень содержания подвижного фосфора и обменного калия в серой лесной почве составил, мг/кг (формулы 1,2): $C_{\text{опт.}}, P_2O_5 = 75.4 + 0.27N_{\text{кг}} + 0.131 P_{\text{кг}} + 0.11K_{\text{кг}}$, мг/кг (1); $C_{\text{опт.}}, K_2O = 63.4 + 0.11 K_{\text{кг}} + 0.024 P_{\text{кг}} + 0.111N_{\text{кг}}$, мг/кг (2), где 75.4 и 63.4 мг P_2O_5 и K_2O мг/кг содержание подвижного фосфора и обменного калия в слое – 20 см. в серой лесной почве до внесения удобрения: $N_{\text{кг}}$, $P_{\text{кг}}$, $K_{\text{кг}}$ – каждый килограмм внесенного азота, фосфора и калия в почву увеличивает содержание P_2O_5 , соответственно на 0.27, 0.131 и 0,11 мг/кг (уравнение 1) и обменного калия на 0.11, 0.024 и 0,111 мг/кг (уравнение 2).

Согласно установленных наилучших доз удобрений в полевых опытах 2016-2018 гг. ($N_{45}P_{180}K_{360}$) – оптимальный уровень P_2O_5 и K_2O в слое почвы 0-20 см., для формирования урожайности козлятника восточного 142.1 т/га равен, соответственно, 151 и 112 мг/кг, с ионным равновесием согласно уравнению (3): $P_2O_5 \text{ мг/кг} \approx (10N-NO_3 \text{ мг/кг}) \approx 1.34 K_2O \text{ мг/кг}$ (3). Из уравнения (3) следует, что при уровне соотношения между $P_2O_5:(N-NO_3) > 10$ и $P_2O_5: K_2O > 1.34$ в почве культура козлятник будет нуждаться в питании азотом и калием.

Как показали многолетние исследования вносимые дозы минеральных элементов оказывали влияния не только на изменение содержания основных (N, P_2O_5 , K_2O) в серой лесной почве, но и в следствии процессов влияния антагонизма и синергизма на концентрацию и ионное равновесие микроэлементов (B, Mo, Co, Mn, Cu, Zn) (табл. 1).

Таблица 1

**Изменение содержания микроэлементов
в почве при внесении макроэлементов**

Удобрения	Коэффициенты интенсивности действия «в» мг/кг				
	Mo	Co	Mn	Cu	Zn
ДN кг/га	0.0170	0.0004	0.0444	0.0016	-0.002
Д P_2O_5 кг/га	0.0006	0.0006	0.0056	0.0035	0.0012
Д K_2O кг/га	0.0003	0.0004	0	0.0008	0.0001

Представленные в таблицах и уравнениях уровни и соотношения элементов питания растений получены на основе многолетних данных полевых, вегетационных, лабораторных и статистических методов, полученных в системе: «удобрение ↔ почва ↔ растение» с использованием метода обратной связи.

В табл. 2 показано содержание и соотношение микроэлементов в растениях козлятника восточного при внесении оптимальных доз $N_{45}P_{180}K_{360}$.

В табл. 3 показаны прогнозы содержания оптимальных уровней и соотношения элементов питания в растениях согласно уравнениям (11–17), которые согласуются с фактическими количественными характеристиками в растениях при получении najwyżшего урожая козлятника восточного.

Таблица 2

Идентификация ответной реакции растений козлятника восточного на изменения содержания микроэлементов при внесении $N_{45}P_{180}K_{360}$

Содержание в растениях, мг/кг	Уравнения оптимального баланса и уравновешенного питания растений
Mo	$Mo=1.42+0.0073N+0.0007P+0.0012K=2.31$ мг/кг (11)
Co	$Co=0.098+0.0003N+0.0002P-0.0001K=0.111$ мг/кг (12)
Mn	$Mn=35.78+0.0704N+0.0117P-0.246K=32.2$ мг/кг (13)
Cu	$Cu=6.45+0.0464N+0.0013P-0.0034K=3.37$ мг/кг (14)
Zn	$Zn=26.38+0.0473P-0.0106K-0.0106N=26.16$ мг/кг (15)
Соотношение элементов питания	
Растение (контроль)	$Mn \approx 25.2Mo \approx 365.1Co \approx 5.55Cu \approx 1.4Zn$ (16)
Растение (уравновешенное)	$Mn \approx 13.9Mo \approx 290Co \approx 9.55Cu \approx 1.2Zn$ (17)

Таблица 3

Прогнозирование содержания микроэлементов в растениях козлятника восточного при оптимальных дозах ($N_{45}P_{180}K_{360}$) внесения удобрений

Уровни	Микроэлементы в растениях, мг/кг				
	Mo	Co	Mn	Cu	Zn
До внесения удобрений	1.42	0.098	35.78	6.45	26.38
	Соотношение: $Mn \approx 25.2Mo \approx 365Co \approx 5.55Cu \approx 1.4Zn$				
Фактические (после внесения удобрений)	2.33	0.126	32.18	3.39	26.18
	Соотношение: $Mn \approx 13.8Mo \approx 255Co \approx 10.4Cu \approx 1.3Zn$				
Прогноза (по уравнениям)	2.31	0.112	32.2	3.37	26.18
	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
Ошибка прогноза, %	-0.9	-12.5	0.06	-0.6	-0.08

Прогноз уравновешенного питания: $Mn \approx 13.9$; $Mo \approx 290$; $Co \approx 9.6$; $Cu \approx 1.2Zn$.

Согласно полученных данных фактических уровней содержания и соотношения микроэлементов при формировании биомассы козлятника восточного, каждый из ионов: Mo, Co, Cu, Zn «притягивает» к себе Mn, соответственно 25;365;5.55;1.4 ионов (уравнение 16), в то время как при оптимизации уравновешенного питания при формировании высокой урожайности (прибавка >52%) соотношение оценивается иными величинами: 13.8-13.9, 255-290, 9.6-10.4, и 1.2-1.3 (уравнение 17). Следовательно, при создании органического вещества урожая между элементами питания, в период развития растений, выстраиваются определенные соотношения, которые при оптимальном ионном равновесии взаимно ограничивают поступление элементов питания в растения, что и характеризует физиологически уравновешенное питание, минуя процессы антагонизма и синергизма ионов.

Заключение

Рассматривая равновесие минеральных элементов почвы и растений как объективный научный принцип закона минимума и максимума, приходим к заключению, что если тот или иной элемент питания находится в минимальной дозировке – является фактором лимитирующим, то он ограничивает действие других элементов (в частности, микроэлементов), находящихся в почве даже в «нормальной» дозировке, что, в свою очередь, сказывается на продуктивности растений.

С переходом элемента в почве из лимитирующего в область оптимальных дозировок ограничение его как лимитирующего фактора снижается, и ряд других микроэлементов, взаимодействуя с ним, проявляют полную эффективность, соответствующую агрохимическим и физиологическим особенностям каждого из них. Эффект взаимодействия ионов возрастает в положительном направлении. Наблюдается явление синергизма между основными элементами питания и микроэлементами. Степень несбалансированности минерального питания снижается и приближается к уровню сбалансированного гармонического питания, при котором продуктивность растений достигает наибольшего эффекта. При дальнейшем же переходе элемента питания в почве через оптимальный уровень до высоких дозировок, эффект взаимодействия элементов в растениях возрастает, принимая часто противоположные направления. Наблюдаются антагонистические отношения между элементами, которые отрицательно влияют на продуктивность растений.

Литература

1. Власюк П. А. Биологические элементы в жизнедеятельности растений. – Киев: Изд-во «Наукова думка», 1969.
2. Ермаков В. В. Современные тенденции развития биогеохимии в условиях техногенеза биосферы. // Биохимия химических элементов и соединений в природных средах: Материалы школы-семинара для молодых исследователей, посвященной памяти В. Б. Ильина). – Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2016. – С. 16–20.
3. Ермохин Ю. И. Почвенно-растительная оперативная диагностика «ПРОД-ОмСХИ» минерального питания, эффективности удобрений, величины и качества урожая с.-х. культур. – Омск: ОмГАУ, 1995.
4. Ермохин Ю. И. Экспресс методы химической диагностики потребности с.-х. культур в удобрениях: Учеб. пособие. – Омск: Вариант-Омск, 2010.
5. Ермохин Ю. И. Антагонизм и синергизм ионов при поступлении их в растения козлятника восточного // Экологическое состояние почв и растений Западной Сибири и проблемы их качества // Сб. науч. тр. – Омск: ОмГАУ, 1997. – С. 6–13.
6. Ермохин Ю. И., Синдирева А. В. Взаимосвязи питания растений. – Омск: Изд-во ФГБОУ ВПО ОмГАУ, 2015.
7. Lundegårdh H (1951) Leaf Analysis (translated by Mitchell RL). – London: Hilger & Watts, 1951.
8. Магницкий К. П. Диагностика потребности растений в удобрениях. – М.: Моск. рабочий, 1972.
9. Прево П., Олландье М. Закон минимума и сбалансированное минеральное питание // Анализ растений и проблемы удобрения. – М., 1964. – С. 247–270.
10. Сабинин Д. А. Физиологические основы питания растений. – М.: Изд-во АН СССР, 1995.
11. Соколов А. В. Роль методов растительной диагностики в решении агрохимических проблем // Диагностика потребности растений в удобрениях. – М., 1970. – С. 8–10.
12. Управление почвенным плодородием и питанием культурных растений: Моногр.: В 4 т. / Ю. И. Ермохин. – Омск: Вариант-Омск, 2013.
13. Эммерт Ф. Влияние Взаимодействия ионов на состав растительных тканей. – М.: Мир, 1964. – С. 218–233.

**THE BALANCE OF MINERAL ELEMENTS OF SOILS AND PLANTS
AS AN OBJECTIVE SCIENTIFIC PRINCIPLE
OF THE LAW OF THE MAXIMUM AND MINIMUM**

Y. I. Yermokhin, O. Y. Ilyushkina

Considering the balance of mineral elements of soil and plants as an objective scientific principle of the law of minimum and maximum, we come to the conclusion that if a particular food element is in the minimum dosage - is a limiting factor, it limits the action of other elements (in particular, trace elements) in the soil, even in the "normal" dosage, which, in turn, affects the productivity of plants.

With the transition of the element in the soil from limiting to the area of optimal dosages, its limitation as a limiting factor decreases, and a number of other trace elements, interacting with it, show full efficiency corresponding to the agrochemical and physiological characteristics of each of them. The effect of ion interaction increases in a positive direction. There is a phenomenon of synergy between the basic nutrients and trace elements. The degree of imbalance of mineral nutrition is reduced and approaches the level of balanced harmonic nutrition, in which the productivity of plants reaches the greatest effect. With the further transition of the element in the soil through the optimal level to high dosages, the effect of the interaction of elements in plants increases, often taking opposite directions. There are antagonistic relations between the elements that negatively affect the productivity of plants.

Keywords: system, "ISPROD", optimum, maximum, minimum, fertilizers, ion balance of soil, plants.

**РАЗРАБОТКА ИННОВАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
БИОРЕМЕДИАЦИИ ПОЧВЫ И ВОДЫ,
ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТОКСИЧНЫМИ ХИМИЧЕСКИМИ ВЕЩЕСТВАМИ**

**Г. А. Жариков, А. И. Марченко,
О. А. Крайнова, В. П. Дядищева, Л. В. Челпых**
*Государственный научный центр «Институт иммунологии»
Федерального медико-биологического агентства России,
г. Москва, Россия;
Научно-исследовательский центр токсикологии
и гигиенической регламентации биопрепаратов (НИЦ ТБП) –
филиал ГНЦ «Институт иммунологии» ФМБА России,
пос. Большевик, Московская область, Россия
e-mail: zharikov@toxicbio.ru*

В ходе всесторонних исследований проводится выделение и селекция микроорганизмов, способных разлагать в почве и/или воде токсичные химические вещества. Разработаны технологии применения этих микроорганизмов для очистки промышленных территорий и мест аварийных разливов. Проведена токсиколого-гигиеническая оценка безопасности применения микроорганизмов при внесении в почву и на стены зданий. В процессе биоремедиации выявлено снижение интегральной токсичности и фитотоксичности очищаемой почвы, повышение ее биологической активности (уровень дегидрогеназ, гидролаз, интенсивность разложения целлюлозы...).

Разработана необходимая нормативно-техническая документация по биоремедиации территорий, загрязненных токсичными химическими веществами и СОЗ.

Ключевые слова: биоремедиация почвы, очистка грунтовых и ливневых вод, микроорганизмы-деструкторы, полихлорированные бифенилы, нефтепродукты, ракетное топливо – гептил, этиленгликоль, иприт, гербициды, пестициды.

Введение

Интенсификация промышленной и сельскохозяйственной деятельности привело к значительному загрязнению окружающей среды токсичными химическими веществами. Опасность воздействия поллютантов связана не только с непосредственным контактом с ними, но и с опосредованным воздействием через загрязненные почву и воду, выращиваемую сельскохозяйственную продукцию. Большинство токсичных веществ очень медленно подвергаются естественному разложению и мигрируют в природной среде, вызывая опасные заболевания у животных и людей.

Для ремедиации загрязненных территорий биологические технологии являются наиболее предпочтительными вследствие своей экологической безопасности, низкой себестоимости работ и достаточно высокой эффективности, что было неоднократно продемонстрировано при решении различных экологических задач. Поэтому разработка и внедрение в практику эффективных технологий биоремедиации почвы и воды, загрязненных токсичными химическими соединениями, крайне актуальна.

В отделе экологической биотехнологии НИЦ ТБП более 20 лет проводятся исследования по разработке технологий биоремедиации загрязненных почв. Организован музей живых культур природных штаммов микроорганизмов – деструкторов поллютантов. Создан музей промышленных линий дождевых червей и биотестов (дафний, рыб группы).

Разработка технологий биоремедиации почв проводится по Государственным заказам Федерального медико-биологического агентства России, по конкурсным проектам Международного научно-технического центра (МНТЦ) и хозяйственным договорам.

Методы

Во время экспедиций на территории России проводится отбор проб почвы с территорий, загрязненных в результате деятельности предприятий нефтехимической отрасли, в местах добычи и переработки нефти, возле складов ядохимикатов и т.д.

В ходе всесторонних лабораторных исследований из загрязненной почвы проводят выделение и селекцию микроорганизмов, способных наиболее активно разлагать в почве и/или воде целевой поллютант. Изучают условия культивирования штаммов микроорганизмов-деструкторов, их эффективность деструкции загрязнителя, биологическую активность и интегральную токсичность почвы до и после биоремедиации, состояние сапрофитной микрофлоры.

Затем отобранные штаммы микроорганизмов проверяют на безопасность для теплокровных животных. Токсикологические испытания проводят на лабораторных линиях белых мышей и крыс по наиболее строгим критериям, принятым в международной практике: вирулентности, токсичности, токсигенности и диссеминации в органах и тканях лабораторных животных. В НИЦ ТБП имеется лабораторная база для проведения таких исследований (виварный комплекс), которая аттестована по международному стандарту GLP, оснащена необходимым оборудованием, а персонал прошел обучение в США и России по вопросам гуманного отношения с лабораторными животными.

Только после комплекса лабораторных исследований приступают к опытно-промышленным испытаниям микроорганизмов «*in situ*» в полевых условиях. По результатам химических анализов и оценки интегральной токсичности почвы до и после биоре-

медиации, судят об эффективности проведенных работ. Это позволяет гарантировать безопасное применение в окружающей среде микроорганизмов для очистки почв. На основании проведенных лабораторных и полевых исследований разрабатывают технологию применения «*in situ*» микроорганизмов для биоремедиации загрязненных почв. Полученные штаммы микроорганизмов деструкторов депонируют во Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов - ВКПМ (г. Москва, ВНИИ генетики) и патентуют.

Отработана методология и подобрано оборудование для мелкодозированного аэрозольного внесения в почву и на стены зданий микробной суспензии на примере бактерий и дрожжей.

Разработана необходимая нормативно-техническая документация по биоремедиации территорий, загрязненных токсичными химическими веществами и СОЗ.

Результаты

А. Биологический способ очистки почв, загрязненных ракетным топливом

По Государственному заказу ФМБА РФ разработана технология микробной биоремедиации почв, загрязненных высокотоксичным ракетным топливом – гептилом (несимметричным диметилгидразином – НДМГ). Гептил и авиакеросин широко используют в качестве топлива на космических кораблях. При падении отделяющихся первых ступеней ракет, в случае аварийных ситуаций НДМГ попадает в природные экосистемы в районах, прилегающих к космодромам Байконур, Плесецк, Восточный. НДМГ обладает канцерогенным, мутагенным, эмбриотоксическим и тератогенным действием, вызывая развитие злокачественных опухолей у людей.

В ходе исследований из природных, длительное время загрязненных почв были выделены микроорганизмы, способные разлагать НДМГ. Они удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к промышленным микроорганизмам. Штамм-биодеструктор депонирован в ВКПМ, на него оформлен патент России.

На экспериментальном полигоне НИИ ХИММАШ «Индекс» в 2006–2008 гг. проведены полевые испытания биотехнологии, отработаны режимы ее применения. В ходе микробной очистки почвы токсичных продуктов разложения НДМГ не образуется.

Б. Разработка технология микробиологической очистки почв, загрязненных полихлорированными бифенилами

По данным ВОЗ (UNEP Chem.) полихлорбифенилы входят в число 12 наиболее опасных и трудноразлагаемых загрязнителей окружающей среды. При финансовой поддержке МНТЦ с 1996 г. (проекты № 228, 2093 и 3067) в НИЦ ТБП разработана технология биоремедиации почв, загрязненных ПХБ. Были выделены 2 штамма микроорганизмов, способных эффективно разлагать ПХБ. Эти штаммы депонированы во ВКПМ, на них оформлены международные патентные заявки РСТ, патенты России и США. При финансовой поддержке МНТЦ и городской Администрации в 2001 г. в г.Серпухове были проведены широкомасштабные испытания разработанной биотехнологии на территории конденсаторного завода и в прилегающей жилой зоне, общей площадью 2 га. Проект курировало Агентство по защите окружающей среды США. Испытания показали, что в течение летнего сезона микроорганизмы активно разрушали ПХБ. Степень разложения полихлорбифенилов варьировала в зависимости от исходной концентрации ПХБ в почве, степень разложения ПХБ составила до 90%. После биоремедиации интегральная токсичность почвы (биотестирование на дафниях) значительно снизилась и достигла допустимого уровня, т. е. биотехнология экологически безопасна. Оценку эффективности мероприятий по снижению риска здоровья населения, проживающего в зоне биоремедиации, выполняли в соответствии с методикой EPA “RISK ASSESSMENT”. Расчеты показали, что после очистки загрязненной почвы индивиду-

альный канцерогенный риск населения, проживающего в зоне биоремедиации, уменьшается практически в 30 раз, с 2.8×10^{-3} до 1.1×10^{-4} .

Биотехнология одобрена к применению комиссией Миннауки России и ВОЗ (под-программа UNEP Chem.). В 2006 г. разработанная биотехнология по проекту TACIS 2005/099-720 прошла оценку немецких экспертов и была рекомендована к практическому применению в России и в Евросоюзе.

В. Технология биоремедиации почв, загрязненных фосфорорганическими соединениями

Широкое и бесконтрольное применение в сельском хозяйстве пестицидов, гербицидов, инсектицидов и т.п. привело к значительному загрязнению окружающей среды токсичными соединениями.

По проекту МНТЦ № 1892 разработана технология микробной ремедиации почв, загрязненных фосфорорганическими гербицидами (глифосатом и др.) путем расщепления прямой С-Р связи. Микрополевые испытания показали, что внесение микроорганизмов-деструкторов способствовало восстановлению биологических свойств почвы, привело к разложению глифосата в течение 1 месяца на 89%. На биотехнологию и штамм микроорганизмов оформлен патент России.

Г. Разработка технологии биоремедиации почв, загрязненных продуктами гидролиза иприта

В соответствии с Международной конвенцией проводятся работы по уничтожению запасов химического оружия и рекультивации загрязненных почв. Кроме того, большую экологическую проблему представляет химическое оружие, затопленное в Балтийском море в период окончания II Мировой войны. По проекту МНТЦ № 2488 выделены микроорганизмы, способные осуществлять деструкцию продуктов первичного гидролиза иприта (ПГИ).

Получена ассоциация из 2 штаммов микроорганизмов-деструкторов пригодная для биоремедиации «*in situ*» почв, загрязненных продуктами гидролиза иприта. На технологию биоремедиации почв и ассоциацию микроорганизмов-деструкторов оформлена Международная патентная заявка РСТ.

На базе Объекта по уничтожению химического оружия (п. Леонидовка Пензенской обл.) в 2013–2014 гг. проводили лабораторные эксперименты по изучению возможности детоксикации почвы, загрязненной ипритно-люизитно-мышьяковой смесью, при помощи ассоциации микроорганизмов. В течение 1 месяца в загрязненной почве проходила 100% деградация тиодигликоля, значительно снижались концентрации β -хлорвиниларсиноксида и β -хлорвиниларсоновой кислоты. Интегральная токсичность и фитотоксичность почвы после биоремедиации снизились до безопасного уровня, тогда как в контроле (без обработки микроорганизмами) почва оставалась токсичной.

Д. Биотехнология очистки почв от полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) микроорганизмами ризосферы растений

По проекту МНТЦ # 1429 разработана технология очистки почв от загрязнения ПАУ на основе применения хемотаксически активных микроорганизмов ризосферы растений. Биodeградация ПАУ микроорганизмами осуществляется интенсивнее в ризосфере растений, чем непосредственно в почве. На микроорганизмы-деструкторы получены патенты России.

Е. Разработка и полевые испытания технологии мелкодозированного внесения в почву микробной суспензии для биоремедиации территорий предприятий, загрязненных токсичными химическими веществами

Отработана методология и подобрано оборудование для мелкодозированного внесения в почву микробной суспензии на примере бактерий и дрожжей. Изучена выживаемость микроорганизмов-деструкторов под действием солнечного излучения при их

мелкодозированном внесении в почву и на стены зданий. Использование микрокапсулированных микроорганизмов-деструкторов снижает стресс от внесения в загрязненную токсичную почву, повышает их активность, способствует повышению эффективности рекультивации.

Разработана необходимая нормативно-техническая документация по биоремедиации территорий, загрязненных токсичными химическими веществами и СОЗ. Это позволяет высокоэффективно и оперативно проводить работы по рекультивации загрязненных территорий промышленных предприятий, и снизить риск заболеваемости у людей, работающих или проживающих возле химически опасных предприятий, курируемых ФМБА России.

Ж. Разработка и полевые испытания микробного биофильтра для очистки ливневых вод химически опасных производств

По Государственному заказу ФМБА РФ разработан проточный биофильтр, встраиваемый в существующую систему ливневой канализации предприятий, позволяющий проводить очистку ливневых вод от загрязняющих веществ, с использованием иммобилизованных микроорганизмов-деструкторов. Биофильтр оригинальной конструкции не оказывает значительного сопротивления току воды. При прохождении воды через биофильтр, загрязняющие химические вещества сорбируются на его ткани и разлагаются микроорганизмами-деструкторами. Опытные образцы биофильтров успешно прошли опытно-промышленные испытания в г. Серпухове и п.Оболенск Московской области; с 2013 г. установлены на аэродроме «Домодедово» и успешно очищают ливневые воды от этиленгликоля и авиакеросина.

Заключение

Проводимые в НИЦ ТБП исследования показывают, что использование природных микроорганизмов-деструкторов позволяет экологически безопасно проводить очистку территорий, загрязненных токсичными химическими веществами.

Разрабатываемые биотехнологии показали свою высокую эффективность и экологическую безопасность, рекомендуются для практического применения.

DEVELOPING OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES BIOREMEDIATION OF SOIL AND WATER CONTAMINATION FROM TOXIC CHEMICALS

**G. A. Zharikov, A. I. Marchenko, O. A. Krainova,
V. P. Dyadisheva, L. V. Chelpyh**

In the course of comprehensive studies, the isolation and selection of microorganisms capable of decomposing toxic chemicals in soil and / or water is carried out. Technologies have been developed to use these microorganisms for cleaning industrial areas and places of emergency bottling. Conducted toxicological and hygienic safety assessment of the use of microorganisms in the soil and on the walls of buildings. In the process of bioremediation, a decrease in the integral toxicity and phytotoxicity of the soil being cleaned, an increase in its biological activity (the level of dehydrogenases, hydrolases, the intensity of cellulose decomposition ...) was revealed. The necessary regulatory and technical documentation on the bioremediation of areas contaminated with toxic chemicals and POPs has been developed.

Keywords: soil bioremediation, groundwater and storm water treatment, destructor microorganisms, polychlorinated biphenyls, oil products, rocket fuel - heptyl, ethylene glycol, mustard gas, herbicides, pesticides.

БИОАККУМУЛЯЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ В ОРГАНАХ И ТКАНЯХ РЫБ ПРИ СТАБИЛИЗАЦИИ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Н. А. Гашкина

*Институт геохимии и аналитической химии
им. В. И. Вернадского РАН, г. Москва, Россия
e-mail: ngashkina@gmail.com*

Рассмотрена биоаккумуляция элементов в органах и тканях сига из различных по антропогенному влиянию плесов оз. Имандра в период стабилизации токсичной нагрузки. Показано, что аккумуляция элементов в органах и тканях сига в меньшей мере зависит от концентраций в воде и в большей определяется индивидуальной резистентностью к более высоким концентрациям токсичных элементов.

Ключевые слова: рыбы, биоаккумуляция, изменение антропогенной нагрузки.

Введение

Мурманская область является наиболее индустриально развитым арктическим регионом, где с 1930-х годов осваивались медно-никелевые, железные, апатит-нефелиновые, редкоземельные и другие руды. На водосборе оз. Имандра сосредоточены одни из крупных предприятий – ООО «Алкон» (добыча и обогащение магнетит-гематитовых кварцитов), ООО «Североникель» (плавильный комплекс по переработке сульфидных медно-никелевых руд) и ООО «Апатит» (добыча и переработка апатит-нефелиновых руд). Интенсивное загрязнение оз. Имандра началось в 1940-х гг. и достигло максимума в 1980-х гг., а с 1990-х гг. наметилась тенденция снижения антропогенной нагрузки на водоем [1].

Значительную долю ихтиофауны оз. Имандра составляет обыкновенный сиг (*Coregonus lavaretus* L.) [1]. В период интенсивного загрязнения озера наряду с общими патологиями у сига появилось специфическое заболевание – нефрокальцитоз (камни в почках), связанное с аккумуляцией никеля в почке рыб, в то время как увеличение минерализации воды стимулировало развитие этого эндемического заболевания [6]. В период снижения токсичной нагрузки на водоем наблюдалось улучшение физиологического состояния сига: с 1996 г. по 2003 г. снижается их заболеваемость и в 2003 г. не были встречены особи с нефрокальцитозом, сколиозом, миопатией [7].

Цель работы – исследование биоаккумуляции элементов в органах и тканях сига из различных плесов оз. Имандра в период стабилизации токсичной нагрузки.

Методы

В основу работы легли данные, полученные в 2006 г и 2007 г., обследования сига в плесах оз. Имандра: Большой Имандре в зоне смешения вод, характеризующей совместное влияния всех промышленных производств; Йокостровской Имандре в северной ее части, характеризующей транзитный сток из Большой Имандры; не испытывающей прямого загрязнения Бабинской Имандре в наиболее отдаленной восточной части. Как и в прошлые годы обследование рыб проводилось в преднерестовый период (август-сентябрь) с одновременным отбором проб воды в местах отлова. В рассмотренные вошли 24 особи по 8 особей из каждого плеса. Обработку материала проводили по общепрограммным методикам [3].

На анализ содержания элементов отбирались жабры, печень, почка, мышцы и скелет. Подготовка проб осуществлялась методом мокрого разложения в концентрированной азотной кислоте с добавлением перекиси водорода. Определение концентраций элементов в пробах воды и биологических образцах проводилось методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии с графитовой атомизацией на приборах «Perkin-

Elmer-5000», «Analyst-800» с Зеemanовским корректором фона, содержание ртути определялось на анализаторе ртути «FIMS-100» в лаборатории Института проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН.

Результаты

Содержание элементов в воде и в органах и тканях сигов по плесам оз. Имандра представлено в таблице. Предварительно остановимся на рассмотрении условий среды обитания. Если во всех плесах величина pH и содержание органических веществ в воде были сравнительно однородны в пределах 6.9-7.4 и 3.5-4.5 мгС/л соответственно, то по электропроводности воды достаточно разнятся: 55-58, 92-93 и 99-110 мкСм/см соответственно в Бабинской, Йокостровской и Большой Имандре. В 1986-1992 гг. в Большой Имандре величина pH воды варьировала в пределах 6.7-7.9, содержание органических веществ – 2.6-5.0 мгС/л, в среднем электропроводность воды составляла 15.4 мкСм/см [1]. Таким образом, к 2006 г в Большой Имандре минерализация воды снизилась почти в 1.5 раза.

Таблица

Медиана и пределы варьирования содержания элементов в воде, органах и тканях сигов, выловленных из плесов (1 – Бабинская, 2 – Йокостровская, 3 – Большая) оз. Имандра в 2006 и 2007 гг., также приводятся пределы варьирования содержания элементов (знаменатель) в Большой Имандре в 1986-1992 гг. по [1]

Элемент	Плес	Вода мг/л	Печень	Почка	Жабры	Мышцы	Скелет
			мг/г сухого веса				
Ca	1	3.2-3.3	0.24 (0.16-0.48)	0.63 (0.14-1.44)	36.1 (26.9-42.5)	0.65 (0.18-1.24)	102 (45.2-120)
	2	3.6-3.8	0.21 (0.14-1.80)	1.06 (0.35-3.76)	29.0 (23.9-99.1)	0.48 (0.28-0.88)	92.1 (79.5-98.7)
	3	3.6-4.0	0.21 (0.17-0.38)	0.26 (0.18-0.47)	30.0 (20.6-35.7)	0.34 (0.25-0.70)	94.8 (85.1-199)
Mg	1	1.0-1.1	0.74 (0.44-1.29)	0.62 (0.50-1.59)	0.82 (0.69-0.99)	1.20 (0.97-2.09)	1.50 (0.80-1.86)
	2	1.0-1.1	0.76 (0.59-1.06)	0.78 (0.55-1.24)	0.79 (0.70-1.00)	1.26 (0.98-1.49)	1.52 (1.35-1.95)
	3	1.1-1.2	0.72 (0.65-1.00)	0.50 (0.37-0.76)	0.76 (0.65-0.83)	1.21 (0.86-1.52)	1.47 (1.33-3.15)
Na	1	5.7-6.3	4.90 (3.90-8.74)	6.54 (2.46-7.83)	4.28 (2.68-4.57)	0.88 (0.69-1.37)	4.45 (1.65-5.68)
	2	12-13	3.52 (2.80-4.14)	7.21 (4.55-8.53)	6.42 (5.72-6.79)	0.93 (0.78-1.10)	5.44 (4.41-5.97)
	3	14-16	3.48 (2.54-4.77)	3.44 (2.47-4.91)	4.48 (3.05-5.55)	0.95 (0.54-1.21)	3.88 (3.60-6.27)
K	1	1.2-1.4	11.2 (7.55-21.3)	8.64 (6.56-13.0)	6.19 (3.81-7.74)	15.1 (9.83-19.4)	4.31 (2.55-5.75)
	2	2.5-2.6	12.1 (9.19-14.0)	10.4 (6.15-13.3)	6.91 (5.63-9.17)	17.6 (15.9-22.2)	4.27 (3.67-5.66)
	3	2.4-3.3	10.5 (9.93-18.0)	7.73 (5.96-11.9)	6.72 (5.91-8.78)	15.9 (10.5-17.7)	5.58 (4.39-9.20)
Fe	1	9-12	177 (128-724)	416(85.3-621)	108 (81.1-138)	9.28 (7.70-19.3)	14.8 (8.20-23.4)
	2	14-17	113 (95.0-168)	277 (162-356)	152 (124-187)	10.2 (7.73-14.4)	23.5 (14.8-31.7)
	3	15-38	135 (96.1-437)	220 (154-315)	142 (62.1-262)	7.70 (5.69-11.1)	15.7 (9.52-163)
Zn	1	1.4-1.8	214 (86.7-348)	169 (115-419)	646 (188-1536)	20.0 (13.4-45.5)	151 (96.6-266)
	2	1.0-6.8	175 (120-660)	237 (157-334)	456 (197-1599)	19.7 (14.0-32.4)	121 (98.1-186)
	3	1.0-3.1	261 (148-398)	129 (88.1-276)	427 (194-496)	16.5 (12.9-21.4)	144 (115-268)
Cu	1	2.0-2.4	40.7 (3.03-145)	5.14 (2.35-32.0)	1.18 (0.89-2.12)	0.97 (0.72-1.33)	0.94 (0.38-2.65)
	2	2.7-3.4	32.0 (22.0-126)	5.39 (4.14-6.18)	1.78 (1.35-1.88)	0.96 (0.76-1.09)	1.32 (0.86-2.15)
	3	4.3-6.6	37.5 (12.4-249)	2.80 (1.66-4.72)	1.87 (1.10-6.49)	0.74 (0.51-0.98)	2.15 (0.75-2.64)
Mn	1	0.8-1.3	10.2 (0.47-14.9)	3.65 (1.00-4.71)	14.7 (7.92-27.6)	0.93 (0.30-1.21)	25.5 (16.1-49.6)
	2	5.8-9.7	9.45 (7.72-12.3)	2.60 (2.03-4.20)	21.2 (7.78-29.1)	0.78 (0.47-1.42)	34.2 (18.2-91.3)
	3	7.6-15	9.11 (6.36-17.6)	1.81 (1.20-2.83)	15.2 (6.94-33.9)	0.63 (0.32-0.83)	18.9 (10.6-63.5)
Co	1	<0.2	0.88 (0.36-1.06)	0.70 (0.41-1.86)	0.54 (0.44-0.68)	0.42 (0.35-0.76)	2.57 (1.01-2.95)
	2	<0.2	0.64 (0.57-0.75)	1.13 (0.65-1.80)	0.63 (0.48-0.78)	0.49 (0.31-0.56)	2.33 (1.92-2.70)
	3	<0.2-0.6	0.65 (0.61-0.71)	1.07 (0.90-1.33)	0.61 (0.51-0.71)	0.34 (0.30-0.52)	1.98 (1.53-3.54)
Cr	1	<0.1-0.2	0.13 (0.07-0.58)	0.29 (0.08-0.87)	0.22 (0.13-0.36)	0.07 (0.05-0.18)	0.54 (0.16-0.82)
	2	<0.1-0.4	0.11 (0.06-0.26)	0.29 (0.25-1.39)	0.30 (0.18-0.76)	0.09 (0.07-0.94)	0.51 (0.25-0.63)
	3	<0.1-0.3	0.11 (0.05-0.18)	0.11 (0.09-0.19)	0.17 (0.11-0.23)	0.05 (0.03-0.06)	0.52 (0.28-1.23)
Ni	1	1.8-2.1	2.09 (1.19-4.56)	6.19 (2.69-7.86)	1.93 (1.37-3.12)	1.24 (0.64-1.92)	5.61 (2.12-6.87)
	2	4.3-6.3	1.99 (0.72-5.41)	5.95 (3.60-8.25)	1.99 (1.41-3.10)	1.07 (0.76-1.50)	5.17 (4.27-5.07)
	3	5.6-9.6	2.10 (0.94-3.57)	3.89 (2.92-11.8)	3.02 (1.99-7.24)	1.23 (0.56-2.26)	5.57 (4.49-8.17)
Sr	1	13-290	0.2-5.0	10-30	2-18	0.2-2.0	3.5-59
	2	38-47	2.37 (1.17-3.73)	4.63 (0.75-8.00)	131 (110-162)	2.71 (0.63-5.14)	415 (362-587)

Элемент	Плес	Вода	Печень	Почка	Жабры	Мышцы	Скелет
		мг/л			мг/г сухого веса		
	2	48-54	1.79 (0.83-16.1)	8.63 (4.49-20.3)	136 (103-162)	1.72 (0.55-5.30)	506 (440-623)
		43-60	2.46 (1.53-4.93)	3.02 (2.64-4.28)	188 (155-235)	1.38 (1.03-4.65)	726 (571-1076)
	3	54-83	0.1-4.0	1-270	94-240	1-6	400-920
Al	1	13-18	5.92 (3.74-26.6)	13.6 (2.87-43.2)	7.15 (2.92-11.4)	1.43 (0.95-4.85)	7.88 (3.04-15.6)
	2	16-18	7.39 (5.78-20.2)	16.3 (9.31-35.7)	8.75 (5.01-15.6)	1.63 (0.88-2.58)	10.5 (5.09-13.3)
	3	38-102	5.50 (2.76-86.9)	6.80 (4.70-13.9)	9.00 (3.26-50.7)	0.90 (0.68-4.82)	3.87 (2.90-12.3)
		19-80	12-85	33-240	12-78	2-11	5-46
Pb	1	<0.3-0.3	0.08 (0.01-0.23)	0.07 (0.01-0.15)	0.10 (<0.01-0.31)	0.07 (<0.01-0.16)	0.14 (0.05-0.24)
	2	<0.3-0.3	0.06 (0.04-0.11)	0.06 (0.03-0.11)	0.13 (<0.01-0.70)	0.08 (0.02-0.14)	0.19 (0.10-0.26)
	3	<0.3-0.3	0.03 (<0.01-0.17)	0.03 (<0.01-0.15)	0.02 (<0.01-0.18)	0.01 (<0.01-0.14)	0.12 (0.11-0.18)
		-	0-0.04	0-0.31	0	0	0.017
Cd	1	<0.05-0.08	0.48 (0.03-1.49)	3.04 (0.24-7.88)	0.042 (0.017-0.07)	0.001 (<0.001-0.02)	0.032 (<0.001-0.08)
	2	0.10-0.11	0.37 (0.26-1.18)	3.03 (1.55-10.1)	0.041 (<0.001-0.11)	0.002 (<0.001-0.01)	0.021 (<0.001-0.11)
	3	<0.05-0.09	0.10 (0.01-1.62)	0.24 (0.17-3.05)	0.002 (<0.001-0.07)	<0.001	0.004 (<0.001-0.03)
		-	0-2.05	0.08-2.64	0-0.064	0-0.014	0-0.088
Hg	1	<0.01	0.23 (0.16-0.58)	0.35 (0.11-0.50)	0.11 (0.07-0.15)	0.12 (0.10-0.17)	0.05 (0.02-0.06)
	2	<0.01	0.17 (0.12-0.27)	0.26 (0.16-0.34)	0.08 (0.07-0.13)	0.12 (0.08-0.17)	0.06 (0.04-0.11)
	3	<0.01	0.22 (0.12-0.57)	0.11 (0.08-0.13)	0.07 (0.05-0.09)	0.10 (0.01-0.12)	0.04 (0.03-0.06)
		-	0.05-0.22	0-0.48	0.04-0.49	0.03-0.16	0.06-0.40

Согласно нормативам для водоемов рыбохозяйственного назначения [2] в Бабинской Имандре в период исследований превышение токсикологического порога было по Cu в 2 раза, в Йокостровской Имандре – также по Cu в 3 раза, в Большой Имандре – по Cu (4-7 раз), Al и Mn (1-2 раз). В период загрязнения (1986-1992 гг.) в Большой Имандре токсикологический порог был превышен по Ni до 29 раз, Cu – до 28 раз, Zn – до 3 раз, Al и Mn – до 2 раз. Суммарный показатель степени загрязнения вод ($\Sigma\text{Ci}/\text{ПДКи}$) в исследуемый период Бабинской Имандры составлял 3.0-3.6, Йокостровской Имандры – 5.2-5.8, а Большой Имандры – 9.5-10.6, тогда как в период загрязнения (1986-1992 гг.) в Большой Имандре этот показатель мог достигать 64. Изменение антропогенного влияние проявилось в снижении концентрации Ni и Cu в воде, в то время как концентрации Al и Sr практически остались прежними.

Снижение аккумуляции Ni в жабрах, мышцах, скелете и особенно в почке (медианное значение в 2006-2007 гг. значительно ниже минимального в 1986-1992 гг.), Cu в почках и жабрах, Al во всех органах и тканях, исключая скелет, а Sr в почке проявились наглядно (таблица). Но диапазон аккумуляции Cu в печени сигов значительно расширен в сторону увеличения максимальных содержаний. Диапазоны аккумуляции Zn во всех органах и тканях сигов Большой Имандры в 2006-2007 гг. и в 1986-1992 гг. сопоставимы значительно выше в 1986-1992 гг. Следует отметить на повышенную аккумуляцию Pb и Hg в печени сигов по сравнению с 1986-1992 гг.

В 2006-2007 гг. корреляционный анализ зависимостей между аккумуляцией элементов в органах и тканях от концентраций их в воде не выявляет связей, за исключением накопления Cu в жабрах сигов ($r=0.53$ $p<0.005$). Биоаккумуляция элементов в органах и тканях сигов Большой Имандры сильно отличается от таковой у сигов Бабинской и Йокостровской Имандры. Наблюдается лишь несколько большая аккумуляция Ni, Al и Sr в жабрах сигов Большой Имандры. Примечательно, у сигов Большой Имандры в почке как органе-мишени токсичного воздействия в период интенсивного антропогенного влияния аккумуляция Ni, Cu, Al, Sr, Cr, Pb, Hg в 2 раза, Cd на порядок ниже, чем у сигов Йокостровской и Бабинской Имандры, так же отмечается понижение содержания Ca, Mg, Na и K. Аккумуляция Cd в почке сигов Йокостровской и Бабинской Имандры значительно превосходит таковую у сигов Большой Имандры даже в период интенсивного антропогенного влияния.

Минерализация воды считается одним из основных регуляторов токсичности элементов, что показано на многих примерах: снижение поглощения и аккумуляции в организме рыб в более жестких водах [4, 5]. Судя по минерализации воды, более уязвимы к токсичному воздействию сиги Бабинской Имандры. В Большой Имандре со снижени-

ем минерализации воды уменьшились только концентрации в воде Ni и Cu, но остались прежними концентрации Al и Sr, однако, аккумуляция не только Ni и Cu, но и Al и Sr снижается в почке сигов.

Заключение

В период стабилизации антропогенного влияния на Большую Имандру происходит снижение концентрации Ni и Cu в воде, в то время как концентрации Al и Sr практически остаются прежними. Снижается аккумуляция не только Ni и Cu, но и Al и Sr в почке сигов. У сигов Большой Имандры в почке, как органе-мишени токсичного воздействия в период интенсивного антропогенного влияния, аккумуляция Ni, Cu, Al, Sr, Cr, Pb, Hg в 2 раза, Cd на порядок ниже, чем у сигов Йокостровской и Бабинской Имандры. При значительном варьировании содержания элементов в органах и тканях сигов в различных по токсичной нагрузке плесах оз. Имандра содержание их в меньшей мере зависит от концентраций в воде и в большей определяется индивидуальной резистентностью к токсичным элементам. Можно предположить, что обитание рыб в токсичных условиях загрязнения вод тяжелыми металлами (около 50 лет) произошла селекция генотипов, адаптированных к токсичным элементам, что и проявилось в период снижения и стабилизации антропогенной нагрузки.

Литература

1. Моисеенко Т. И., Даувальтер В. А., Лукин А. А., Кудрявцева Л. П., Ильяшук Б. П., Ильяшук Л. И., Сандимиров С. С., Каган Л. Я., Вандыш О. И., Шаров А. Н., Шарова Ю. Н., Королева И. Н. Антропогенные модификации экосистемы озера Имандра. – М.: Наука, 2002.
2. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. – М.: ВНИРО, 2011.
3. Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб. – М.: Пищевая промышленность, 1966.
4. Blanchard J., Grosell M. Copper toxicity across salinities from freshwater to seawater in the euryhaline fish *Fundulus heteroclitus*: is copper an ionoregulatory toxicant in high salinities? // Aquat. Toxicol., 2006. – V. 80. – P. 131–139.
5. Klinck J., Dunbar M., Brown S., Nichols J., Winter A., Hughes C., Playle R. C. Influence of water chemistry and natural organic matter on active and passive uptake of inorganic mercury by gills of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) // Aquat. Toxicol., 2005. – V. 72. – P. 161–175.
6. Moiseenko T. I., Kudryavtseva L. P. Trace metals accumulation and fish pathologies in areas affected by mining and metallurgical enterprises in the Kola Region, Russia // Environ. Pollut., 2001. – V. 114. – № 2. – P. 285–297.
7. Moiseenko T. I., Sharov A. N., Vandish O. I., Kudryavtseva L. P., Gashkina N. A., Rose C. (2009) Long-term modification of Arctic lake ecosystem: Reference condition, degradation under toxic impacts and recovery (case study Imandra Lakes, Russia) // Limnologica, 2009. – V. 39. – P. 1–13.

BIOACCUMULATION OF ELEMENTS IN ORGANS AND TISSUES OF FISH DURING STABILIZATION OF ANTHROPOGENIC LOAD

N. A. Gashkina

The element bioaccumulation in organs and tissues of whitefish from the Lake Imandra reaches, which were subjected to different anthropogenic impacts, was considered during stabilization of anthropogenic load. It is shown that the element accumulation in the organs and tissues of the whitefish is mainly controlled by the individual resistance to the higher concentrations of toxic elements rather than by their concentrations in water.

Keywords: fish, bioaccumulation, change of anthropogenic load.

МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ НЕКОТОРЫХ ДИКОРАСТУЩИХ МАКРОМИЦЕТОВ

А. А. Гродзинская¹, А. И. Самчук², В. Б. Небесный¹

¹*Институт эволюционной экологии НАН Украины, г. Киев, Украина,
e-mail: agrodz@ukr.net*

²*Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н. П. Семененко
НАН Украины, г. Киев, Украина*

Методом масс-спектрометрии с индукционно связанной плазмой (ICP-MS) исследовали содержание 28 элементов (Mg, Fe, Mn, Ni, Ti, V, Mo, Zr, Nb, Cu, Pb, Se, Ag, Bi, Zn, Ga, Be, Ce, La, P, Sr, Ba, Cr, Hg, Cd, Au, As и Ge) в плодовых телах 26 видов дикорастущих макромицетов, собранных в Киевской, Житомирской, Черниговской, Ровенской, Волынской и Закарпатской областях Украины. Обсуждается способность макромицетов аккумулировать минеральные элементы, в том числе эссенциальные и токсичные.

Ключевые слова: грибы, макромицеты, биоиндикация, минеральный состав.

Введение

В настоящее время насчитывается около 16 тысяч видов макромицетов, среди которых есть съедобные разной степени качества, несъедобные, ядовитые, галлюциногенные и лекарственные. Дикорастущие грибы являются не только традиционным деликатесом славянских народов, благодаря их неповторимым вкусовым качествам, аромату и питательной ценности, но и неисчерпаемым источником биологически активных веществ, имеющих широкий спектр фармакологических применений. В общем, описано свыше 130 лечебных эффектов высших грибов, среди которых – противораковый, гепатопротекторный, антиоксидантный, антибактериальный, антидиабетический, противовирусный, нейрорегенерирующий и пр. [5–6].

Известно, что концентрации некоторых макро- и микроэлементов в плодовых телах высших грибов существенно отличаются от минерального состава растений, что обусловлено, в первую очередь, отличиями в характере метаболизма. Публикации последних десятилетий посвящены исследованию механизмов накопления, в частности, тяжелых металлов дикорастущими макромицетами в условиях антропогенного загрязнения, возможным токсикологическим последствиям их высокого содержания в плодовых телах, определению роли ионов металлов и отдельных редкоземельных элементов в физиологии грибов, явлению видоспецифичности накопления, биоиндикационным свойствам макромицетов [1–5, 7–10].

Методы

Методом масс-спектрометрии с индукционно связанной плазмой (ICP-MS)(Element-2, Германия) исследовали содержание 29 минеральных элементов (Mg, Fe, Mn, Ni, Ti, V, Mo, Zr, Nb, Cu, Pb, Se, Ag, Bi, Zn, Be, Ce, La, P, Sr, Ba, Cr, Hg, Cd, Au, As и Ge) в плодовых телах 26 видов дикорастущих макромицетов, собранных на территории Киевской, Черниговской, Житомирской, Волынской, Ровенской и Закарпатской областей Украины, на участках лесных экосистем с сохранным растительным покровом и слабо выраженной антропогенной нагрузкой.

Плодовые тела грибов тщательно очищали от остатков почвы и субстрата, сушили при 80°C, затем измельчали до мелкодисперсного состояния и досушивали при температуре $\geq 100^\circ\text{C}$ в течение 24 час. Для анализа использовали средние пробы из 3–5 плодовых тел каждого сбора.

Результаты

Известно, что биогенные элементы N, P, K и некоторые другие, являющиеся неотъемлемыми составляющими метаболических процессов и компонентов грибной клетки, в общем минеральном составе грибов представлены макроколичествами. Содержание P в исследованных макромицетах находилось в пределах от 4000 до 10000 мг/кг сух. массы (максимальное значение выявлено в образцах *Xerocomellus chrysenteron*, Киев.обл., Вышгородский р-н).

Исследование элементного состава макромицетов разных экологических групп показало высокий уровень содержания физиологически важных, незаменимых для человека металлов – Mg, Fe, Zn, Cu, Mn и Mo. Содержание Mg было в пределах от 700 до 1500 мг/кг с.м., причем максимальные его уровни отмечены у микосимбиотрофных макромицетов. Среднее содержание Fe было несколько ниже в исследованных видах сапротрофов и лигнотрофов, среди микоризообразователей наблюдалось возрастание уровней в последовательности от представителей рода *Russula* (25 – 52 мг/кг), *Amanita* (80 – 100 мг/кг), *Leccinum* (55 – 140 мг/кг) до *Gyroporus* (25 – 505 мг/кг) и *Boletus* (41–500 мг/кг с.м.). Содержание Zn в большинстве исследованных образцов находилось в пределах 30–100 мг/кг с.м. Повышенный уровень этого элемента (300 мг/кг) зафиксирован у лигнотрофа *Tricholomopsis rutilans* (Киев.обл., Иванковский р-н) и самые высокие уровни обнаружены в плодовых телах микосимбиотрофов *B. luridus* – до 350 мг/кг и *B. badius* (Fr.)Fr. – до 560 мг/кг с.м. (Житом., Черниг.обл.). Содержание Cu находилось в пределах от 4 мг/кг у *Suillus bovinus* до 100 мг/кг в некоторых образцах *Macrolepiota procera*, *B. edulis*, *L. aurantiacum* (Черниг. обл., Козелецкий р-н) и более 140 мг/кг с.м. у *Chrophyllum rhacodes* (южн. окр. г. Киева).

Содержание Mn в макромицетах из различных местообитаний существенно отличалось. В частности, у *B.edulis* – от 9,9 до 300, а у *B. badius* – от 22,5 до 200 мг/кг с.м. (Киев., Житом., Черниг. обл.).

Содержание Ti в большинстве исследованных образцов составляло от 30 до 100 мг/кг с.м., в то же время, максимальный его уровень (300 мг) установлен у *L. aurantiacum* (Киев.обл., Бородянский р-н). Среднее содержание Se в большинстве исследованных образцов было в пределах 100 – 200 мг/кг с.м., Ba от 5 до 150 мг/кг с.м. В то же время очень высокие уровни Ba были обнаружены в образцах *B. pinophilus* – 1146 мг/кг (Житом. обл., Народичский р-н) и *B.edulis* – 1653 мг/кг (Киев.обл., Макаровский р-н). Zr обнаружен в минимальном количестве - 0,112 мг у *B. bovinus* (Черниг.обл., Козелецкий р-н), максимальное его количество (до 80 мг/кг с.м.) было обнаружено у *B.edulis* и *B. badius* (Киев.обл., Иванковский р-н), содержание Sr находилось в пределах от 0,2 (*L. scabrum*) до 5,8 мг/кг с.м. (*B. edulis*) (Киев.обл., Макровский р-н). Содержание Bi было достаточно низким у большинства исследованных видов, в пределах от 0,0015 (*B. subtomentosus*, Закарп.обл.) до 3 мг/кг с.м. (*B.chrysenteron*, Киев.обл., Вышгородский р-н). Be был обнаружен в грибах из Закарпатья (*G.cyanescens* -0,013 мг, *G.castaneus* – 0,007 мг (на берегу оз. Синевир) и у *Cantharellus cibarius* – 0,002 мг/кг с.м. Следует отметить наличие La – от 30 (*T.rutilans*) до 50–80 мг/кг с.м. у видов родов *Boletus*, *Leccinum*, *Suillus* и *Amanita*. Макромицеты также накапливали Nb (до 2 мг/кг с.м.).

Особое внимание было уделено аккумуляции высокотоксичных элементов дикорастущими макромицетами. Минимальное содержание Pb (0,03) было обнаружено у *B.subtomentosus* (Закарп. обл.), максимальное 7,12 мг/кг с.м. у *B.edulis* (Киев.обл., Макаровский р-н). Среднее содержание Pb у большинства видов находилось в пределах 1–3 мг/кг с.м., As – 0,03 – 0,2 мг/кг с.м. Аномально высокое содержание As – 22,89 мг/кг с.м. было обнаружено у *G. cyanescens* (южн. окр. г. Киева). Максимальный уровень Hg – до 0,65 мг был обнаружен у *B. pinophilus* (Житом. обл., Народичский р-н), а минимальный – 0,0025 мг/кг с.м – у лигнотрофа *Fomitopsis rosea* (Закарп.обл.). Минимальные

уровни Cd (до 0,1 мг/кг) были обнаружены в образцах макромицетов с заповедных территорий в Ровенской и Волынской областях, максимальные до 6,12 у *B.edulis* и до 5,5 мг/кг с.м. у других болетальных макромицетов (Житом. обл.). Содержание V у большинства исследованных видов находилось в пределах от 0,04 до 5 мг/кг с.м., и только у представителей р. *Amanita* его количество достигало 50 мг/кг с.м. Средний уровень Cr и Ni в исследованных образцах грибов составлял соответственно 2-3 и 1-2 мг/кг с.м.

Учитывая интерес к потенциальному фармакологическому использованию лекарственных макромицетов, исследовали содержание минеральных элементов с установленным антиоксидантным и противораковым (Se, Ge, Mo), а также бактерицидным действием (Ag, Au) (табл.).

Таблица

**Se, Ge, Mo, Ag и Au в плодовых телах
дикорастущих макромицетов (мг/кг с.м.)**

Вид гриба	Se	Ge	Mo	Ag	Au
Микосимбиотрофы					
<i>B.edulis</i>	18-32,5	0,055	2,0-15,5	3,5-23,9	
<i>B.badius</i>	0,05-0,26	0,	0,7-19,8	0,24-2,0	
<i>B.luridus</i>	15,9		0,5	10,9	
<i>B. pinophilus</i>	8,75	0,099	0,2		
<i>B.subtomentosus</i>	10,1		1,0	2,1	0,1
<i>G.cyanescens</i>	0,5-10,1	0,005	1,0	0,8	0,1
<i>L.aurantiacum</i>	1,2-24,0		0,6-30,2	2,0-40,0	0,1
<i>L.scabrum</i>	0,5-14,0	0,003	0,6-2,0	0,36-1,1	0,15
<i>S.bovinus</i>	0,02-12,0	0,002	0,6-2,0	0,8-1,5	0,1-0,3
<i>S.variegatus</i>	2,0		0,6	1,0	0,1
<i>X.chrysenteron</i>	0,08-0,09	0,003	0,07-5,0	0,96-2,0	
<i>A.muscaria</i>	3,2-7,4		1,0-2,0	4,0	
<i>A.rubescens</i>	16,0		0,4	1,5	0,26
Сапротрофы					
<i>Ch.rhacodes</i>	10,0-22,0		1,0-2,0	3,6-5,0	0,3
<i>C.comatus</i>	0,17	0,002	0,01		
<i>M.procera</i>	26,0		1,6	1,0	0,01
Лигнотрофы					
<i>A.mellea</i>	24,0		1,0	10,0	0,2
<i>G.frondosa</i>	10,0		1,0	4,0	0,06
<i>T.rutilans</i>	10,0		1,0-2,0	1,04	0,04
<i>P.ostreatus</i>	3,0		0,8	2,0	0,1

Заключение

Благодаря эффективному механизму биоаккумуляции, некоторые виды грибов являются источником эссенциальных элементов, таких как Mg, Cu, Fe, Zn, Cr, Se, Ge, Mo, Mn и т.д. Наблюдаемая видо- и экологическая специфичность накопления отдельных минеральных элементов некоторыми видами макромицетов позволяет использовать их для биоиндикации антропогенного загрязнения.

В сочетании с высоким содержанием белков, углеводов, витаминов, ферментов и других биологически активных соединений, богатство и разнообразие элементного состава, присущее дикорастущим макромицетам, свидетельствует о потенциальной ценности данных объектов в качестве функциональной пищевой добавки. Для оценки безопасности и биодоступности минеральных элементов для организма человека,

а также их потенциального фармакологического действия необходимы дополнительные медико-биологические исследования.

Литература

1. Важкі метали в об'єктах довкілля Київського мегаполісу// За редакцією А. І. Самчука, І. В. Кураєвої. – К.: Наш формат, 2019.
2. Голубкина Н. А., Миронов В. Е. Элементный состав грибов в условиях контрастных антропогенных нагрузок // Геохимия. – 2018. – № 10. – С. 3–16. DOI: 10.1134/S0016752518100084.
3. Гродзинська Г. А., Самчук А. І., Сирчін С.О. Вміст мінеральних елементів у болетальних грибах // Вісник НАН України. – 2010. – № 6. – С. 29–35.
4. Костычев А. А. Возможность использования базидиальных макромицетов в качестве биоиндикаторов загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами и мышьяком // Вестник ОГУ. – 2009. – № 1. – С. 108–112.
5. Макромицеты: лекарственные свойства и биологические особенности // Под ред. И. Габриэля. – Т. 2. – Киев: Наш формат, 2016.
6. Макромицеты: лекарственные свойства и биологические особенности // Под ред. С. П. Вассера. – Киев: Наш формат, 2012.
7. Сазанова К. В., Великова В. Д., Столярова Н. В. Накопление тяжелых металлов грибами: экологическая и видовая специфичность, механизмы аккумуляции, потенциальная опасность для человека. *www. medline.ru* том 18, ст. 24 (с. 336-361). Токсикология, 18 сент. 2017.
8. Соломко Э. Ф., Гродзинская А. А., Пашенко Л. А., Пчелинцева Р. К. Минеральный состав некоторых видов культивируемых и дикорастущих грибов класса Basidiomycetes // Микол. фитопатол. – 1986. – № 6. – С. 474–478.
9. Falandysz J., Borovicka J. Macro- and trace mineral constituents and radionuclids in mushrooms: health benefits and risks // *Appl. Microbiol. Biotechnol.* – 2013. 97. – № 2. – P. 477–501.
10. Kalač P. Trace element contents in European species of wild growing edible mushrooms: A review for the period 2000–2009 // *Food Chem.* – 2010. – Vol. 122. – P. 2–15.

MINERAL CONTENT OF SOME WILD-GROWING MACROMYCETES

A. A. Grodzinskaya, A. I. Samchuk, V. B. Nebesnyi

Content of 28 elements (Mg, Fe, Mn, Ni, Ti, V, Mo, Zr, Nb, Cu, Pb, Se, Ag, Bi, Zn, Ga, Be, Ce, La, P, Sr, Ba, Cr, Hg, Cd, Au, As и Ge) in 26 species of wild growing mushrooms from Kyiv, Zhytomyr, Chernihiv, Rivne, Volyn' and Zakarpattya regions were studied with method of mass-spectrometry with inductively cupled plasma (ICP-MS). Ability of macromycetes to accumulate elements, including essential and toxic discussed.

Keywords: mushrooms, macromycetes, bioindication, mineral content.

О КОНЦЕНТРИРОВАНИИ СТРОНЦИЯ РАСТЕНИЯМИ

У. А. Гуляева

*Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН,
г. Москва, Россия,
e-mail: milia-nova@mail.ru*

Статья является частью исследования по биогеохимии Ca и Sr на территории урвской болезни Кашина-Бека в Восточном Забайкалье. Урвская болезнь животных и человека приводит к деформации костно-суставного аппарата. На луговых ландшафтах наблюдается сильное превышение содержания стронция мозаичного характера при фактически нормальном уровне содержания кальция. Увеличенная концентрация стронция, наблюдаемая в почвах и растениях, может рассматриваться в качестве фактора экологического риска. В данной статье рассматривается вопрос концентрирования стронция растениями.

Ключевые слова: биогеохимия, кальций, стронций, почвы, подвижность, растения, урвская эндемия, фракционирование

Введение

Биогеохимические особенности Ca и Sr в целом известны достаточно хорошо, литературных данных по биогеохимии элементов имеется достаточно, а вот ряд процессов, природно-техногенного характера, в которых задействованы эти элементы, изучен недостаточно. Вопросы, касающиеся уточнения информации по биогеохимическим Ca/Sr провинциям остаются актуальными. Также как и вопросы поведения Ca и Sr в отдельных таксонах биосферы, характеризующихся определёнными уникальными параметрами.

Исследования, проводимые нами в Восточном Забайкалье и других районах РФ, показали практически полное совпадение средних концентраций Ca в почвах эндемичных и «контрольных» территорий. Содержание Sr в почвах и растениях эндемического района заметно повышено по сравнению с контрольными районами. Среднее значение Ca/Sr было в 1,5 раза ниже в почвах эндемичных по урвской болезни районов. Это соотношение важно для понимания концентрирования стронция растениями.

По содержанию стронция, как в почвах, так и в растениях легко отслеживается так называемая «пятнистость» или очаговость эндемических участков. Это также легко подтверждается значением соотношения Ca/Sr. На некоторых эндемичных территориях (луговые ландшафты) стронций в растениях по уровню содержания приближается к контрольным территориям. Однако существуют участки, где растения накапливают очень высокие количества Sr. Как правило, это участки с высокой степенью проявления эндемии [1]. И важную роль играет подвижность элементов в системе почва-растения.

Методы исследования

Основные полигоны для экспериментальных исследований и пробоотбора биогеохимического материала расположены на территории Восточного Забайкалья в междуречье рек Аргуни и Шилки, где наблюдались проявления урвской Кашина-Бека болезни [3, 5]. Для оценки подвижности стронция в системе почва-растение в течение было отобрано 5 образцов луговых почв из эндемического субрегиона биосферы и 5 проб почв из условно «контрольных» территорий.

С целью оценки мобильности стронция и кальция в почвах была применена методика последовательного фракционирования, использованная в работе И.Н. Михайловой по изучению миграции стронция при внесении в почвы фосфогипса [4].

Определение Ca и Sr в водах и растениях осуществляли методом атомно-абсорбционной спектрометрии, используя приборы ООО «КОРТЭК» в пламенном и беспламенном вариантах.

Результаты исследований

Несмотря на заметный разброс в концентрациях элементов, в среднем содержание Sr (на эндемичных территориях в почвах и растениях) в 3 раза выше фона. По Ca также заметно превышение в эндемичных районах. Коэффициентом биологического поглощения (Кб) стронция исследуемые участки не отличались, а Кб Ca был в 2 раза выше на фоновых участках [1].

В целом, из почв фоновых участков методом последовательного фракционирования извлекается в среднем Sr $6,14 \pm 1,32$ мг/кг ($1,29 \pm 0,18$ %) и Ca – 668 ± 165 мг/кг ($4,17 \pm 0,42$ %). Из почв эндемических участков экстрагируется в среднем Sr $31,70 \pm 30,42$ мг/кг ($2,02 \pm 0,83$ %) и Ca – 7153 ± 7028 мг/кг ($21,72 \pm 23,69$ %). То есть, по сравнению с фоном, во все фракции переходит большее количество Sr и Ca, в особенности, последнего. Для большинства исследуемых фракций коррелятивные связи весьма существенные по Sr. По Ca наблюдается существенная связь между содержанием макроэлемента во второй и третьей фракциях и общим содержанием Ca в почвах. Независимо от принадлежности почв к эндемическим или контрольным участкам для Sr установлена высокая положительная связь между концентрациями стронция в растениях и содержанием микроэлемента, экстрагируемого ацетатно-аммонийным буфером ($r=+0,974$) (рис.1). Это дает возможность более быстро оценивать содержание стронция в укосах луговых растений, что необходимо для определения экологического статуса территорий по стронцию.

В целом, результаты исследований согласуются с литературными данными [4, 6]. Следует заметить, что в эндемических почвах накопление стронция может быть обусловлено более высоким содержанием ОВ и карбонатов, более щелочным характером почвенных растворов. Известно, что при возрастании pH часть стронция останется в необменном состоянии с NH_4^+ и прочно фиксируется почвой. Будучи менее гидратированным, стронций поглощается глинистыми минералами интенсивнее, чем кальций [7]. Этому способствуют и органические вещества растений почв.

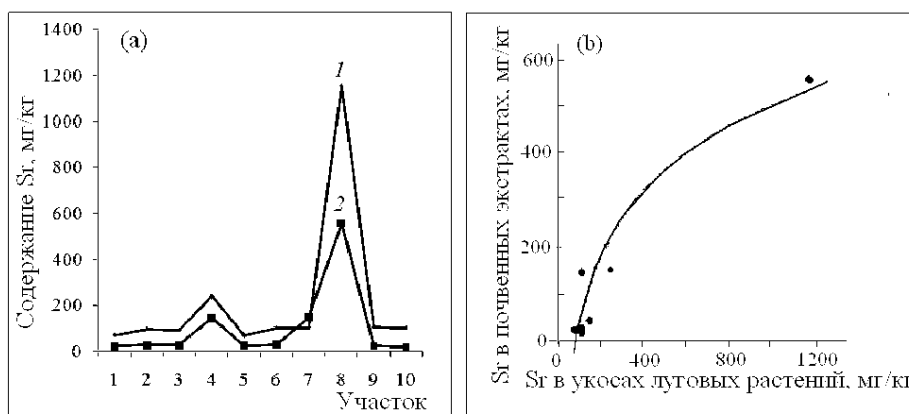


Рис. 1. Связь между содержанием стронция в укосах растений и аммонийно-ацетатной вытяжке из луговых почв Восточного Забайкалья.
1 – содержание стронция в укосах, 2 – концентрация стронция в вытяжке из почв ($\times 10$)

В табл. 1. приведены данные по аккумулярованию стронция луговыми растениями. Анализ луговых растений выявил своеобразное более высокое накопление микроэлемента в листьях ивы. Так, уровни Sr, обнаруженные в листьях ивы Коха (*Salix kochiana*

Trautv.) достигают от 260 до 469 мг/кг сухого вещества с высокими коэффициентами биологического поглощения (Кб) в диапазоне от 0,41 до 5,21. Также обнаружены высокие концентрации стронция в прибрежных водорослях *Ulotrix zonata* и *Scirpus* L. Для других видов луговых растений Кб варьировал от 0,02 до 0,18. Минимальные концентрации стронция были обнаружены в луке (*Allium sibiricum* L.): 12 мг/кг.

Таким образом, почти все изучаемые виды ивы рода *Salix* являются не только концентраторами Cd, что обнаружено нами ранее [2], но также и стронция. По-видимому, эти растения способствуют аккумулярованию микроэлементов, таких как Cd, Zn, Cu и Sr в пойменных ландшафтах, тем самым обеспечивая там формирование биогеохимических аномалий. Среди грибов мы анализировали гигантский дождевик (*Calvalia gigantean*) с уровнем стронция 27,8 мг/кг. Кроме того, повышенная концентрация стронция была также обнаружена в некоторых видах нитевидных водорослей, что согласуется с данными других исследователей [8].

Таблица 1

**Уровень содержания стронция в растениях и почвах
центральной части поймы реки Уров (мг/кг сухого вещества)**

Ландшафт	Название растения	Содержание Sr		Кб
		растение	почва	
Долинный осоково-злаковый с куртинами ивы	<i>Salix brachipoda</i> (Trautv. et C. A. Mey) (Kom)	488	585	0,83
Долинный вострорецово-слабо закустаренный лугово-степной	<i>Aster altaicus</i> Willd.	15	«	0,02
	<i>Artemisia scoparia</i> Waldst. & Kit.	19	«	0,03
	<i>Agropyron pseudoagropyrum</i> (Trin. ex Griseb.) Franch.	11	«	0,02
	<i>Bupleurum scurzonierifolium</i> Willd.	25	«	0,04
	<i>Potentilla tanacetifolia</i> Willd. ex Schlecht	20	«	0,03
	<i>Vicia cracca</i> L.	40	«	0,07
	<i>Vicia amoena</i> Fisch.	44	246	0,18
	<i>Rhaponticum carthamoides</i> (Willd.) Iljin	16	«	0,07
Лугово-болотный с ивой	<i>Salix kochiana</i> Trautv.	469	90	5,21
Смешанный травяной луг с ивой	<i>Salix kochiana</i> Trautv.	406	475	0,85
Разнотравный лугово-степной с мелкими рудеральными растениями	<i>Potentilla tanacetifolia</i> Willd. ex Schlecht	26	630	0,04
	<i>Artemisia dracunculus</i> L., 1753	36	«	0,06
	<i>Urtica Dioica</i> L.	86	«	0,14
	<i>Aster altaicus</i> Willd.	20	«	0,03
	<i>Salix kochiana</i> Trautv.	260	«	0,41
Старица (Уров)	<i>Ulotrix belted</i> - <i>Ulotrix zonata</i>	123	546*	0,23
	<i>Scirpus</i> L. (1753)	279	«	0,51
Предгорье с кустарниково-травяным покровом	Onion-slime - <i>Allium nutants</i> L.	21	678	0,03
	Chive - <i>Allium sibiricum</i> L.	12	«	0,02

Примечания: * аллювий; Кб – коэффициент биологического аккумуляирования стронция.

Заключение

Среднее содержание стронция в укосах равнялось $72,8 \pm 31,6$ мг/кг (район эндемии) и $36,6 \pm 15,7$ мг/кг («контроль»), то есть разница весьма существенная, в 2 раза ($P < 0,05$). Наиболее часто растения содержат стронция 50-70 мг/кг (эндемичные участки) и менее 50 мг/кг (контрольные территории). Максимальные концентрации стронция установлены в листьях ивы и водорослях. Кб стронция в эндемических ландшафтах возрастает

при увеличении концентраций Sr в почвах. На фоновых участках такого явления не наблюдается. Высокая коррелятивная связь между содержанием Sr во фракции 1 М ацетата аммония и общим содержанием Sr в укосах растений является методическим основанием для оценки подвижности микроэлемента в почвенно-растительном комплексе луговых ландшафтов.

Литература

1. Ермаков В. В., Гуляева У. А., Тютиков С. Ф., Кузьмина Т. Г., Сафонов В. А. Биогеохимия кальция и стронция в ландшафтах Восточного Забайкалья // *Геохимия*. – 2017. – № 12. – С. 1115–1127.
2. Ermakov V. V., Petrunina N. S., Tyutikov S. F., Danilova V. N., Khushvakhtova S. D., Degtyarev A. P., Krechetova E. V. Concentrating metals by plants of the genus *Salix* and their importance for identification of Cd anomalies// *Geochem. Int.* – 2015. – Vol. 53. – № 11. – P. 951–963.
3. Ковальский В. В. Геохимическая экология: Очерки. – М.: Наука, 1974.
4. Михайлова И. Н. Процессы миграции и трансформация стронция фосфогипса в техногенных мелиорируемых ландшафтах Сало-Маньчского водораздела. Автореф. ... канд. биол. наук. – Москва: ТСХА, 1993.
5. Хоботьев В. Г. Некоторые материалы к характеристике уровской биогеохимической провинции // *Тр. Биогеохим. лаб.*, 1960. – Т. XI. – М.: Изд-во АН СССР. – С. 168–178.
6. Baruah B. K., Das B., Haque A., Medhi C., Misra A. K. (2011). Sequential extraction of common metals (Na, K, Ca and Mg) from surface soil // *J. Chem. Pharm. Res.* – 2011. – Vol. 3. – № 5. – P. 565–573.
7. Juo A. S. R., Barber S. A. The retention of strontium by soils as influenced by pH, organic matter and saturated cations // *Soil Sci.*, 1970. – Vol. 109. – № 3. – P. 143–148.
8. McGrath M., Davison W., Hamilton-Taylor J. (1989). Biogeochemistry of barium and strontium in a softwater lake // *Sci Total Environ.* – 1989. – Vol. 87/88. – P. 287–295.

ABOUT OF THE CONCENTRATION OF STRONTIUM BY PLANTS

U. A. Gulyaeva

This presentation is a continuation of the research on biogeochemistry of calcium and strontium in connection with the manifestations of Urov Kashin-Beck disease in Eastern Transbaikalia. The ill animals and people have dwarf growth and skeletal deformities. It was discovered that the meadow landscapes of endemic territories were characterized by a high content of Sr and normal level of Ca. The elevated contents of Sr in soils and plants endemic area was regarded as a factor of ecological risk. This study is devoted to the assessment of calcium and strontium mobility in soils of Eastern Transbaikalia.

Keywords: calcium, strontium, mobility, soil, plants, Urov endemic.

СОДЕРЖАНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В БИОГЕОЦЕНОЗАХ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ

Г. Я. Елькина, С. В. Денева, Е. М. Лаптева

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН,

г. Сыктывкар, Республика Коми, Россия,

e-mail: denewa@rambler.ru

По содержанию тяжёлых металлов (ТМ) преобладающие в биоценозах Большеземельской тундры мхи представлены рядом $Zn > Ni > Cu > Pb > Co > Cd$, лишайники – $Zn > Pb > Ni > Cu > Co > Cd$. Доминирование мхов способствует замедленному кругообороту элементов и длительной их консервации в мортмассе. В большей степени ТМ аккумулируются в хорошо разложенных растительных остатках (в органогенных горизонтах тундровых почв). Приведено содержание ТМ в растениях, запасы их в растительном органическом веществе. Ранжирование ТМ в почве под разными растительными группировками в основном совпадает с их распределением в доминантных видах растений. Валовые формы большинства ТМ аккумулируются в верхней части почвенного профиля. Аккумуляция Zn и Cd в споровых растениях определяется уровнем атмосферного загрязнения.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, биогеохимический круговорот, Большеземельская тундра, биогеоценоз, биомасса.

Введение

Воркутинский район Республики Коми входит в состав арктической зоны Российской Федерации. Здесь представлены ландшафты с кислым глеевым классом миграции [3] и массивно-островным [7] характером залегания многолетнемёрзлых пород. Как правило, до настоящего времени при изучении тундровых экосистем их почвы и растения рассматривались как отдельно функционирующие объекты, депонирующие органические и неорганические поллютанты в условиях промышленного загрязнения. Изучению взаимосвязей между содержанием тяжёлых металлов (ТМ) в системе «почва-растение» Большеземельской тундры (БЗТ) уделялось недостаточно внимания, сведения по содержанию некоторых из микроэлементов на данный момент отсутствуют. В тоже время почвы, распространённые на территории БЗТ, представляют собой высокоёмкие органо-сорбционные и глеевые барьеры для большинства токсичных элементов [1, 2]. В связи с этим, выявление закономерностей в распределении ТМ в системе «почва-растение» актуально как для характеристики геохимических особенностей тундровых биогеоценозов, так и для проведения экологического мониторинга, особенно в связи с промышленным освоением арктических территорий и наблюдаемыми изменениями климата.

Цель работы – оценка запасов и особенностей распределения микроэлементов в составе растительных сообществ и почвах типичных ландшафтов Большеземельской тундры, выявление параметров их биологического круговорота.

Объекты и методы

Исследования проводили в пределах склона мусюра юго-юго-западной экспозиции с небольшим (около 3°) уклоном (67°35,4 с.ш., 64°09,9 в.д., абсолютная высота 150 м над ур.м.). Растительный покров участка образуют три группы сообществ – кустарничково-лишайниковое (КЛ), кустарничково-лишайниково-моховое (КЛМ) и кустарничково-моховое (КМ).

Почвенный покров представлен сочетанием глеезёмов криотурбированных (Histic Turbic Cryosol) и торфяно-глеезёмов (Histic Cryosol Reductaquic). Глеезёмы криотурбированные со строением профиля O(0-5)–Ghi(5-19)–G@(19-73)–CR(73-89)–CG⊥(89-95) формируются под КЛ и КЛМ сообществами, мощность их органогенного горизонта – до 5 см, сезонно-талого слоя (СТС) – 0,9 м. Спецификой минеральной части профиля являются: тиксотропия, оглеение, преобладание восстановительных условий; максимальная выраженность криотурбаций, наряду с которыми имеют место перераспределение, сортировка компонентов и криокоагуляционная агрегация органического вещества на границе органогенных горизонтов с минеральной толщей [8]. Торфяно-глеезёмы (T(0-19)–Ghi(19-31)–G(31-69)–CR(69-89)–CG⊥(89-95)) развиты под КМ сообществами. Их профиль отличается более активным торфонакоплением (мощность органогенного горизонта достигает 15-24 см), наличием близко залегающей мерзлоты (мощность СТС не превышает 0,6-0,7 м), более интенсивным оглеением и тиксотропностью минеральных горизонтов. Названия почв даны в соответствии с классификацией и диагностикой почв России [4] и системой мировой базы почвенных ресурсов [6].

Для определения мозаичности растительных сообществ и вклада различных групп сообществ в запасы фитомассы и ТМ закладывали трансекту (1×10 м²) с выделением пробных площадок для учёта биомассы (0,2×10 м²). Расчёт запасов ТМ в растительном органическом веществе (кг/га) производили путём умножения массы структурных компонентов в единице площади на содержание в них того или иного элемента. Массовую долю ТМ в пробах измеряли методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой SPECTROARCOS. Разложение проб почв для определения валового содержания ТМ проводили методом микроволнового вскрытия с использованием СВЧ-минерализатора «Минотавр-2» (Россия, ООО «Люмэкс»). Подвижные формы ТМ экстрагировали раствором 1N HCl и ацетатно-аммонийным буферным раствором (АББ) с pH 4,8. Определение ТМ в растениях осуществляли после разложения смесью азотной кислоты и перекиси водорода на СВЧ-минерализаторе «Минотавр-1» методом спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой (ПНДФ 16.1:2.3: 3.11-98).

Результаты

В пределах рассмотренной трансекты максимальные запасы фитомассы (29,0 т/га) сосредоточены в КМ сообществе, которое на 57,3% представлено мхами. Доминирование мхов ведёт к замедленному биологическому круговороту: мортмасса (103,1 т/га) значительно превышает массу живых растений. Расчет запасов ТМ также продемонстрировал, что максимумом их аккумуляции как в фитомассе, так и мортмассе характеризуется данное (КМ) сообщество. Минимальными значениями показателей отличается биоценоз с преобладанием лишайников (76,1%), что связано с невысокой массой растительного органического вещества (запас фитомассы 15,7 т/га, мортмассы – 28,3 т/га) и интенсивной ее деструкцией. Более высокая интенсивность минерализации лишайников по сравнению со мхами помимо особенностей химического состава растений обусловлена различиями в водном и тепловом режимах мест их обитания: лишайниковые пятна в пределах рассматриваемой трансекты занимают микроповышения.

Запасы ТМ в общей массе растительного органического вещества представлены рядом: Zn > Ni > Cu > Pb > Co > Cd, в живых растениях: Zn > Cu > Ni > Pb > Co > Cd. Общей закономерностью для всех растительных группировок и в целом для тундрового сообщества является накопление ТМ в мортмассе (73-95%) по сравнению с фитомассой растений.

Для оценки содержания ТМ и роли отдельных видов растений в их аккумуляции анализировали как живые, так и отмершие части растений выделенных тундровых ценозов. Цинком, в большей степени, богаты кустарники, особенно *Salix phylicifolia*, ми-

нимальные количества Zn, а также Cu характерны для лишайников. Максимум содержания Cu приходится на побеги *Vaccinium uliginosum*. По содержанию Ni растения незначительно отличаются друг от друга, но более высока его концентрация во мхах. Содержание Pb также существенно во мхах, но и лишайниках. Максимальное количество Cd приходится на побеги и листья *Salix phylicifolia* (1,3–2,2 мг/кг). В споровых растениях его содержание несколько ниже. Травянистые растения характеризуются очень низким содержанием Cd. Поскольку корни сдерживают поступление токсичных элементов в растения, содержание элементов, включая и кадмий, в корнях трав выше. Наиболее значительная разница между содержанием элементов в корнях и надземной массе характерна для меди и свинца.

Скорость биологического кругооборота ТМ (как отношение количества элементов в отмерших растительных остатках к количеству их в органах растений) в основном определяется потребностью растений. Наиболее интенсивный кругооборот характерен для меди (3,4), цинка (2,8), средний – для кадмия (6,8), низкий – для кобальта, никеля и свинца (17,5, 11,4, 11,2). Скорость цикла большинства элементов в биоценозах с преобладанием лишайников выше, чем в сообществах с доминированием листостебельных мхов. Присутствие в напочвенном покрове мхов при незначительном обилии травянистых растений способствует замедленному кругообороту элементов и длительной их консервации в мёртвом веществе.

Верхние органогенные горизонты (отмершие растительные остатки) почв исследуемых тундровых биогеоценозов исполняют роль окислительно-восстановительного геохимического барьера, в пределах которого происходит концентрация химических элементов. В органогенных горизонтах содержание Zn, Cu и особенно Cd, существенно выше, чем в минеральной толще почв, Co и Ni – меньше, по Pb – различий не установлено. В минеральной толще наиболее высоким содержанием отличается Zn, наименьшим – Cd.

Валовые формы большинства рассматриваемых ТМ аккумулируются в верхней части почвенных профилей до глубины 45–49 см. По валовому содержанию ТМ в минеральных горизонтах торфяно-глеезёма элементы можно расположить в следующий ряд: Zn>Ni>Pb>Cu>Co>Cd, глеезёма криотурбированного – Zn>Ni>Pb>Co>Cu>Cd. Ранжирование элементов в почве под разными растительными группировками в основном совпадает с их распределением в доминантных видах растений. Порядок элементов в глеевом горизонте Gh₁, залегающем непосредственно под моховой подстилкой, почти аналогичен ряду элементов во мхах (Zn>Ni>Cu>Pb>Co>Cd). Для лишайников характерно более высокое, по сравнению со мхами, содержание свинца (Zn>Pb>Ni>Cu>Co>Cd), и в горизонте Gh₁, расположенном под лишайниковой подстилкой, наблюдается тенденция к накоплению этого элемента.

Существенным содержанием подвижных (извлекаемых 1N HCl) форм Cu, Zn и Ni отличается верхний минеральный горизонт Gh₁, а Pb и Co – нижняя часть профиля торфяно-глеезёма. Верхние минеральные горизонты почвы под лишайниковыми сообществами (КЛ), так же, как и сами лишайники, содержат меньше подвижных форм Zn, Ni и Cu и обогащены кобальтом. Распределение соединений, экстрагируемых ацетатно-аммонийным буфером (ААБ) в основном аналогично распределению форм, вытесняемых 1N HCl.

Наиболее высокой подвижностью в почвах отличаются Cu и Pb, раствор 1N HCl извлекает соответственно 30–35 и 28–34% от их валового содержания. Подвижность остальных элементов составляет 15–25%. В ААБ переходит 5–7%. Причины различий в профильном распределении ТМ, их подвижности заключаются в физико-химических особенностях элементов, сложных окислительно-восстановительных условиях почв, связанных с мерзлотой и явлениями криотурбации, а также в составе растительных сообществ.

С учётом разной стратегии поглощения элементов споровыми и сосудистыми растениями коэффициент накопления (КН) в отношении мхов и лишайников является условным. Не имея корневой системы, они поглощают воду с растворёнными в ней минеральными веществами всей поверхностью, употребляя при этом элементы, как из подстилающего субстрата, так и атмосферных осадков [5]. По КН элементы во мхах образуют следующий ряд: $Zn > Cd > Cu > Ni > Pb > Co$, в лишайниках – $Cd > Zn > Cu > Ni > Pb > Co$. Содержание цинка в вегетирующей части мхов превышает его количество в почве в 1,44, кадмия – в 1,34 раза, что свидетельствует о преобладающем атмосферном поступлении этих элементов.

Заключение

Запасы ТМ в мортмассе тундровых фитоценозов представлены рядом: $Zn > Ni > Cu > Pb > Co > Cd$, в живых растениях: $Zn > Cu > Ni > Pb > Co > Cd$. Доминирование мхов способствует замедленному кругообороту элементов и длительной клнсервации их в отмерших растительных остатках, формирующих органогенные горизонты тундровых почв. Ранжирование тяжелых металлов в почвах под различными растительными сообществами в основном совпадает с их распределением в доминантных видах растений. Органогенный горизонт тундровых биоценозов в геохимическом отношении следует рассматривать как поверхностный почвенно-геохимический барьер с замедленным круговоротом элементов. В минеральной толще почв также, как и в преобладающих растениях, наиболее высоко содержание цинка, меньше всего – кадмия. Кумулятивная способность споровых растений может быть использована для экологической экспертизы при оценке загрязнения ландшафтов арктической зоны тяжелыми металлами и проведения мониторинга.

Исследования выполнены в рамках темы государственного задания ИБ Коми НЦ УрО РАН «Выявление общих закономерностей формирования и функционирования торфяных почв на территории Арктического и Субарктического секторов Европейского Северо-Востока России (Гр.: АААА-А17-117122290011-5)».

Литература

1. Гецен М. В., Стенина А. С., Патова Е. Н., Кулюгина Е. Е., Плюснин С. Н., Денева С. В., Елсаков В. В. Исследование водных и наземных экосистем в зоне влияния угольного карьера Юньягинского месторождения // Вестник Института биологии Коми НЦ УрО РАН. – 2005. – № 7 (93). – С. 14–19.
2. Патова Е. Н., Кулюгина Е. Е., Денева С. В. Процессы естественного восстановления почв и растительного покрова на оработанном угольном карьере (Большеземельская тундра) // Экология, 2016. – № 3. – С. 1–7. DOI: 10.7868/S0367059716020116
3. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. – М.: Астрель, 2000, 1999.
4. Полевой определитель почв России. – М.: Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева, 2008.
5. Bargagli R. Biogeochemiya nazemnykh rasteniy // Biogeochemistry of terrestrial plants. – Moscow: GEOS Publ., 2005.
6. 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 № 106. – FAO, Rome, 2014.
7. Oberman N. G., Mazhitova G. G. Permafrost mapping of Northeast European Russia based on the period of climatic warming 1970–1995 // Norsk Geografisk Tidsskrift. Norwegian Journal of Geography, 2003. – V. 57. – № 2. – P. 111–120. DOI: 10.1080/00291950310001513
8. Rusanova G., Deneva S., Shakhhtarova O., Lapteva E. Specificity of soil forming processes and properties of upland soils in the south-east of the Bolshezemelskaya tundra // Soil Science in International Year of Soils: Article book of the Proceedings of the International Congress (Sochi, Russia, 19-23 October 2015). Moscow: Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science, Department of Soil Physics and Reclamation, 2015. – P. 356–360.

CONTENT AND DISTRIBUTION OF HEAVY METALS IN THE BIOGEOCENOSSES OF THE BOL'SHEZEMEL'SKAYA TUNDRA

G. Ya. El'kina, S. V. Deneva, E. M. Lapteva

Biological cycle, content, and stocks of heavy metals in plant organic matter are an interesting study topic for both ecological description of biogeocenoses and ecological monitoring. The biocenosis includes three plant communities as dwarf shrub-mossy (65,6), dwarf shrub-lichen-mossy (17,9), and dwarf shrub-lichen (16,5% of total area) communities. Soils are Histic Turbic Cryosols under dwarf shrub-mossy community and Histic Cryosols under lichens. Copper and zinc have a high, cadmium – mean, and cobalt, nickel, lead – low frequency rate of biological cycle. Frequency rate of cycle for the majority of elements in lichen communities is high in contrast to leafy moss communities. Mosses slow down cycle of elements and hold them in dead material for long time. Composition of elements in soils under communities normally is the same as that in plants. Organic soil horizon of tundra biocenoses should be considered as a surface soil-geochemical barrier with a slow elemental cycle. Mineral soil part has high concentrations of zinc and low – of cadmium. Besides, concentrations of copper, zinc, nickel, and cadmium is similar to worldwide mean values but concentrations of cobalt and lead slightly exceed them. Differences in profile distribution of elements relate to physical-chemical properties of elements, complex redox conditions of soils due to permafrost and cryoturbation processes. Also, they depend on composition of plant communities.

Keywords: heavy metals, biogeochemical cycle, Bolshezemelskaya tundra, biogeocenosis, biomass.

СЕЗОННАЯ ДИНАМИКА ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ФИТОМАССЕ ПОДТАЕЖНЫХ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮЖНОЙ МЕЩЕРЫ

О. С. Железнова, С. А. Тобратов

*Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина,
г. Рязань, Россия,
e-mail: Zheleznova_rzn@mail.ru*

В настоящей работе представлены результаты изучения сезонной динамики тяжелых металлов (ТМ) – Cu, Zn и Cd – в тканях древесных растений Южной Мещеры (Рязанская область РФ). Показано влияние на ретранслокацию ТМ из стареющих листьев трех факторов: природы химического элемента, видовых особенностей растений, экологических факторов. Наиболее общей тенденцией является осенний отток Cu из стареющих листьев и аккумуляция в них Zn, участвующего в синтезе ферментов азотного катаболизма. Доля ретранслоцируемого из листьев токсичного Cd широко варьирует между видами. Недоучет сезонного фактора способен приводить к ошибке оценки вклада биотического блока в естественную буферность экосистем (за счет аккумуляции ТМ в тканях стволов) в масштабе $\pm 2,7\%$, $\pm 11,8\%$ и $\pm 33,7\%$ для Zn, Cd и Cu соответственно.

Ключевые слова: древесные растения; эффективность ретранслокации; тяжелые металлы; старение листьев; долговременная иммобилизация в фитомассе.

Введение

При изучении биокруговоротов в экосистемах зачастую недостаточно внимания уделяется сезонной динамике концентраций элементов в растительных тканях. Сложность обобщения накопленных к настоящему времени данных обусловлена тем, что содержание элементов в органах растений в течение года изменяется в зависимости от видовых особенностей растений и природы самого элемента, а также под влиянием экологических факторов [2; 4; 7]. Оценка сезонных концентраций может помочь уточнить величину критической нагрузки поллютантов на экосистему, так как древесина и кора ствола – факторы устойчивости экосистемы к химическому загрязнению, депонирующие элементы, в том числе ТМ, и надолго изымающие их из миграции [3]. Одно из существенных звеньев круговорота – ретранслокация веществ из стареющих фотосинтезирующих органов многолетних видов (R). Ретранслокация является ключевым процессом, определяющим судьбу питательных элементов листьев. Баланс между рециркуляцией элемента в растении и его возвращением в почву через подстилку влияет на химическую нагрузку на экосистему [6].

Цель настоящей работы – установить масштабы и закономерности сезонной динамики ТМ – меди (Cu), цинка (Zn) и кадмия (Cd) – в древесных растениях.

Методы

Объект исследований – хвойно-широколиственные лесные сообщества юго-запада Мещерской низины (центр Восточно-Европейской равнины, Рязанская область РФ). Сезонное почвенно-биогеохимическое опробование осуществлялось в 2013–2014 гг. Определение концентраций ТМ осуществлялось атомно-абсорбционным методом. Величины R рассчитывались по формуле [4]:

$$R = \frac{X_M - X_{(t)}}{X_M} \times 100\% \times (-1) ,$$

где X_M – средняя концентрация ТМ в листьях в середине вегетационного сезона (в конце июля – начале августа); $X_{(t)}$ – средняя концентрация ТМ в старых листьях перед их опадением (в конце 1-ой декады октября). Отрицательные значения R свидетельствуют об оттоке элемента из листьев осенью, то есть о наличии осенней ретранслокации, а положительные, наоборот, указывают на накопление элемента в листьях перед их опадением.

Результаты

Согласно полученным результатам, концентрация биофильных Cu и Zn в фитомассе в зависимости от сезона меняется в 1,2–1,7 раза, токсичного Cd – более чем в 2 раза. В табл. 1 представлены результаты расчета эффективности ретранслокации ТМ из листьев древесных растений. Как следует из табл. 1, Cu, как правило, ретранслюцируется из листьев деревьев осенью. Отток Zn существенно меньше, кроме того, может наблюдаться его аккумуляция, связанная с участием Zn в синтезе различных протеаз, необходимых для процессов азотного катаболизма стареющих листьев [1; 5; 8]. Ретранслокация Cd менее регулярна и широко варьирует между видами и между различными местообитаниями для одного вида.

Ярким примером влияния видовых особенностей растений на ретранслокацию элементов является отсутствие осеннего оттока Cu и Zn из листьев *Alnus glutinosa* (табл. 1). Это связано со способностью *A. glutinosa* фиксировать атмосферный азот через симбиоз с актиномицетами, благодаря чему для нее не существует проблемы дефицита азота и, следовательно, необходимости гидролиза макромолекул и ремобилизации азота (и связанных с азотным метаболизмом элементов, в том числе Cu и Zn) осенью. Примером влияния концентрации элемента в питательном растворе на величину его ретранслокации является снижение оттока Zn из листьев в условиях его повышенной

почвенной биодоступности (коэффициент корреляции между содержанием подвижных форм Zn в почвенном растворе и его концентрацией в осенних листьях равен 0,44). Это способствует удалению накопленных в листьях излишков металла.

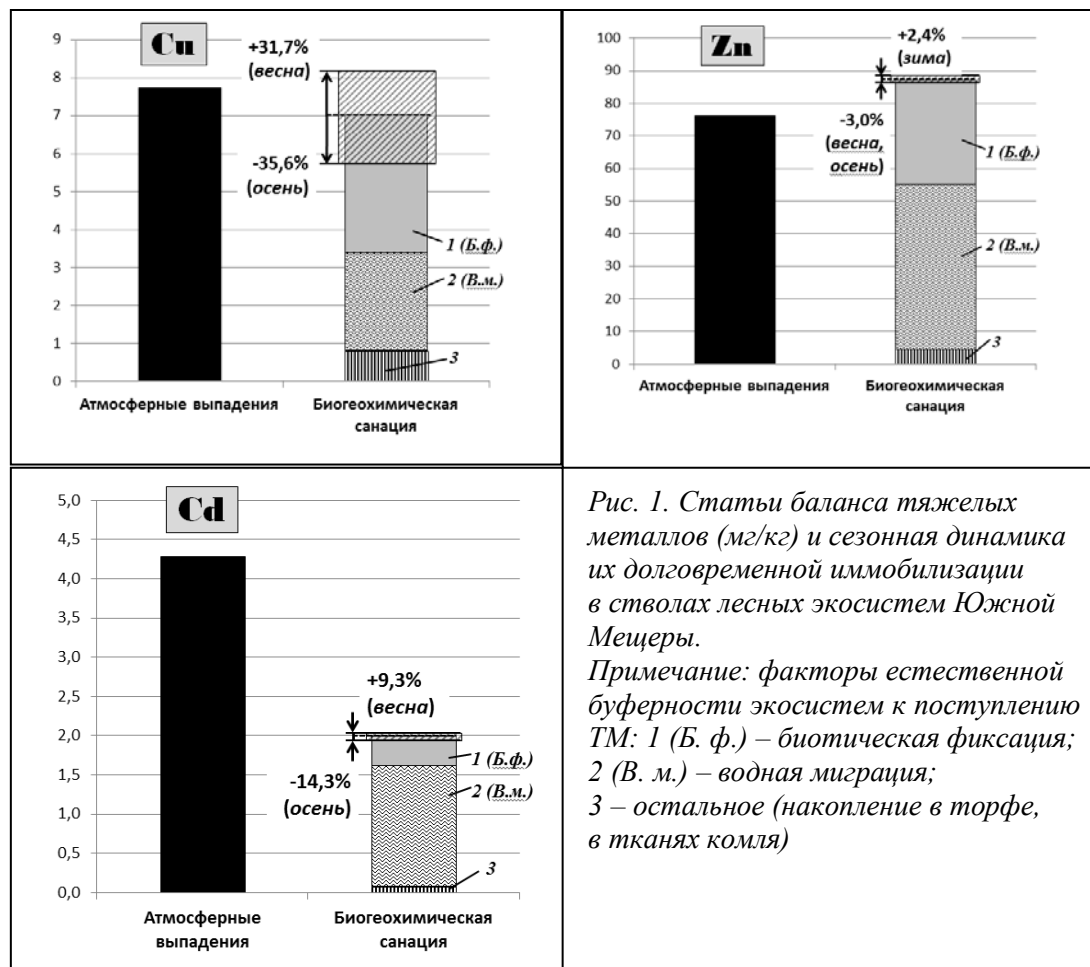
Таблица 1

**Эффективность ретранслокации тяжелых металлов
из листьев древесных растений осенью, %**

Вид	А*	Подтип почвы	Cu	Zn	Cd
<i>Populus tremula</i>	45	Дерново-подзол глеевый оруденелый	–40,53	8,36	22,28
	12	Подзол глеевый иллювиально-железистый	–20,82	17,93	51,34
	25	Дерново-подзол глееватый	26,37	65,61	61,03
<i>Betula pubescens</i>	25		–30,15	–12,72	–80,14
	40	Торфяная олиготрофная типичная	–16,36	35,53	21,13
	55	Дерново-подзол глеевый иллювиально-железистый	–2,62	2,19	46,82
<i>Quercus robur</i>	81	Подзол глеевый иллювиально-железистый	–29,08	–1,18	–28,27
	20		–8,74	–16,53	183,18
	104		–34,82	–12,76	–43,24
<i>Alnus glutinosa</i>	45	Торфяная эуτροφная типичная	33,88	31,11	–3,66
	57		2,42	11,39	–60,73

* А – возраст древостоя, лет.

Другие фракции фитомассы являются органами-стоками для элементов, оттекающих из листьев. Древесина ствола – резервуар для зимнего хранения Cu, Zn, Cd; кора ствола – для Zn и Cd. ТМ на зиму ретранслоцируются также в тонкие ветви и корни.



На рис. 1 представлены масштабы сезонного хода концентраций ТМ в древесине и коре, в частности, обусловленные участием тканей ствола в процессе ретранслокации в качестве органа-стока (чем и обусловлены зимне-весенние максимумы концентраций). Недоучет сезонного фактора способен приводить к ошибке оценки вклада биотического блока в естественную буферность экосистем по отношению к ТМ для Zn, Cd и Cu в масштабе $\pm 2,7\%$, $\pm 11,8\%$ и $\pm 33,7\%$ соответственно.

Заключение

Таким образом, концентрация ТМ в биомассе древесных растений в зависимости от сезона может меняться более чем в 2 раза. При этом масштаб и закономерности сезонной динамики ТМ в фитомассе зависят от природы химического элемента, видовых особенностей растений, а также от экологических факторов. Наиболее общей тенденцией является осенний отток Cu из стареющих листьев и аккумуляция в них Zn, участвующего в синтезе ферментов азотного катаболизма. Доля ретранслоцируемого из листьев токсичного Cd широко варьирует между видами. Установлено, что недоучет сезонного фактора способен приводить к ошибке оценки вклада биотического блока в естественную буферность экосистем (за счет аккумуляции ТМ в тканях стволов) в масштабе $\pm 2,7\%$, $\pm 11,8\%$ и $\pm 33,7\%$ для Zn, Cd и Cu соответственно.

Литература

1. Carrión C., Martínez D., Costa M., Guamet J. Senescence-associated vacuoles, a specific lytic compartment for degradation of chloroplast proteins? // *Plants*. – 2014. – Vol. 3. – № 4. – P. 498–512.
2. Maillard A., Diquélou S., Billard V., Lainé Ph., Garnica M., Prudent M., et al. Leaf mineral nutrient remobilization during leaf senescence and modulation by nutrient deficiency // *Frontiers in Plant Science*. – 2015. – Vol. 6. DOI: 10.3389/fpls.2015.00317
3. Manual on Methodologies and Criteria for Modeling and Mapping Critical Loads & Levels and Air Pollution Effects, Risks and Trends [Электронный ресурс]. UNECE Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, 2004. – URL: <http://www.icpmapping.org/> (дата обращения: 25.09.2015).
4. Niinemets U., Tamm U. Species differences in timing of leaf fall and foliage chemistry modify nutrient resorption efficiency in deciduous temperate forest stands // *Tree Physiology*. – 2005. – Vol. 25. – № 8. – P. 1001–1014.
5. Sillanpää M. Leaf senescence in silver birch (*Betula pendula* Roth). Academic dissertation. Helsinki, 2003.
6. Van Heerwaarden L. From leaf to litter: nutrient resorption in a changing environment. PhD thesis. Amsterdam: Vrije Universiteit, 2004. – P. 1–61.
7. Viers J., Prokushkin A. S., Pokrovsky O. S., Auda Y., Kirdyanov A.V., Beaulieu E., et al. Seasonal and spatial variability of elemental concentrations in boreal forest larch foliage of Central Siberia on continuous permafrost // *Biogeochemistry*. – 2012. – Vol. 113. – № 1–3. – P. 435–449.
8. Zhang L., Zhang Y., Rui Q., Ren Y., Xu L. Effects of ATP and Zn^{2+} on degradation of the large subunit of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase in wheat leaves // *African Journal of Agricultural Research*. – 2012. – Vol. 7. – № 5. – P. 711–720.

SEASONAL DYNAMICS OF HEAVY METALS IN PHYTOMASS. CASE STUDY: MIXED FORESTS OF THE SOUTH MESHCHERA

O. S. Zheleznova, S. A. Tobratov

This paper presents the results of the study of heavy metals (HM) seasonal dynamics in the woody plant tissues of the South Meshchera (the Ryazan Region, Russia). The influence

of three factors on HM retranslocation from aging leaves is shown: the nature of the chemical element, species plant characteristics, environmental factors. The most common trend is the autumn Cu retranslocation from aging leaves and accumulation of Zn, involved in the synthesis of nitrogen catabolism enzymes. The proportion of toxic Cd retranslated from leaves varies widely between species. The underestimation of the seasonal factor can lead to an error in assessing the contribution of the biotic block to the natural buffering of ecosystems (due to the accumulation of HM in the trunk tissues) at a scale of $\pm 2,7\%$, $\pm 11,8\%$ and $\pm 33,7\%$ for Zn, Cd and Cu, respectively.

Keywords: woody plants; retranslocation efficiency; heavy metals; leaf aging; long-term immobilization in phytomass.

ФЕНОЛЬНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ В ЛИШАЙНИКАХ И ИХ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ПОЧВООБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ

Н. В. Загоскина¹, Т. Н. Николаева¹, П. В. Лапшин¹, А. Г. Заварзина²

¹*Институт физиологии растений им. К. А. Тимирязева Российской академии наук,
г. Москва, Россия*

e-mail: biophenol@gmail.com

²*Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
г. Москва, Россия*

e-mail: zavarzina@mail.ru

Лишайники относят к организмам, которые одними из первых заселяют минеральные субстраты и способствуют формированию почв. Их участие в гумификации мало изучено. Нами определено суммарное содержание водорастворимых фенольных соединений (ФС) как потенциальных предшественников гуминовых веществ в лишайниках порядков Peltigerales (роды Peltigera, Solorina, Nephroma, Lobaria) и Lecanorales (роды Cladonia, Cetraria, Flavocetraria, Alectoria). Более высокая способность к их образованию характерна для представителей порядка Peltigerales.

Ключевые слова: лишайники, фенольные соединения, содержание, состав.

Введение

Лишайники (лихенизированные грибы) представляют собой симбиотическую ассоциацию гриба (обычно аскомицета) и фотобионта, которым может быть водоросль (например, Trebouxiia) и/или цианобактерия (обычно Nostoc) [11, 12]. Они одними из первых колонизируют минеральные субстраты и рассматриваются как предшественники мохообразных и высших растений. Лишайники являются первичными почвообразователями и способствуют выветриванию горных пород и образованию мелкозема [9]. Они также вносят вклад в формирование гуминовых веществ (ГВ), которые определяют водно-физические свойства почв и их плодородие [13].

В лишайниках высока доля вторичных метаболитов фенольной природы (от 1-10 и до 20% от сухой массы), биосинтез большинства из которых специфичен для микобионта и не встречается у других организмов [10, 11]. К ним относятся депсиды, депсидоны, дибензофураны, депсоны, антрахиноны. Наиболее распространенными являются депсиды, молекулы которых построены из 2-4 остатков оксibenзойных кислот, связанных между собой сложноэфирными группами, а также депсидоны, которые имеют дополнительную простую эфирную связь между ароматическими кольцами. Некоторые

из этих соединений растворимы в воде, что предполагает возможность их вымывания с осадками, попадание в почвенный раствор и потенциальное участие в гумусообразовании. При этом образование ГВ под лишенизированными грибами можно считать простейшей моделью первичного почвообразовательного процесса [1]. Лишайники дают начало образованию торфянистых и гумифицированных остатков, часто ассоциированных с мелкоземом, покрытым гумусовой пленкой. Такие примитивные почвы, характеризующиеся органоминеральным комплексом в виде кутан, могут представлять переход от водорослевых и бактериальных биопленок к настоящей почве.

Следует отметить, что фенольные соединения (ФС) чрезвычайно широко распространены в растительном царстве, однако их содержание и состав в значительной степени определяются их филогенетической принадлежностью. Ранее нами впервые было установлено, что лишайники содержат растворимые ФС [3, 4]. Литературных данных о количественном и качественном составе этих соединений в этих организмах и их участии в почвообразовании крайне мало. Можно полагать, что за счет растворимости и высокой реакционной способности эти соединения активно участвуют в трансформации минеральной фазы и процессах гумификации. Помимо фенольных соединений, лишайники порядка *Peltigerales* продуцируют лакказы и тирозиназы [2] – ферменты, катализирующие синтез ГВ, что служит дополнительным аргументом в пользу возможной ведущей роли лишайников в процессах гумификации на ранних стадиях образования почв в отсутствие высших растений, а также в климаксных почвах суровых местообитаний.

Целью работы являлось изучение водорастворимых ФС у различных видов лишайников.

Методы

Объектами исследования являлись различные виды лишайников, относящихся к порядкам *Peltigerales* (роды *Peltigera*, *Solorina*, *Nephroma*, *Lobaria*) и *Lecanorales* (роды *Cladonia*, *Cetraria*, *Flavocetraria*, *Alectoria*). Они были собраны на Кольском полуострове (Мурманская область, Хибины) и воздушно высушены. Для проведения исследований использовали целые фрагменты талломов лишайников размером 1–3 см. Последние перед анализом выдерживали в эксикаторе над парами воды в течение суток, чтобы исключить возможность вымывания ФС из поврежденных частей талломов.

ФС извлекали из целых талломов лишайников дистиллированной водой (соотношение вода:таллом составляло 10:1 или 5:1). Экстракцию проводили при 45°C в течение 30 мин. при периодическом перемешивании, затем смесь центрифугировали (7000 об/мин, 15 мин) и надосадочную жидкость использовали для определения суммарного содержания ФС с реактивом Фолина-Дениса [6, 14].

Исследование качественного состава ФС водных экстрактов, полученных из целых талломов лишайников, проводили методом хроматографии в тонком слое (0.25 мм) микрокристаллической целлюлозы ("Ferak", Германия). Растворителем служила смесь БУВ – н-бутанол/уксусная кислота/вода в соотношении 4:1:5 (верхняя фаза) [7, 8]. Предварительную идентификацию ФС по специфической ярко-голубой или синей флуоресценции в УФ-свете (длины волн 254 и 366 нм) проводили на ультрамикроскопе DESAGA UVIS ("DESAGA", Голландия). Использовали также качественные реакции на ФС, опрыскивая хроматограммы смесью 1%-ных водных растворов FeCl_3 и $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (на все классы ФС); диазотированным п-нитроанилином и 20% раствором Na_2CO_3 (на фенолкарбоновые кислоты) [5]. В качестве стандартов-метчиков использовали фенолкарбоновые (п-оксибензойную, ванилиновую, протокатеховую, галловую и сиреневую кислоты; Sigma, USA), а также лишайниковые кислоты – антранорин, усниновую и гирофоровую.

Результаты

Определение содержания водорастворимых ФС в лишайниках показало, что в пельтигерах их было в 2-4 раза больше, чем в леканоровых (0,97-1,62 мг *n*-оксибензойной кислоты/г сухой массы и 0,24-0,57 мг *p*-оксибензойной кислоты/г сухой массы, соответственно). Установлены и существенные различия в их распределении в разных частях талломов лишайников, особенно у леканоровых видов – в апикальных частях содержалось в 1,5-2 раза больше ФС, чем в отмирающих. Изучение состава ФС методом ТСХ показало наличие в лишайниках 6-10 конъюгатов фенольной природы, состав которых близок у видов одной систематической группы. Путем опрыскивания хроматограмм реагентами на фенолкарбоновые кислоты, аминокислоты и сахара установлено, что около половины ФС лишайников представляют собой фенолкарбоновые кислоты, конъюгированные с азотсодержащими соединениями. Конъюгаты с углеводами встречаются только у отдельных видов. Качественный состав конъюгатов ФС в разных частях талломов пельтигер оказался одинаков, тогда как у леканоровых лишайников состав ФС в апикальных частях разнообразнее. Большее содержание и разнообразие конъюгатов ФС в растущих частях талломов связано, видимо, с тем, что ФС в леканоровых лишайниках участвуют в защите талломов от УФ излучения – ему подвергается только верхняя часть растущих вертикально талломов (подобно сфагновым мхам). Разницу в количестве и составе ФС в разных частях леканоровых лишайников следует учитывать при расчетах выноса ФС из лишайников в окружающую среду и в оценках взаимодействия ФС лишайников с минеральными компонентами.

Заключение

Для различных видов лишайников, относящихся к порядкам Peltigerales и Lecanorales, характерно образование ФС, представленных преимущественно производными фенолкарбоновых кислот. Водорастворимые ФС лишайников представлены эфирами с аминокислотами и, реже, фенилгликозидами. Исходя из этого можно предположить, что комплексы ФС с аминокислотами и сахарами могут вымываться из талломов с осадками и участвовать во внеклеточных трансформациях, в том числе приводящих к образованию ГВ.

Литература

1. Заварзина А. Г. Реконструкция возникновения палеопочв на основе современных процессов гумусообразования // «Палеопочвы – индикаторы континентального выветривания в истории биосферы». Сер. «Гео-биологические системы в прошлом». – М.: ПИН РАН, 2010. – С. 36–75.
2. Заварзина А. Г., Заварзин А. А. Лакказная и тирозиновая активности у лишайников // Микробиология, 2006. – Т. 75. – С. 630–641.
3. Загоскина Н. В., Николаева Т. Н., Лапшин П. В., Заварзина А. Г., Заварзин А. А. О содержании фенольных соединений в различных видах лишайников Кольского полуострова // Химия растит. сырья. – 2011. – № 4. – С. 245–249.
4. Загоскина Н. В., Николаева Т. Н., Лапшин П. В., Заварзина А. Г., Заварзин А. А. Водорастворимые фенольные соединения у лишайников // Микробиология. – 2013. – Т. 82. – С. 434–441.
5. Запрометов М. Н. Основы биохимии фенольных соединений. – М.: Высш. школа, 1974.
6. Запрометов М. Н. Фенольные соединения и методы их исследования // Биохимические методы в физиологии растений / Под ред. О. А. Павлиновой. – М.: Наука, 1971. – С. 185–197.
7. Запрометов М. Н., Николаева Т. Н. Способность изолированных хлоропластов из листьев фасоли осуществлять биосинтез фенольных соединений // Физиология растений. – 2003. – Т. 50. – С. 699–705.
8. Коломиец Н. Э., Калинкина Г. И. Сравнительное исследование химического состава видов рода хвощ флоры Сибири // Химия растит. сырья. – 2010. – № 1. – С. 149–154.

9. Chen J., Blume H.P., Beyer L. 2000. Weathering of rocks induced by lichens colonization: a review // *Caten.* – 2000. – Vol. 3. – P. 121–146.
10. Elix J. A., Stoker-Worgotter E. Biochemistry and secondary metabolites // *Lichen biology*. 2nd ed. / Ed. Nash T.H. Cambridge: Cambridge University Press, 2008. – P. 104–133.
11. Huneck S. New results on the chemistry of lichen substances // *Fortschr. Chem. Org. Naturst.* – 2001. – Vol. 81. – P. 1–276.
12. Nash T. H. *Lichen Biology*. 2nd ed. London: Cambridge University Press, 2008.
13. Parinkina O. M., Piin T. K., Pereverzev V. N. Mineralization and humification of lichens under natural conditions of Kola Peninsula // *Eurasian Soil Science.* – 1998. – Vol. 31. – P. 1107–1113.
14. Yu Z., Dahlgren R.A. Evaluation of methods for measuring polyphenolics in conifer foliage // *J. Chem. Ecol.* – 2000. – Vol. 26. – P. 2119–2140.

PHENOL COMPOUNDS IN LICHEN AND THEIR ROLE IN SOIL FORMATION

N. V. Zagoskina, T. N. Nikolaeva, P. V. Lapshin, A. G. Zavarzina

Lichens are among the pioneers on the mineral substrates and contribute significantly to the primary processes of soil formation. Little is known on the potential role of lichens in humification processes. We have determined the total content of water-soluble phenolic compounds (PCs) - potential precursors of humic substances – in different parts of lichens belonging to the orders Peltigerales (genera *Peltigera*, *Solorina*, *Nephroma*, *Lobaria*) and Lecanorales (genera *Cladonia*, *Cetraria*, *Flavocetraria*, *Alectoria*). A higher capacity for the formation of soluble PCs is characteristic of representatives of the order Peltigerales.

Keywords: lichens, phenolic compounds, content, composition

НАКОПЛЕНИЕ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАСТЕНИЯХ *ACHILLEA MILLEFOLIUM* L. В ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ЭКОТОПАХ

Ю. В. Загурская¹, Т. И. Сиромля²

¹ Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН
(Институт экологии человека), г. Кемерово, Россия,
e-mail: syjil@mail.ru

² Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия,
e-mail: tatiana@issa.nsc.ru

Изучено содержание химических элементов в корнях, листьях, потемневших (отмерших) листьях и стеблях с соцветиями *Achillea millefolium* в условиях Кедровского угольного разреза (г. Кемерово). Показано, что анализ надземной части травянистых растений в целом не дает представления о миграции химических элементов в растениях. Для выявления особенностей их накопления и распределения необходимо учитывать тканевую структуру и функциональные особенности отдельных органов. Установлены статистически значимые различия в элементном химическом составе стеблей, листьев и корней тысячелистника. Проведена эколого-гигиеническая оценка соответствия образцов требованиям, предъявляемым к ЛРС.

Ключевые слова: *Achillea*, *A. millefolium*, тысячелистник обыкновенный, элементный химический состав, растительные ресурсы, эколого-гигиеническая оценка.

Введение

Таксоноспецифичность поглощения, накопления и миграции химических элементов (ХЭ) растениями показана неоднократно [5, 11, 1]. Особое значение уделяется метаболизму ХЭ при изучении лекарственного растительного сырья (ЛРС), произрастающего в условиях техногенной нагрузки [15, 3].

Тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.) сем. Asteraceae – многолетнее травянистое растение с евроазиатским ареалом, крайне неприхотливое к условиям обитания [6, 7]. Травя тысячелистника – официальное растительное сырье [2], которое во многих странах применяется для лечения заболеваний пищеварительной, сердечно-сосудистой, нервной и репродуктивной систем [12]. При определении качества травы тысячелистника нормируется присутствие в сырье посторонних примесей: стебли толще 3 мм (не более 3%) и потемневшее сырье (не более 1%) [2]. Влияние данных примесей на содержание ХЭ не изучено.

В Кемеровской области *A. millefolium* широко распространен на зарастающих отвалах отработанных угольных карьеров и заслуживает внимания как перспективный источник ЛРС. Ранее было показано отсутствие отрицательного воздействия техногенных факторов – близости автомагистралей и промышленных предприятий – на содержание тяжелых металлов в растениях тысячелистника [14]. Однако морфологические, физические и физико-химические свойства эмбриоземов на отвалах резко отличаются как от фоновых, так и антропогенно преобразованных зональных и интразональных почв [13], что может привести к изменениям и в элементном химическом составе произрастающей на них растительности.

Цель работы: выявить особенности накопления ХЭ в различных органах и частях растений *Achillea millefolium* на зарастающих отвалах угольных карьеров.

Методы

Изучали растения *A. millefolium* с двух зарастающих отвалов возрастом 25-30 лет Кедровского угольного разреза, рекультивированных различными способами. Фон – ненарушенная территория вблизи отвалов. На всех объектах были выбраны 3 участка, на каждом отобрано 5 индивидуальных проб, в которых для дальнейших исследований были выделены корни, листья, потемневшие (отмершие) листья и стебли с соцветиями (основной компонент лекарственного сырья). Образцы собраны в соответствии с требованиями [2] в фазу цветения в конце июля-начале августа 2015 г., каждая проба проанализирована в 3 аналитических повторностях. Данные приведены в пересчете на абсолютно сухое вещество.

Элементный химический состав растений исследовали после сухого озоления методом атомно-эмиссионного спектрометрического анализа. Концентрацию As и Hg определяли по ГОСТ Р 51766-2001 и ГОСТ Р 53183-2008 (их содержание в пробах оказалось ниже предела обнаружения). В качестве стандартов использовали образцы листа березы (ЛБ-1) и элодеи канадской (ЭК-1). Полученные результаты определения ХЭ в стандартах укладывались в их аттестованные значения. При статистической обработке (STATISTICA 6.1) был проведен ANOVA и анализ по методу Краскела-Уоллиса ($p < 0,05$).

Результаты

Проведенные исследования показали, что для различных органов *A. millefolium* в целом характерны специфические особенности элементного химического состава. При этом содержание ХЭ в отмерших и живых листьях оказалось весьма близким – за исключением биофильных макроэлементов К и Р, количество которых в потемневших листьях резко снижается. Статистически значимых отличий в концентрации ХЭ в об-

разцах из нарушенных и фонового местообитаний выявлено не было, поэтому на рисунке представлены обобщенные данные.

Содержание большинства изученных ХЭ существенно ниже в основных компонентах сырьевой части *A. millefolium* – стеблях с соцветиями, за исключением Р, количество которого соответствует обнаруженному в листьях, и Cd – диапазон его концентраций примерно совпадает во всех исследованных органах.

Сопоставление элементного химического состава корней и листьев дает весьма неоднозначную и несколько неожиданную картину. Обычно в надземной части растений содержатся более высокие концентрации макроэлементов и биофилов – так, например, в работе [14] показано, что надземная часть *A. millefolium* богаче В, Са, К, Mg, Мо, Р и Zn. В исследованных нами образцах к этому ряду добавляются Ва, Sr и Si, при этом корни и листья содержат примерно одинаковое количество Al, Be, Cr, Cu, La, Ni, Pb, V и Zr. По-видимому, разделение надземной части растений на отдельные органы, отличающиеся анатомо-морфологическими особенностями и физиологической ролью, позволяет более четко выявить особенности их элементного химического состава. Так, например, если в вышеуказанной работе [14] зольность надземной части *A. millefolium* составляет около 9 %, то в наших исследованиях зольность стеблей с соцветиями – около 5 %, а листьев – около 14,4 %. Высокое содержание ряда исследованных ХЭ в листьях *A. millefolium* может быть связано и с относительно высокой запыленностью – их зольность находится у самого верхнего предела допустимых значений (не более 15 % [2]). Влияние мелкодисперсных почвенных частиц, находящих на поверхности растений, мы уже отмечали ранее для других видов растений [4].

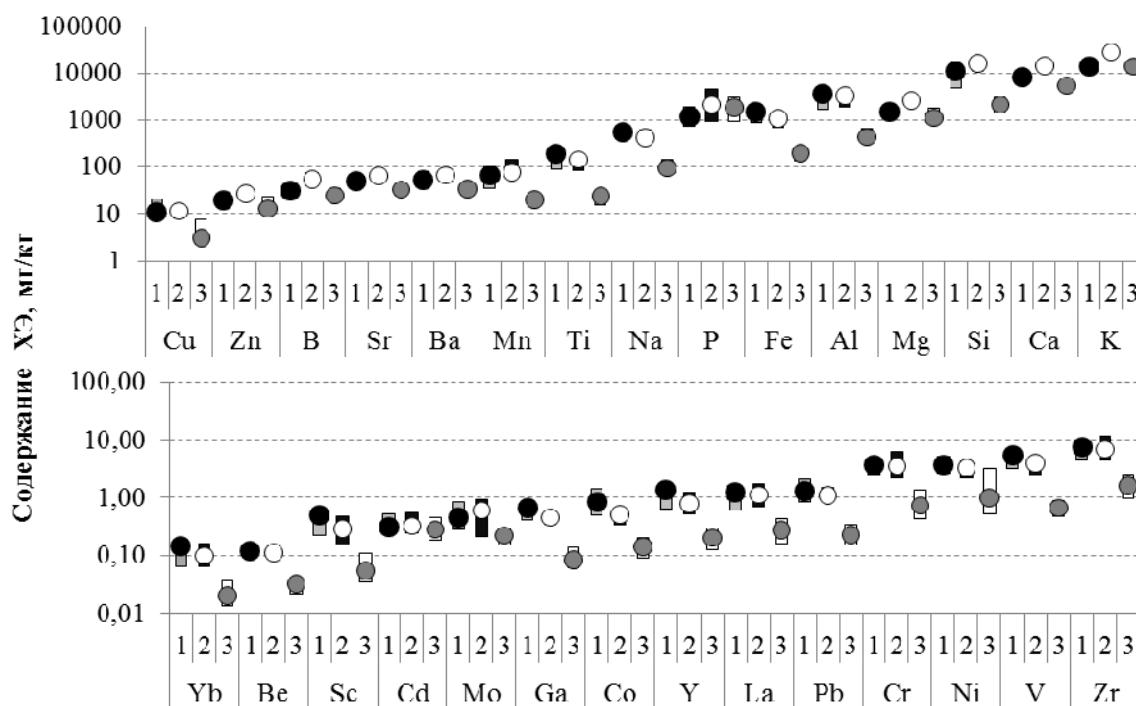


Рис. Диапазон концентраций ХЭ в различных органах *A. millefolium* Кедровского угольного разреза (Med, min-max): 1 – корни, 2 – листья, 3 – стебли с соцветиями

Дополнительно можно отметить, что в более ранней работе, посвященной элементному химическому составу надземной и подземной части *A. millefolium* Кемеровской области [8], для большинства исследованных ХЭ приводятся более высокие средние концентрации, диапазоны шире, а максимальные значения намного выше; при этом содержания ХЭ, определенные в [10], находятся на нижней границе и даже намного

ниже приведенных на рисунке диапазонов (возможные причины подобного уже обсуждались нами ранее [9]).

Экологическая оценка всех исследованных образцов показала отсутствие превышений допустимых значений ХЭ для растительного лекарственного сырья по ГФ [2] и БАД на растительной основе по СанПиН 2.3.2.1078-01.

Заключение

Таким образом, в условиях зарастающих отвалов отработанных угольных карьеров содержание ХЭ как в надземных, так и в подземных органах *Achillea millefolium* практически не отличается от произрастающих на фоновой территории. В стеблях с соцветиями, составляющих наибольшую долю сырьевой массы травы тысячелистника, отмечено наиболее низкое содержание большинства изученных ХЭ за исключением Р и Cd. Наличие в ЛС примеси потемневших листьев в допустимых пределах на содержание ХЭ в сырье не влияет. Все изученные образцы соответствуют требованиям, предъявляемым к ЛРС и БАД на растительной основе по содержанию нормируемых ХЭ.

Литература

1. Баяндина И. И., Загурская Ю. В. Взаимосвязь вторичного метаболизма и химических элементов в лекарственных растениях // Сиб. мед. журнал (Иркутск). – 2014. – № 8. – С. 107–111.
2. Государственная фармакопея РФ. – XIV изд. – Т. IV. – М., 2018.
3. Гравель И. В., Шойхет Я. Н., Яковлев Г. П., Самылина И. А. Фармакогнозия. Экоотоксиканты в лекарственном растительном сырье и фитопрепаратах. – М., 2013.
4. Загурская Ю. В., Сиромля Т. И. Оценка элементного химического состава растений *Leonurus quinquelobatus* (на примере Западной Сибири) // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. «Естеств. науки». – 2018. – № 3. – С. 419–435.
5. Ильин В. Б. Элементный химический состав растений. – Новосибирск, 1985.
6. Немерешена О. Н., Гусев Н. Ф., Филиппова А. В. Анатомо-морфологические изменения тысячелистника обыкновенного в техногенной зоне // Изв. ОренГАУ. – 2014. – № 4. – С. 158–161.
7. Пименова М. Е., Коновалов Д. А., Нестерова Т. А. Изучение ресурсно-фитохимических ценопопуляций тысячелистника обыкновенного (*Achillea millefolium* L.) // Вестник ВГУ. Сер. «Химия. Биология. Фармация». – 2003. – № 2. – С. 225–227.
8. Попов А. И. Влияние почвы на элементный состав *Achillea millefolium* L. // Растит. ресурсы. – 1994. – Т. 30. – Вып. 1–2. – С. 108–120.
9. Сиромля Т. И., Мяделец М. А. Содержание химических элементов в тысячелистнике обыкновенном (*Achillea millefolium* L.) // Соврем. пробл. науки и обр. – 2015. – № 6. – С. 573.
10. Танцерева И. Г. Эколого-фармакогнозическое исследование некоторых лекарственных растений Кемеровской области: Автореф. дис. ... канд. фарм. наук. – Томск, 2004.
11. Bargagli R. Trace elements in terrestrial plants: an ecophysiological approach to biomonitoring and biorecovery. – Berlin, 1998.
12. Moloudizargari M. Aghajanshakeri Sh., Javaherypour S., Escort M., Velzi Sa., Velzi Si. A Current update on the phytopharmacological aspects of *Achillea millefolium* // J. Farm. and Biomed. Sci., 2014. – 04 (04). – P. 310–317.
13. Sokolov D. A., Androkhonov V. A., Kulizhskii S. P., Loiko S. V., Domozhakova E. A. Morphogenetic diagnostics of Soil Formation on tailing dumps of Coal quarries in Siberia // Eurasian Soil Science. – 2015. – Т. 48. – № 1. – С. 95–105.
14. Syso A. I., Syromlya T. I., Myadelets M. A., Cherevko A. S. Ecological and biogeochemical assessment of elemental and biochemical composition of the vegetation of anthropogenically disturbed ecosystems (based on the example of *Achillea millefolium* L.) // Contemp. Probl. of Ecol. – 2016. – Vol. 9. – № 5. – P. 643–651. DOI: 10.15372/SEJ20160515.
15. Zheljazkov V.D., Jeliaskova E.A., Kovacheva N., Dzhurmanski A. Metal uptake by medicinal plant species grown in soils contaminated by a smelter // Envir. and Experim. Botany. – 2008. – Vol. 64. – № 3. – P. 207–216. DOI: 10.1016/j.envexpbot.2008.07.003.

CHEMICAL ELEMENTS ACCUMULATION AND DISTRIBUTION IN *ACHILLEA MILLEFOLIUM* L. PLANTS AT INDUSTRIALLY TRANSFORMED ECOTOPES

Yu. V. Zagurskaya, T. I. Siromlya

There has been studied chemical elements content in *Achillea millefolium* roots, leaves, darkened (dead) leaves and stems with blossom clusters at “Kedrovskiy” coal pit (Kemerovo city). There is shown that analysis of above-ground part of herbaceous plants does not give an idea about chemical elements migration in plant. Tissue structure and functional characteristics of certain organs should be considered to reveal peculiarities of chemical elements accumulation and distribution. There are established statistically significant differences in chemical elements content in *Achillea millefolium* stems, leaves and roots. There has been carried out ecological-hygienic estimation of the samples to satisfy the requirements for medical vegetative raw material.

Keywords: *Achillea*, *A. millefolium*, common yarrow, chemical elements composition, vegetative resources, ecological-hygienic estimation.

БИОГЕОХИМИЧЕСКАЯ АНОМАЛИЯ ОЛОВА В ЮЖНОЙ ЧАСТИ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА РОССИИ

П. В. Ивашов

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,
г. Хабаровск, Россия,
e-mail: iver@iver.as.khb.ru

Впервые обосновано выделение в бассейне р. Амур на территории Приамурья и Приморья Дальнего Востока России биогеохимической аномалии олова, образование которой обусловлено размещением в Дальневосточном регионе месторождений и рудопроявлений олова и оловосодержащих горных пород в составе Тихоокеанского рудного пояса. Доказательством существования природной биогеохимической аномалии являются повышенные концентрации олова в растениях и почвах, установленные в ландшафтах с оловорудной минерализацией.

Ключевые слова: биогеохимическая провинция олова, растения, почвы, юг Дальнего Востока России.

Введение

Объективным природным условием формирования на юге Дальнего Востока России биогеохимической аномалии олова (т.е. в Приамурье, в бассейне р. Амур, на территории Хабаровского и Приморского краёв, Амурской и Еврейской автономной областей) стало размещение здесь геологической макроструктуры – Тихоокеанского рудного пояса с оловорудной минерализацией в виде месторождений и рудопроявлений олова различного генетического типа и оловосодержащих пород.

В связи с разработкой научных основ и практических приёмов биогеохимического метода поисков оловорудных месторождений автором настоящего сообщения были проведены многолетние биогеохимические исследования на оловорудных месторождениях, рудопроявлениях и на массивах оловосодержащих пород [2]. Необходимость постановки таких исследований была обусловлена тем, что на Дальнем Востоке России

находятся практически все наиболее крупные разрабатываемые в нашей стране месторождения олова. Поэтому для установления биогеохимических особенностей олова в растениях необходимо было определить содержание этого металла в растительных биообъектах в разных ландшафтных природных зонах – хвойных, хвойно – широколиственных и широколиственных лесов Дальневосточного региона.

Оловорудная минерализация на полигонах опытно-методических биогеохимических работ была представлена месторождениями и рудопроявлениями олова различных генетических типов, среди которых были: 1) кварц – касситеритовый, 2) сульфидно – касситеритовый, 3) сульфидно – станнино – касситеритовый, 4) олово – полиметаллический, 5) касситерит – скарновый, 6) касситерит – пегматитовый, 7) касситерит – турмалиновый, 8) касситерит – вольфрамит – турмалиновый, 9) касситерит – грейзеновый, 10) касситеритовая россыпь. Массивы оловосодержащих пород, на которых были проведены биогеохимические исследования, – это базальты с акцессорным самородным оловом мантийного происхождения [3] и граниты с акцессорными тонкодисперсными минералами олова (преимущественно касситеритом) и изоморфными примесями этого металла в порообразующих минералах – кварце, полевых шпатах и в слюдах (биотит и мусковит). При этом ключевые участки биогеохимических исследований были подобраны таким образом, чтобы один и тот же генетический тип оловорудной минерализации находился в разных ландшафтных зонах. Поэтому представилась возможность достаточно полно охарактеризовать биогеохимические черты олова в растениях как применительно к металлогеническим особенностям, так и к ландшафтным зонам Дальневосточного региона. По существу биогеохимические исследования проводились в пределах природной биогеохимической аномалии олова, пространственные границы которой совпадают с границами распространения оловорудных минерализированных территорий Тихоокеанского рудного пояса. В результате выполненных работ был собран большой фактический материал, который и послужил доказательством наличия на юге Дальнего Востока России биогеохимической аномалии олова.

Методы

В основу биогеохимических исследований на полигонах была положена общепринятая методика, разработанная Д. П. Малюгой [5]. Отбор проб растений проводился по сетке профилей от 10 x 20 м до 20 x 40 м в зависимости от мощности рудных жил и залежей. На каждом пункте опробования (условный квадрат 5 x 5 м) в отдельные пробы отбирались по возможности органы и части всех растений. Деревья: листья (хвоя), ветви, древесина, кора; кустарники: листья, ветви, ствол, корни; травы и мхи – надземная часть. Пробы высушивались до воздушно – сухого состояния, затем озолялись до белой золы в лабораторных условиях в муфельной печи при температуре 450⁰ С. Содержание олова в золе проб проводилось атомно – абсорбционным и эмиссионным спектральным анализами с чувствительностью на олово 0,0001% масс. % с ошибкой 5,0 %.

Ниже приводится название полигонов (участков) биогеохимического опробования с соответствующим типом оловорудной минерализации и указанием (в скобках) числа отобранных проб растений. Тихий – сульфидно – касситеритовый (310), Арсеньевка – сульфидно–станнино–касситеритовый (30), Нижний – касситерит – хлоритовый (208), Шивки – сульфидно–касситеритовый (128), Сакай – Баку – сульфидно–касситеритовый (84), Соболиный – сульфидно–касситеритовый (46), Оемку – золото–касситерит – сульфидный (220), Карадуб – кварц–касситеритовый (1237), Лучистый – касситерит–турмалиновый (221), Баджал – касситерит–вольфрамит–турмалиновый (319), Тади – касситеритовая россыпь (157), Северный – золото-касситеритовая россыпь (200), Улский – касситерит –золотоносная россыпь (61), Холан – касситерит–золотоносная россыпь (1085), Васильевка – касситерит–сульфидный (745), Первомайский – касситерит–

скарновый (327), Кабарга – сульфидно–касситерит –полиметаллический (409), Дмитриевка – сульфидно–полиметаллический (370), Усть–Кабарга – касситерит–пегматитовый (270), Самарка – касситерит–грейзеновый (646), Ильгинский – кварц–касситеритовый (330), оловосодержащие базальты – акцессорное самородное олово мантийного происхождения (1077), оловосодержащие граниты – акцессорный касситерит и изоморфное олово в порообразующих минералах (453). Таким образом, всего было отобрано и подготовлено к анализам 10 276 проб растений и свыше 1 000 проб почв, т. е. достаточно представительная база данных для характеристики природной биогеохимической провинции олова на юге Дальнего Востока России.

Результаты

Полученные аналитические результаты показали, что повышенные содержания олова в золе растений характерны для участков с оловорудной минерализацией, а на уровне местных фоновых концентраций (0,001 мас. %) – за пределами рудных залежей, но на флангах оруденения, причём в одних и тех же видах растений. На контрольных участках при полном отсутствии оруденения, т.е. вне оловорудных районов, концентрация олова в золе растений находится на уровне среднего мирового содержания этого металла в растениях – 0,0005 мас. % по А.П. Виноградову [1]. При этом на контрольных участках в большинстве проб растений олово не обнаружено, т. е. его количество ниже предела чувствительности анализа.

В целом отмечено большое видовое разнообразие растений, в которых обнаружено олово. В общей сложности, в Дальневосточном регионе, в пределах биогеохимической провинции олова этот металл установлен в органах и частях 131 вида растений, относящихся в 97 родам и 45 семействам. Из числа указанных видов 24 относятся к деревьям, 27 – к кустарникам, 70 – к травам, 10 – к мхам, лишайникам и плаунам. Семейства, в которых наиболее полно представлены виды растений, содержащих олово, следующие: ивовые (Salicaceae), сосновые (Pinaceae), берёзовые (Betulaceae) – по 6 видов; осоковые (Cyperaceae) и лилейные (Liliaceae) – по 7 видов; бобовые (Fabaceae) – 8; сложноцветные (Astraceae) – 9; розоцветные (Rosaceae) – 12.

Повышенным содержанием олова в золе растений характеризуются следующие семейства (мас. %, до): сосновые 0,03–0,1; ивовые 0,005–0,03; камнеломковые (Saxifragaceae) 0,004–0,01 (чубушник тонколистый – *Phyladelphus tenuifolius* Rupr.); вересковые (Ericaceae) 0,002–0,5 (брусника – *Vaccinium vitis-idaea* L.); ослинниковые (Onagraceae) 0,02 (кипрей узколистый – *Chamaenerion angustifolium* L.); валериановые (Valerianaceae) 0,01 (валериана заенсейская – *Valeriana transjensis* Kr.); многоножковые (Polypodiaceae) 0,1 (орляк обыкновенный – *Pteridium aquilinum* Kuhn.); барбарисовые (Berberidaceae) 0,05 (джефферсония – *Jeffersonia dubia* Max.); плауновые (Lycopodia) 0,02. Наиболее высокие содержания олова в растениях установлены в таких семействах, как (масс. %): розоцветные 0,01–0,06 (рябинолистник рябинолистный – *Sorbaria sorbifolia* A.Br., *Spiraea media* Schmidt., малина сахалинская – *Rubus sachalinensis* Levl., кровохлёбка аптечная – *Sanguisorba officinalis* L.); сложноцветные 0,03–0,1 (полынь – *Artemisia stolonifera* Max.); моховые (Bryophyta) 0,03–0,1 (политрихум обыкновенный – *Polytrichum commune* Hedw.); осоковые 0,3 (осока маньчжурская – *Carex mandshurica* Meinsch.)

Содержание олова в растениях на оловосодержащих базальтах достигает 0,0047 мас. %, а на оловосодержащих гранитах 0,0001–0,0005 мас. %. Повышенное содержание олова в растениях на базальтах обусловлено самородной формой его нахождения, которая более доступна растениям, чем олова из гранитов, т. е. из акцессорного касситерита и из изоморфной примеси этого металла в порообразующих минералах [2].

Надо отметить то, что независимо от видовой принадлежности по степени поглощения олова в сторону увеличения растения составляют ряд: кустарники-деревья-травы-мхи. Эта закономерность имеет место на всей территории юга Дальнего Востока России, т. е. в пределах биогеохимической аномалии олова.

Было рассчитано среднее содержание олова в золе растений, которое оказалось равным $0,005 \pm 0,0001$ мас. %. Эта величина на порядок больше мирового среднего содержания олова в растениях по А. П. Виноградову [1] и отражает биогеохимическую специализацию лесных фитоценозов в ландшафтах, сформированных на оловорудных полях (зонах минерализаций) и на оловосодержащих породах в пределах Дальневосточной биогеохимической аномалии олова [4].

Доказательством объективного существования природной биогеохимической аномалии на юге Дальнего Востока России являются почвы, содержащие этот металл. Оловорудная минерализация и оловосодержащие породы находятся в горных районах региона, поэтому по современной номенклатуре основным типом почв в структуре почвенного покрова являются бурные горнолесные почвы и их разновидности (буроземы). В этих почвах валовое содержание олова обнаруживает четко выпавшую тенденцию максимального накопления в горизонте ВС почвенных разрезов, с минимальным количеством в горизонте А1 и с промежуточным значением в горизонте В, т. е. имеет место постепенное увеличение концентрации металла от верхних горизонтов к нижним. Эта закономерность сохраняется во всех основных ландшафтах региона в пределах биогеохимической провинции олова. В гранулометрическом спектре мелкозема почв каждого генетического горизонта характерно постепенное уменьшение содержания металла от крупных фракций мелкозема (1,0-0,25 мм и 0,25-0,05 мм) к мелким (0,01-0,005 мм и 0,005-0,001 мм). Эта закономерность обусловлена зернистостью касситерита и других оловосодержащих минералов в рудах и породах, т.е. формами нахождения этого металла в почвах. В целом валовое содержание олова в почвах колеблется в широком интервале – от $0,0001$ мас. % (чувствительность анализа) до $0,6$ мас. %.

Установлены формы нахождения олова в почвах биогеохимической аномалии в виде трех групп: 1) минеральные, тесно связанные с минералами этого металла; 2) безминеральные, непосредственно не связанные с минералами олова; 3) самородная форма.

Заключение

Проведенная биогеохимическая индикация оловорудной минерализации с целью разработки научных основ и практических приемов биогеохимических поисков месторождений олова по растениям и почвам позволила впервые обосновать и выделить природную биогеохимическую аномалию олова на юге Дальнего Востока России, обусловленную размещением в этом регионе минерализованных площадей в составе Тихоокеанского рудного пояса. На большом фактическом материале установлено, что биогеохимическая аномалия олова занимает значительные территории Приморья и Приамурья, в пределах Хабаровского и Приморского краев, Амурской и Еврейской автономной областей.

Литература

1. Виноградов А. П. Поиски рудных месторождений по растениям и почвам // Труды Биогеохим. лаборатории. АН СССР. 1954. Вып. 10. С. 3–27.
2. Ивашов П. В. Биогеохимическая индикация оловянной минерализации. М.: Наука, 1987.
3. Ивашов П. В. Ландшафтно-геохимические исследования на базальтовых массивах. Владивосток: Дальнаука, 2003.

4. Ивашов П. В. Среднее содержание олова в растениях юга Дальнего Востока России // Геохимия. – 2011. – № 10. – С. 1111–1114.

5. Малюга Д. П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений: (Принципы и практика поисков). – М.: Изд-во АН СССР, 1963.

BIOGEOCHEMICAL ANOMALY OF TIN IN THE SOUTHERN PART OF THE FAR EAST RUSSIA

P. V. Ivashov

The allocation of biogeochemical tin anomaly in the basin of the Amur River in the Amur and Primorye territories of the south of the Far East of Russia was proved for the first time. Its formation is due to the location in the Far East region of deposits and ore occurrences of tin and tin-containing rocks in the Pacific ore belt. Levels of tin in plants and soils. Established in landscapes with tin mineralization are proof of the existence of natural biogeochemical tin anomaly.

Keywords: Biogeochemical anomaly of tin, plants, soils, the south of the Far East of Russia.

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПИТЬЕВЫХ ВОД В РАЙОНАХ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЭНДЕМИЧЕСКИХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ В СВЯЗИ С ГЕОХИМИЧЕСКИМИ ОСОБЕННОСТЯМИ ОБЛАСТЕЙ ИХ ФОРМИРОВАНИЯ

Л. И. Колмыкова, Е. М. Коробова, И. Н. Громяк

Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН,

г. Москва, Россия

e-mail: kmila9999@gmail.com

В статье представлены результаты анализа химического состава подземных вод, сформированных в областях распространения различных гидрогеологических горизонтов, используемых для обеспечения питьевого водоснабжения Брянской области. Показано, что помимо низкого содержания йода (в среднем менее 10 мкг/л), дополнительным фактором риска возникновения эндемических заболеваний ЩЖ (щитовидной железы) среди местного населения могут быть повышенные содержания марганца, железа, стронция и кремния, имеющие приуроченность к определенным водоносным горизонтам.

Ключевые слова: йод, селен, эндемические заболевания, водная миграция химических элементов, Брянская область.

Введение

Брянская область относится к территориям со значительной распространенностью патологий ЩЖ. Согласно имеющимся медицинским данным [9] в области выявлена легкая степень дефицита йода (медиана экскреции йода 76 мкг/л), в нескольких районах (Жирятинский, Рогнединский, Севский) степень дефицита микроэлемента определена как средняя (медиана экскреции йода менее 46 мкг/л), распространенность энде-

мического зоба при этом составляет 12-30% [12]. Кроме того, данный регион в наибольшей степени пострадал от аварии на Чернобыльской АЭС (1986 г.), в результате которой в окружающую среду поступило большое количество короткоживущих радиоизотопов йода, активно накапливающихся в ЩЖ, особенно при ее низкой обеспеченности стабильным йодом. В ходе многочисленных исследований установлено, что распространенность заболеваний ЩЖ среди населения территорий, загрязненных радиоизотопами йода, существенно возросла по сравнению с доаварийным периодом [1, 13]. Зафиксированный рост числа заболеваний ЩЖ явился следствием сочетанного воздействия как природных (дефицит I и Se), так и антропогенных факторов (загрязнение радиоактивным йодом).

Существенную роль в усугублении природного дефицита может играть химический состав питьевых вод, а именно неоптимальное содержание в них основных макроионов, обеспечивающих физиологическую полноценность воды, а также присутствие биологически конкурирующих ионов (Cl, F) или ионов, способствующих осаждению I из водного раствора (Fe).

Целью работы являлся анализ химического состава питьевых вод Брянской области, отобранных из источников, расположенных в областях распространения разных водовмещающих пород.

Методы исследований

Химический состав питьевых вод изучался в сельских населенных пунктах (НП) и городах, расположенных в различных гидрогеологических районах, в течение четырех полевых сезонов (2013-2016 гг.). При выборе расположения точек отбора учитывались: загрязнение НП техногенными радионуклидами (Cs-137, I-131, Sr-90) и медицинские данные по заболеваемости местного населения эндемическими и онкологическими заболеваниями ЩЖ, представленные Брянским клинико-диагностическим центром в рамках работы по гранту РФФИ.

Химический состав водных проб проанализирован на содержание катионогенных элементов (Ca, Mg, Sr, K, Na, Mn, Zn, Fe, Si, Ba) методом ИСП-АЭС, а также основных анионов (HCO_3^- , F^- , Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , PO_4^{3-}) потенциометрическим методом с использованием твердофазных ионоселективных электродов.

Содержание I в природных водах определялось с помощью ускоренного варианта высокочувствительного кинетического роданидно-нитридного метода [8].

Статистическая обработка полученных данных выполнялась с помощью стандартных функций программ MS Excel 2010 и STATISTICA 10.0.

Результаты

Йод. Анализ химического состава отобранных водных проб подтвердил обнаруженный ранее [5, 7] значительный разброс концентраций I (диапазон значений от 0.07 до 41.2 мкг/л, $n=195$). Наиболее контрастными по содержанию I оказались подземные воды верхнедевонских водоносных горизонтов (медиана 8.15 мкг/л, при варьировании от 2.94 до 28.7 мкг/л, $n=13$), реализуемые в качестве централизованного питьевого водоснабжения северной и северо-восточных частей региона, и палеогеновых горизонтов (медиана 4.73, при варьировании от 2.49 до 8.65, $n=13$), используемые для обеспечения нецентрализованного водоснабжения, главным образом, на юго-западе области. Подобное распределение обусловлено генезисом и особенностями химического состава этих вод [8].

Обращает на себя внимание значительный диапазон варьирования концентраций I в питьевых водах, относящихся к одновозрастным водоносным горизонтам. Наибольшее варьирование (более 10-ти кратного) отмечено в подземных водах четвертичных отложений Злынковского района, вскрываемых частными колонками и колодцами,

среднее содержание микроэлемента в которых варьировало в интервале от 1.7 до 21.7 мкг/л. Двух-трехкратное варьирование выявлено в Жуковке (Жуковский район, верхнедевонский комплекс), Петровой Буде (Гордеевский район, верхнемеловой комплекс), Воробейне (Жирятинский район, четвертичный комплекс), Вышков (Злынковский район, четвертичный комплекс).

Колебания концентраций I в неглубоких подземных водах могут быть связаны с различием в поступлении органического вещества с поверхностями водосбора, содержание которых в почвенном покрове относится к основным факторам, контролирующим уровень йода [3, 4].

Кальций и магний. Содержание щелочноземельных металлов в исследованных водах находилось в пределах норм физиологической полноценности воды (25-130 мг/л) [11], за исключением нескольких проб подземных вод четвертичных (пять) и меловых отложений (три), в которых концентрации металлов превышали установленные значения до 2-х раз. Для этих проб также установлены более высокие показатели общей минерализации.

Марганец. Содержание общего Mn в питьевых водах централизованного и децентрализованного водоснабжения превышало гигиенический норматив (0.1 мг/л) в 23% из общего числа обследованных НП. Повышенные концентрации общего Mn приурочены к областям распространения верхнемеловых, палеогеновых и четвертичных отложений. Максимальное содержание Mn (7 ПДК) обнаружено в водопроводных водах НП Мехово Жирятинского района в зоне распространения меловых отложений.

Железо. В 52% обследованных НП установлено превышение гигиенического норматива по содержанию в питьевых водах общего Fe (0.3 мг/л). Максимальной концентрацией Fe характеризуются отдельные пробы подземных вод, отобранные в Клетнянском (НП Клетня, 26 ПДК) и Жирятинском (НП Воробейня, 25 ПДК) районах, которые расположены в области распространения меловых отложений. Причины такого высокого содержания Fe нуждаются в более детальном исследовании.

Кремний. Анализ химического состава питьевых вод из различных источников показал превышение уровня гигиенического норматива (10 мг/л) (СанПин) в 56% из общего числа обследованных НП по содержанию Si. В большинстве случаев эти превышения не достигали 2 ПДК. Районы, питьевые воды которых оказались в наибольшей степени обогащены Si, расположены, преимущественно, в юго-западной (Злынковский район, Новозыбковский район, Климовский район) и центральной (Жуковский район, Клетнянский район, Жирятинский район) частях области, что не противоречит литературным данным о распространении природных геохимических аномалий Si в водах на территории изучаемого региона. По нашим данным наибольшей обогащенностью Si характеризуются подземные воды в зоне распространения палеогеновых водоносных горизонтов. Максимальная концентрация Si зафиксирована в подземных водах четвертичных отложений на территории Клетнянского района (НП Клетня, 2 ПДК).

Стронций. Среднее содержание Sr в питьевых водах не превышало гигиенический норматив (7 мг/л) [10] за исключением 2-х проб, в которых концентрация элемента была несколько выше. Превышения норматива обнаружены в артезианских водах, приуроченных к северной (Дятьковский район, 1.2 ПДК) и северо-восточной частям (Рогнединский район, 1.8 ПДК), что отвечает литературным данным, согласно которым природная провинция стронциевосодержащих вод, используемых для хозяйственно-питьевого водоснабжения, охватывает территорию Брянской области в зоне распространения Московского артезианского бассейна (север, северо-восток и восток района исследований) [2].

При анализе химического состава также было рассмотрено содержание основных анионов питьевых вод (*нитрат-ион, сульфат-ион, хлорид-ион*). Установлено, что кон-

центрации этих ионов, в целом, находятся в границах установленных нормативов, а превышение уровней содержания NO_3^- (до 5 ПДК) обусловлено, скорее, не генезисом водоносных горизонтов, а поступлением их в составе азотных удобрений и отходов животноводческих комплексов.

Заключение

Анализ химического состава питьевых вод Брянской области показал, что в большинстве случаев уровни содержания I в питьевых водах не достигают физиологически оптимальных значений (10 мкг/л). Вместе с тем, обнаружены районы, в которых, несмотря на общую низкую обеспеченность I питьевых вод, грунтовые воды, вскрываемые колонками или шахтными колодцами, могут рассматриваться как постоянный источник оптимального уровня I (от 10.1 до 22.7 мкг/л, Новозыбковский, Жирятинский и Клетнянский районы).

Оценка качества питьевых вод показала превышение принятых нормативов [11] по содержанию ряда химических элементов. Так, в 52% НП обнаружено превышение гигиенического норматива по содержанию общего Fe, особенно в области распространения меловых отложений. Для подземных вод верхнедевонских отложений в северной и северо-восточной частях области установлено природно-обусловленное повышенное содержание стабильного Sr (до 1.8 ПДК). Подземные воды палеогеновых отложений отличаются более высокими концентрациями Si и Mn (до 2 и 7 ПДК соответственно). В западной, юго-западной и центральной частях Брянской области в ряде проб было превышено нормативное содержание NO_3^- (до 6 ПДК). Таким образом, факторами риска распространения естественно-природных эндемических заболеваний среди местного населения, помимо низкой обеспеченности питьевых вод I, могут быть и локально повышенные концентрации Mn, Fe и Si, обусловленные типом водовмещающих пород.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант № 13-05-00823)

Литература

1. Василенко И. Я. Канцерогенное действие радиоактивных изотопов йода // Вопросы онкологии. – 1988. – № 6. – С. 643–645.
2. Ершов А. В., Силин И. И., Кривова Ю. С., Губарева Т. И. Аномалии природного стронция в питьевых водах Калужской области. Вестник новых медицинских технологий XIII (4). – 2006. – С. 161–165.
3. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1987. – С. 439.
4. Кашин В. К. Биогеохимия, физиология и агрохимия йода. – Л.: Наука, 1987. – С. 261.
5. Колмыкова Л. И., Коробова Е. М., Корсакова Н. В., Берёзкин В. Ю., Данилова В. Н., Хушвахтова С. Д., Седых Э. М. Оценка содержания йода и селена в водах питьевого назначения Брянской области в зависимости от водовмещающих пород и условий миграции // Актуальные проблемы экологии и природопользования (16). – М.: РУДН, 2014. – С. 140–143.
6. Колмыкова Л. И., Коробова Е. М., Рыженко Б. Н. Содержание и особенности распределения йода в природных водах Брянской области // Вестник Тюменского государственного университета. Сер. «Экология и природопользование». – 2016. – № 2 (1). – С. 8–19.
7. Коробова Е. М., Рыженко Б. Н., Черкасова Е. В., Седых Э. М., Корсакова Н. В., Данилова В. Н., Хушвахтова С. Д., Березкин В. Ю. К вопросу о формах нахождения йода и селена в природных водах и их концентрирование на ландшафтно-геохимических барьерах // Геохимия. – 2014. – № 6. – С. 554–568.
8. Проскурякова Г. Ф., Швейкина Р. В., Никитина О. В. Способ определения йода в почве, воде, растениях, молоке и крови. Тез. докл. 2-го Всес. симпоз. «По методам определения микроэлементов в природных объектах». – Самарканд, 1973. – С. 43–44.

9. Прошин А. Д., Дорощенко В. Н. Дефицит йода среди населения Брянской области. – Брянск: ООО «Ладомир», 2005. – С. 164.
10. СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем водоснабжения питьевого водоснабжения. Контроль качества.
11. СанПиН 2.1.4.1116-02. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды, расфасованной в емкости. Контроль качества.
12. Свириденко Н. Ю. Йод-дефицитные заболевания: эпидемиология, диагностика, профилактика и лечение: Автореф. ... д-р мед. наук. – М., 1999.
13. Cardis E., Kesminiene A., Ivanov V., Zvonova I., Korobova E., et al. Risk of thyroid cancer after exposure to ¹³¹I in childhood // Journ. of Nat. Cancer Institute, 2005. – № 97 (10). – P. 724–732.

CHEMICAL COMPOSITION OF DRINKING WATERS IN AREAS OF THYROID GLAND ENDEMIC DISEASES IN RELATION TO GEOCHEMICAL FEATURES OF WATER FORMATION ZONES

L. I. Kolmykova, E. M. Korobova, I. N. Gromyak

The chemical composition of groundwater used for drinking water supply in the Bryansk region was considered taking into account the hydrogeological features of the area. In addition to the low iodine content (on average less than 10 µg/l), typical for areas of endemic thyroid diseases, additional possible geochemical risks of endemic diseases were identified due to elevated levels of Mn, Fe, Sr and Si in drinking water sources, which are associated with the spatial distribution of the particular hydrogeological formations.

Keywords: iodine, selenium, endemic diseases, water migration of chemical elements, Bryansk region.

РАСТВОРЕНИЕ КАРБОНАТА КАЛЬЦИЯ *IN VITRO* МИКРОБНЫМИ КОМПЛЕКСАМИ ИЗ КАРСТОВОЙ ПЕЩЕРЫ ПРОЩАЛЬНАЯ

Л. М. Кондратьева¹, О. С. Шадрина¹, Е. М. Голубева², В. О. Крутикова²

¹Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,

г. Хабаровск, Россия

e-mail: kondratevalm@gmail.com

²Институт тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина ДВО РАН,

г. Хабаровск, Россия

Представлены результаты экспериментального исследования активности микробных комплексов, входящих в состав натечного образования «лунное молоко» из карстовой пещеры Прощальная (Хабаровский край) с использованием легко и трудно минерализуемых органических веществ (лактат, гуминовые вещества). Крупные «яйцеподобные» глобулы (4x5 см) образовались *in vitro* в течение 60 суток при росте на лактате при 4°C и 23°C. На гуминовых веществах глобулы меньшего размера были обнаружены только при 4°C. Крупные глобулы отличались сложной микроструктурой и богатым элементным составом. Входящие в их состав микроорганизмы продуцировали полимерные вещества и активно растворяли карбонат кальция.

Ключевые слова: карстовые пещеры, кальциты, «лунное молоко», биопленки.

Введение

Карстовые процессы развиваются в результате взаимодействия воды с горными породами. Обязательным условием карстообразования является дренаж воды, интенсивность которого зависит от климата. Трещиноватость горных пород, является основным фактором, который приводит к развитию карста. Состояние карстовых пещер в значительной степени зависит от многих параметров окружающей среды, включая абиотические и биотические факторы [10].

В карстовых пещерах среди карбонатных минералов чаще всего встречаются кальциты. Основная их форма CaCO_3 довольно стабильна, поэтому большинство исследователей палеоклимата используют кальцитовые сталагмиты для обоснования температурного режима и количества выпавших осадков в регионе. Вторым распространенным карбонатным минералом является арагонит, его чаще всего встречают в пещерах, среди доломитовых пород, особенно в районах теплого климата. Однако совсем недавно австрийские исследователи показали, что арагонит может встречаться в Альпийских пещерах при низких температурах [9]. Минерал доломит ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), распространен менее широко, но был обнаружен во многих пещерах мира как составная часть тонкозернистых отложений, в том числе в составе натечного образования (спелеотемы) «лунное молоко» [6].

Важную роль в биогеохимических процессах в карстовых пещерах играют микроорганизмы, способные формировать биопленки. В образцах древних доломитов обнаружены наносфероиды, которые придают современным доломитам гранулированную структуру. Эти микроstructures могут выступать в качестве микробиологических индикаторов древних доломитов, а также других карбонатных минералов [4]. Биогеохимические процессы с участием экзополимерного матрикса микроорганизмов могут происходить как в аэробных, так и анаэробных условиях и регулироваться присутствием органических веществ различного строения и генезиса [7].

Основная цель настоящего исследования: показать влияние температуры и органических веществ на интенсивность растворения карбоната кальция *in vitro* микробными комплексами спелеотемы «лунное молоко» из карстовой пещеры Прощальная (Хабаровский край).

Методы

Пещера Прощальная находится на юге Хабаровского края в центральной части горной системы Сихотэ-Алинь. Вход расположен на правом склоне долины р. Сагды-Селанка на высоте 50 м от его подножия [1]. Рельеф бассейна реки относится к низкогорному с сильно расчленённой эрозионно-денудационными процессами поверхностью [3]. Здесь широко распространены палеозойские породы, состоящие из песчаников, алевролитов, кремнистых пород и органогенных известняков.

Подземная полость пещеры Прощальная представляет собой трехмерный лабиринт, состоящий из крупных (длиной до 120 м) залов, ходов, галерей, колодцев и многочисленных ходов различных размеров и направлений. Во многих местах стены и пол пещеры покрыты бело-молочным натечным образованием (спелеотемой) «лунное молоко». В пещере повсеместно встречаются кальцитовые образования в виде кораллитов, сталактитов, сталагмитов, геликтитов, оолитов, а также спелеотемы в виде пагод и занавесей. В пещере имеется постоянный водоток, расход в межень составляет 50–70 л/с, в паводок до 500 л/с; его русло извилистое, переменного сечения от 1 м до 5–6 м.

Образец натечного образования «лунное молоко» творожистой консистенции был отобран в пещере Прощальная в феврале 2018 г. в ходе экспедиции СЭТК «Оникс ДВГУПС» под руководством В. О. Шадрина. Температура воздуха на момент отбора образцов составляла 4°C. Для оценки активности растворения CaCO_3 микробными ком-

плексами (МК), входящих в состав «лунного молока» в качестве источника углерода использовали низкомолекулярный легко утилизируемый лактат натрия и медленно разлагаемый гуamat натрия (0,2 г/л). Контрольные пробы были без источников углерода. В эксперименте использовали инокулят приготовленный из расчета 100 мг массы «лунного молока» в 100 мл дистиллированной воды. В колбы со 100 мл минеральной среды Виноградского вносили по 1 мл суспензии. Периодическое культивирование проводили при двух температурах 4°C и 23°C.

Образовавшиеся *in vitro* при растворении кристаллов CaCO₃ биопленки (БП) исследовали с помощью сканирующего электронного микроскопа (EVO-40HV, Carl Zeiss) с напылением платины в режиме вторичных электронов. Для определения их элементного состава использовали кремний-дрейфовый рентгеновский детектор X-MAX 80мм². Для определения структуры микробного сообщества глобул использовали селективные агаризованные питательные среды.

Результаты

В естественной среде большое значение для развития биопленок на твердых поверхностях имеет генезис и концентрация органических веществ [8].

В нашем эксперименте на 30-е сутки была отмечена способность микроорганизмов «лунного молока» из пещеры Прощальная продуцировать слизистые биопленки во всех вариантах. Впервые *in vitro* образовались крупные «яйцевидные» слизистые глобулы (сфероиды), напоминающие шаровидные кораллоиды, встречающиеся в пещерах. При внесении лактата, не зависимо от температуры, они достигали максимального размера (4х5 см) (рис. 1). Рост сфероидов продолжался в течение 60 суток. В присутствии гуминовых веществ при 4°C дальнейшее видимое развитие сфероидов прекратилось. С помощью световой микроскопии было установлено, что в состав сфероидов (варианты 1, 2, 4) входили в основном Грамм (+) палочковидные микроорганизмы. Ранее, на основании культурально-морфологических характеристик из «лунного молока» нами были выделены бактерии рода *Bacillus*. Известно, что их полимерные слизи могут служить катализаторами процессов биогенного минералообразования [5].

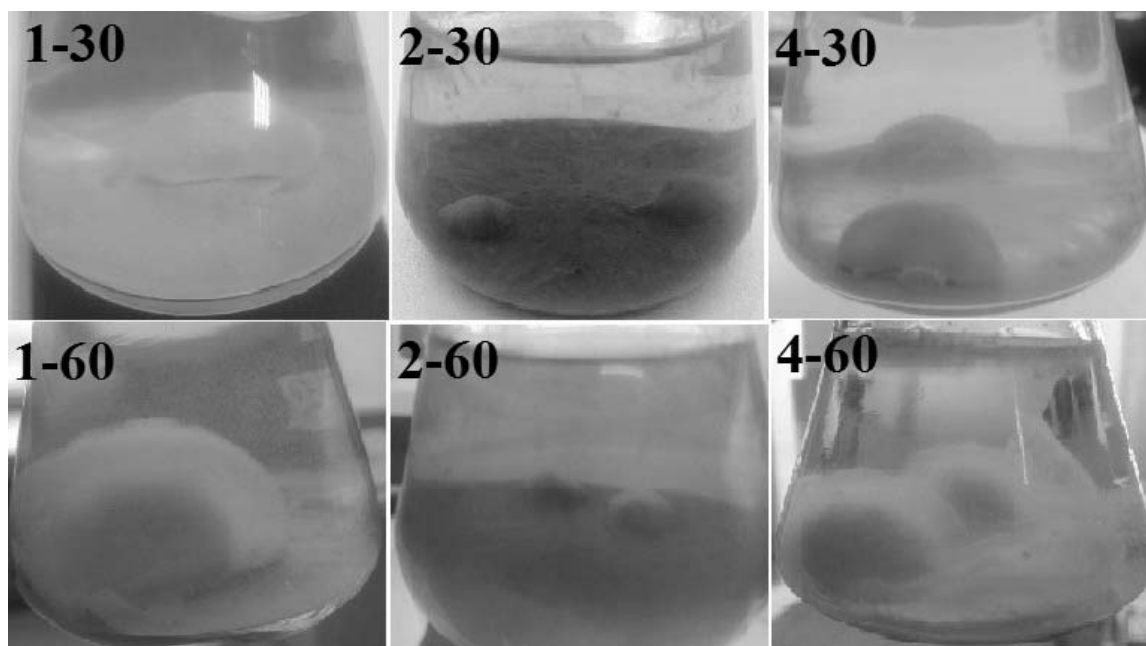


Рис. 1. Развитие сфероидов на разных источниках углерода через 30 и 60 суток в вариантах эксперимента (1 – на лактате, 2 – на гуамате при температуре 4 °C; 4 – на лактате при 23 °C)

Анализ СЭМ изображений внутреннего строения глобулы выросшей на лактате свидетельствует о ее довольно сложной микроструктуре. Среди наноструктур встречались диски, пластинки, кокки и слизистые нити. Согласно элементному составу многие из них имеют биогенное происхождение.

Высев на питательные среды и выделение отдельных штаммов показали, что микроорганизмы, входящие в состав глобул, были адаптированы к широкому диапазону концентраций органических веществ, росли на богатых и разбавленных питательных средах. Большинство штаммов были способны к умеренному и активному образованию слизистых полимеров, играющих важную роль в функционировании БП.

Ответные реакции МК из варианта с лактатом по отношению к разным концентрациям карбоната кальция (1, 5, 10, 50 г/л) оценивали на 60-е сутки при разных температурах. Интенсивное образование биоплёнок отметили при 4⁰С с добавлением 1 и 5 г/л CaCO₃. Наблюдали адгезию бактериальных клеток на кристаллах кальцита и последующее их растворение. При концентрации карбоната кальция 10 г/л независимо от температуры отметили слабый рост БП и склеивание не растворившихся частиц кальцита. В вариантах с высоким содержанием карбоната кальция (50 г/л) образование слизистого осадка резко снижалось независимо от температуры, что может быть связано с ингибированием роста микроорганизмов высокими концентрациями ионов кальция.

Способность бактериальных представителей из спелеотемы «лунное молоко» растворять карбонаты кальция была ранее показана на примере пещеры Снежная (Абхазия) из региона с другими климатическими условиями [2].

Заключение

Образование слизистых биопленок и растворение кристаллов кальцита свидетельствует о способности представителей МК «лунное молоко» растворять CaCO₃ в горных породах карстовых пещер. Более активно эти процессы происходили в присутствии легко доступного продукта трансформации растительных остатков – лактата. При обильных осадках и дренаже поверхностных вод, содержащих продукты трансформации растительных остатков, в то числе лигноцеллюлозы, независимо от температуры может происходить активное растворение карбоната кальция.

Литература

1. Берсенёв Ю. И. Карст Дальнего Востока. – М.: Наука, 1989.
2. Кондратьева Л. М., Полевская О. С., Литвиненко З. Н., Голубева Е. М., Коновалова Н. С. Роль микробного сообщества в формировании натёчного образования «лунное молоко» в карстовой пещере Снежная (Абхазия) // Микробиология. – 2016. – Т. 85. – № 5. – С. 598–608.
3. Махинов А. Н., Крюкова М. В., Махинова А. Ф. Роль карстовых явлений в формировании долинного ландшафта реки Сагды-Селанка (центральный Сихотэ-Алинь) // Вестник ДВО РАН. – 2016. – № 5. – С. 86–93.
4. Aloisi G., Gloter A., Krüger M., Wallmann K., Guyot F., Zuddas P. Nucleation of calcium carbonate on bacterial nanoglobules // Geology. – 2006. – V. 34. – P. 1017–1020.
5. Ercole C., Cacchio P., Botta A. L., Centi V., Lepidi A. Bacterially Induced Mineralization of Calcium Carbonate: The Role of Exopolysaccharides and Capsular Polysaccharides // Microscopy and Microanalysis. – 2007. – № 13. – P. 42–50.
6. Hill C. A., Forti P. Cave mineralogy and the NSS: past, present, future // J. Cave Karst Stud. – 2007. – Vol. 69. – P. 35–45.
7. Portillo M. C., Gonzales J. M. Moonmilk deposits originate from specific bacterial communities in Altamira Cave (Spain) // Microbial Ecology. – 2011. – Vol. 61. – P. 182–189.
8. Rodrigues A. L., Pereira M. A., Janknecht P., Brito A. G., Nogueira R. Biofilms formed on humic substances: response to flow conditions and carbon concentrations // Bioresource Technology. – 2010. – Vol. 101. – № 18. – P. 6888–6894.

9. Spötl C., Fohlmeister J., Cheng H., Boch R. Modern aragonite formation at near-freezing conditions in an alpine cave, Carnic Alps, Austria/ // *Chemical Geology*. – 2016. – Vol. 435. – P. 60–70.

10. Vesper D. J., Loop C. M., White W. B. Contaminant transport in karst aquifers. // *Theoretical and Applied Karstology*. – 2001. – № 13–14. – P. 101–111.

CALCIUM CARBONATE DISSOLUTION *IN VITRO* BY MICROBIAL COMPLEXES OF CARST CAVE PROSCHALNAYA

L. M. Kondratyeva, O. S. Shadrina, E. M. Golubeva, V. O. Krutikova

The results of an experimental study of the activity of microbial complexes that make up the “moon milk” formation from the Proschalnaya karst cave (Khabarovsk Territory) using easily and difficultly mineralized organic substances (lactate, humic substances) are presented. Large “egg-like” globules (4x5 cm) were formed in vitro for 60 days with growth on lactate at 4 ° C and 23 ° C. Smaller globules on humic substances were found only at 4 ° C. Large globules were distinguished by a complex microstructure and rich elemental composition. The microorganisms in their composition produced polymeric substances and actively dissolved calcium carbonate.

Keywords: karst caves, calcites, "moon milk", biofilms.

CONTAMINATION OF TREES OF THE FORMER COPPER SMELTER PROTECTIVE ZONE

J. Kostecki, A. Greinert, M. Drab

*Institute of Environmental Engineering,
Zielona Góra, Poland,
e-mail: j.kostecki@iis.uz.zgora.pl*

Industrial areas are a challenge for the spatial planning in environmental context due to the relative high concentrations of pollutants in air, soil and water. Despite the complicated conditions of growth, these areas are good enough for a significant number of plants having adaptive mechanisms, including tolerance to the presence of heavy metals in the soil. The aim of this study was to investigate the possibility to accumulate heavy metals in *Populus robusta* tree organs. The accumulation of Cd and Pb in the roots was found, and definitely lower in leaves, wood and tree bark.

Keywords: industrial emission, soil pollution, environmental pollution, heavy metals.

Introduction

For many years, plants growing in the protective zone of the Głogów Copper Smelter have accumulated in organs substances from the soil and air – both useful and harmful. The natural environment in this area was exposed to the deposition of pollutants from many sources. The main pollutants have been composed mainly of gases, including SO₂, CO, NO_x, CS₂, F and metalliferous dust containing, a.o.: Cu, Pb, Zn, Cd and As [20,10,11]. As a result of modernization of production processes in the late 80. of the XXth Century, pollution emissions have been significantly reduced [11].

However, it should be taken into consideration that soils are the place of accumulation of elements deposited on their surface [22]. This accumulation can be permanent, especially in

soils with a developed sorption complex [23,12,13]. These elements are then a part of the circulation between the soil, waters and plants. The reclamation technique involving the removal of pollutants from the soil and water environment is phytoremediation. The challenge is to select the optimal plant species for phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. It is expected that plants being used can take heavy metals in a large amount without adversely affecting their growth and development. In addition, they should have utility and ecological value. The assessment of the effectiveness of this process may contribute to reducing the investment costs in the reclamation of post-industrial land. It is also significant that phytoremediation is an environmentally friendly reclamation technique that positively shapes the landscape of the industrial area [3].

Material and methods

The protection zone around the Głogów Copper Smelter was established in 1987 and covered the area of 2840 ha. According to Leśniczak [15], experimental work on the afforestation of areas around the smelter, however, has been ongoing since 1973. About 440 species and varieties of woody plants have been tested. In 2001, the area of the protection zone was reduced by about 6% (to 2660 ha).

The research area is located in the south-western part of Poland, in the northern part of the Lower Silesia Region. Research points were located in the former protective zone of the Głogów Copper Smelter (Fig. 1). For comparison two control areas located in the south-eastern part of the Lubuskie Region were chosen. They were found in a distance of 20 km from the copper smelter (north and west).

The soil samples were collected from all characteristic genetic horizons of the soil profiles. Plant material (leaves and trunks) was taken from the same research points as in the case of soil samples. Laboratory analysis included basic physico-chemical properties (sorption properties were determined by the Kappen's method, pH-H₂O and pH-1M KCl values were measured with a glass electrode WTW SenTix 41 in the supernatant of a 1:2.5 soil:water suspension, electrical conductivity (EC) of the soil-water 1:2 extract was determined using the conductometric method and the TC content using the Shimadzu VCNS analyser). The content of copper and lead in the soil as well as in leaves and trunks of poplars *Populus robusta* was estimated in aqua regia extract HCl:HNO₃ 3:1 acc. to ISO 11466 (subtotal content) using the ICP-OES technique (Perkin Elmer Optima 8000).

Results and discussion

Texture of analysed soils was loamy sand (Zukowice II, III and Bogomice) and sandy loam (Zukowice I). Soils reaction was slightly acidic (Zukowice I), acidic-neutral (Bogomice) and alcalic (Zukowice II and III). The mean highest content of the TC content was found in Zukowice II and III (1,48 and 1,39% respectively), the lowest in Zukowice I and Bogomice (0,44 and 0,58% respectively).

The samples from the control areas were characterized by a copper content of 1.6-3.7 mg·kg⁻¹ in poplar wood. Trees from the areas located directly at the Glogow copper smelter contained copper in the amounts of 2,9,6-9,6 mg·kg⁻¹ in wood.

The content of lead was at the level of 1.9-12.7 mg·kg⁻¹ in wood. The lowest content of both Cu and Pb was recorded at Żukowice A. For comparison, the content of these metals in control samples was 4.0-8.8 mg·kg⁻¹ in poplar wood. The content of heavy metals was comparable to the ranges given by Kabata-Pendias and Pendias [7,8] and Ostrowska and Porębska [19].

A much higher content of both copper and lead was recorded in the leaves and bark. The concentration of copper in the bark originating from control areas was 6.8-7.3 mg·kg⁻¹. The concentration of copper in the bark of trees from the area of the former protection zone was much higher ranging from 257 to 475 mg·kg⁻¹. The lowest values were recorded at Zukowice

A. The distribution of lead present the same tendency. The control areas showed a content of lead in the bark slightly higher than in the whole trunk – 8.8-9.2 mg·kg⁻¹. Samples from the areas near copper smelter contained 92-365 mg Pb·kg⁻¹. The lowest concentrations were recorded again in the research area Żukowice A.

In all tested leaf samples a positive, significant ($\alpha=0.05$) and highly significant ($\alpha=0.01$) correlation was found between the content of copper and lead in biomass, and the content of these elements in the soil (both in bioavailable form: $r = 0,5032$ for Cu and $r = 0,5396$ for Pb and general form $r = 0,7892$ for Cu and $r = 0,8763$ for Pb). In the samples from trunks no significant correlation was found between the analyzed factors.

The growth of plants depends on many factors. In the literature there are numerous references to the physic-chemical properties of the soil and the general state of the environment [16,24]. *Populus* sp. is characterized by quite large phenotypic variability, the trees are described as photophilous and fast-growing plants. This allows them to settle various habitats, not necessarily offering optimal grow conditions for them [1,19,17,5,2]. All these properties make *Populus* sp. an excellent solution for the construction of protective zones around industrial plants, where anthropogenic pressure seems to have the largest dimension.

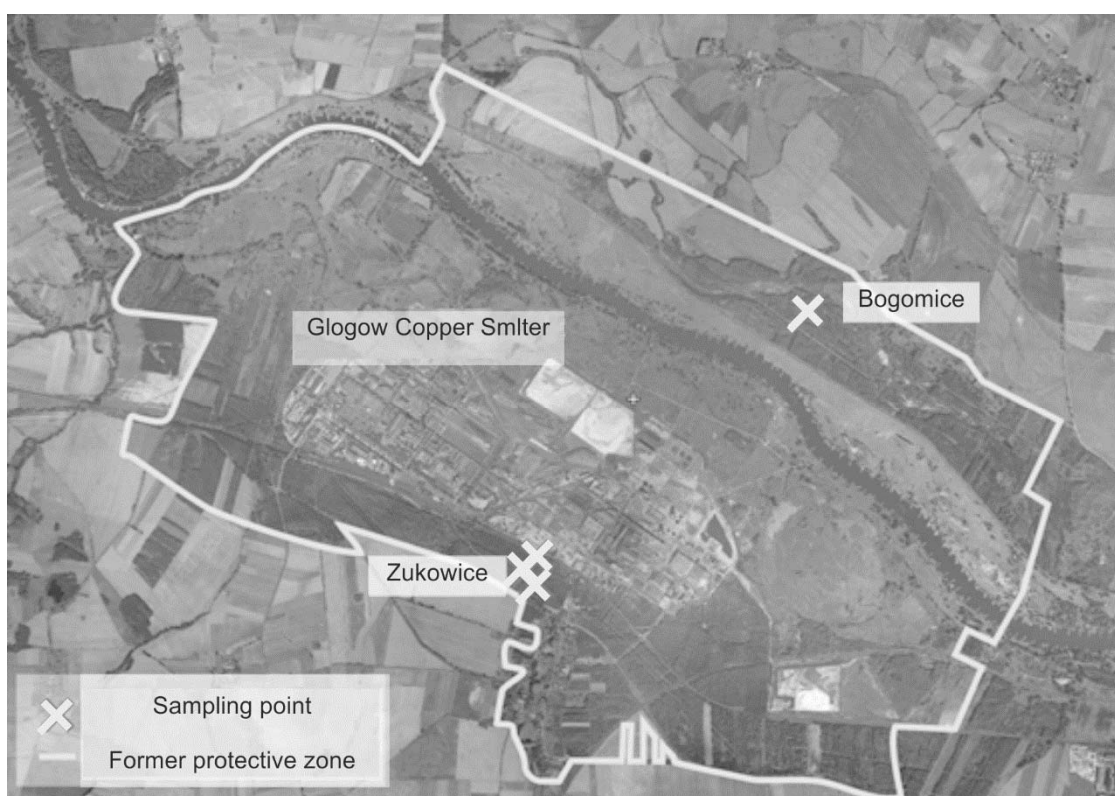


Fig. 1. Location of the research areas in the Głogów Copper Smelter protective zone

The contamination of soils with both copper and lead was described by numerous authors as potential threat to plants indicator [7,8,3,14,18]. These include: growth inhibition and yield reduction, root cell damage, changes in cell membrane permeability, inhibition of electron transport in the photosynthesis process and reduction in the uptake of other micro- and macroelements.

Heavy metals such as copper and lead are mainly taken up by the root system [6]. According to Kabata-Pendias and Pendias [7]. The copper content in roots can be twice, and lead is even three times higher than in above-ground parts of plants. At the same time, it is pointed out that copper is taken throughout the entire growing season and can be moved

between different organs [9]. Many times higher content of these elements in both bark and leaves may be also the result of sedimentation of metalliferous dust from the atmosphere. Both bark and leaves have direct contact with environmental pollutants; bark additionally protects the internal tissues. The climatic conditions, including rainfall and wind direction, seem to be important for the content of metals in vegetable organs.

In the course of evolution, the plants developed a number of defense mechanisms in relation to high concentrations of pollutants. It suggests, among others Harborne [4] and Singh [21] pointing to: excretion, immobilization in cell walls, cell closure and chelation. Lewak and Kopcewicz [16] add to this list also the reduction of the uptake of a given component and hindering its movement within the protoplasm. According to Harborne [4] the collection and distribution of copper in the plant organism is inhibited in several ways, and lead is in turn irreversibly bound to the cell wall. Heavy metals can be retained on the surface of leaf blades by binding them through a cuticle. This in turn leads to a decrease in the health of microorganisms living on the leaves.

Conclusions

In the light of the results obtained in the work, the following conclusions can be made:

□ the highest subtotal content of copper and lead in soil was found in the organic horizons (higher than the normative content of 3.6-5.4 times for Cu and 1-1.5 times for Pb).

□ *Populus robusta* is characterized by low ability to accumulate Cu and Pb in wood. Considering the content of metals in the whole trunk and the calculated bioconcentration index, this species can not be called the hyperaccumulator of copper and lead.

□ The use of phytoremediation as the only technology for soil cleaning in the former protection zone – using the phenomenon of Cu and Pb accumulation in wood – seems to be not very effective. The time required to clean the soil up to normative values for industrial areas would be from several hundred to several tens of thousands of years.

□ Nevertheless, poplars grow well in areas around the copper smelter, creating a filter for the further atmospheric migration of metalliferous dust.

References

1. Drab M., 2002: Biological effects of reclamation of the former Dobroszów Wielki construction aggregate deposit in the Lubuskie voivodship, Redakcja Wydawnictw Naukowo-Technicznych, Zielona Góra.
2. Gach P., 2011: Atlas of trees and shrubs, <http://www.mojedrzewa.pl>
3. Greinert H., Greinert A., 1999: Soil environment protection and reclamation, Wydawnictwo Politechniki Zielonogórskiej, Zielona Góra. – P. 326.
4. Harborne J. B. 1997: Ekologia biochemiczna, PWN, Warszawa. – P. 351.
5. Johnson O., More D., 2009: Przewodnik Collinsa. Drzewa., Oficyna Wydawnicza Multico, Warszawa. – Pp. 464.
6. Juda-Rezler K., Oddziaływanie zanieczyszczeń powietrza na środowisko, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa. – Pp. 244.
7. Kabata-Pendias A., Pendias H., 1979: Pierwiastki śladowe w środowisku biologicznym, Wydawnictwo geologiczne, Warszawa. – P. 300.
8. Kabata-Pendias A., Pendias H., 1999: Biogeochemia pierwiastków śladowych, PWN, Warszawa. – P. 400.
9. Kabata-Pendias A., Pendias H., 2001: Trace elements in soils and plants, CRC Press, Boca Raton. – P. 413.
10. Karczewska A., Spiak Z., Kabała C., Gałka B., Szopka K., Jezierski P., Kocan K., 2008: Ocena możliwości zastosowania metody wspomaganiej fitoekstrakcji do rekultywacji gleb zanieczyszczonych emisjami hutnictwa miedzi, Wydawnictwo Zante, Wrocław. – S.144.

11. KGHM, 2019. Portal internetowy KGHM Polska Miedź S. A. <http://www.kghm.pl/>
12. Kostecki J., Drab M., Wasylewicz R., Greinert A., Walczak B., Królik D., 2015a: The state of soil contaminated with nickel in the former sanitary zone of the Głogów Copper Smelter. *Polish Journal of Soil Science.* – Vol. 48. – № 1. – P. 13–20.
13. Kostecki J., Greinert A., Drab M., Wasylewicz R., Walczak B., 2015b: Chemical soil degradation in the area of the Głogów copper smelter protective forest. *Civil and Environmental Engineering Reports.* – № 17. – P. 61–71.
14. Krzywy E., 2000: Nawożenie gleb i roślin, WAR, Szczecin. – P. 177.
15. Leśniczak A., 2005: Plan zarządzania lasu Strefy ochronnej Huty Miedzi w Głogowie na okres od 01.01.2005 r. do 31.12.2014 r. Tom 1. Część ogólna planu – elaborat program ochrony przyrody, Brzeg. – P. 46.
16. Lewak S., Kopcewicz J., 2009: Fizjologia roślin. PWN, Warszawa. – P. 215.
17. Maciak F., 2003: Ochrona i rekultywacja środowiska, SGGW, Warszawa. P. 466.
18. Mengel K., Kirkby E.A., Kosegarten H., Appel T., 2001: Principles of plant nutrition, Kluwer, Netherlands. – P. 864.
19. Ostrowska A., Porębska G., 2002: Skład chemiczny roślin, jego interpretacja i wykorzystanie w ochronie środowiska, Dział Wydawnictw IOS, Warszawa. – P. 165.
20. Sałecki T., (red.) 1997: Ocena zmian stanu środowiska województwa legnickiego w latach 1985–1995, Studio Komputerowe KZS Computer Solutions, Legnica. – P. 183.
21. Singh B., 1998: Soil pollution and contamination, W: Lal R., Blum W.H., Valentine C., Stewart B.A.: *Advances in soil science: Methods for assessment of soil degradation*, CRC Press. – P. 279–300.
22. Skoczylas M., Greinert A., Kostecki J., Skiba M., Bazan-Krzywoszańska A., 2015: Protective Zone of an Industrial Plant as a Tool for Environmental Protection. *Environment and Ecology Research.* – Vol. 3. – № 4. – P. 7–81, DOI: 10.13189/eer.2015.030401
23. Wasylewicz R., Kostecki J., Greinert A., Walczak B., Drab M., 2014: Sorption of nickel in soils of an area affected by the metal industry. *Polish Journal of Soil Science.* – Vol. 47. – № 2. – P. 101–108.
24. Wysocki C., Sikorski P., 2009: Fitosocjologia stosowana w ochronie i kształtowaniu krajobrazu, SGGW, Warszawa. – P. 498.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БАСЕЙНА Р. ЧУЛЫШМАН (РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ)

О. В. Кузнецова, О. А. Ельчининова

Горно-Алтайский государственный университет,

Горно-Алтайский филиал

Института водных и экологических проблем СО РАН,

г. Горно-Алтайск, Россия

e-mail: gafivep@mail.gorny.ru

Представлены результаты исследования почв и растительности бассейна р. Чулышман (Республика Алтай). Установлено, что в верхнем течении р. Чулышман (горно-тундровые, горные лугово-степные) значения кларков концентрации изменяются от 0,07 (Pb) до 0,79 (Mn), в нижнем течении р. Чулышман (каштановые и интразональные) – от 0,20 (Cu) до 0,39 (Mn). Значение коэффициента биологического поглощения низкое, особенно в нижнем течении.

Ключевые слова: тяжелые металлы, кларки концентраций, коэффициент биологического поглощения, бассейн р. Чулышман.

Введение

Территория бассейна р. Чулышман - важный объект биогеохимических исследований. Река берет начало из высокогорного озера Джулукуль, на абсолютной отметке 2200 м и впадает в Телецкое озеро. Протяженность реки 241 км, а площадь ее бассейна составляет 16 800 кв. км [2]. Эта территория, характеризующаяся высотной поясностью, многообразна и сложна в природном отношении, большая часть бассейна труднодоступна и не заселена. В верхнем течении реки нет никаких постоянных населенных пунктов, данная территория входит в состав Алтайского государственного природного биосферного заповедника (АГПБЗ). Нижнее течение – наиболее освоенная часть (долина р. Чулышман), по берегам располагаются туристические базы. В результате деятельности туристической отрасли данная территория в последние годы подвергается антропогенной нагрузке, влияние которой с каждым годом возрастает.

Цель данной работы – выявление и анализ биогеохимических особенностей различных компонентов ландшафта бассейна р. Чулышман, определение по результатам биогеохимического опробования фоновых биогеохимических показателей. Они необходимы для разработки программ мониторинга, оценки современного состояния природной среды и потенциальной трансформации антропогенной деятельности человека в связи с увеличением посещаемости туристами труднодоступных районов.

Методы

Полевые работы состояли из маршрутных обследований с закладкой почвенных разрезов в системе геохимически сопряженных ландшафтов, в горах - в системе геоморфологических профилей. По необходимости, кроме полнопрофильных разрезов закладывали прикопки. Растительные образцы отбирали в местах, сопряженных с почвенным разрезом с площади 1 м². Разделяли живую массу, опад и корни. Корни промывали в проточной воде, затем в дистиллированной. Подготовленные пробы анализировались атомно-абсорбционным методом на атомно-абсорбционном спектрофотометре «Квант-2».

Результаты

Почвообразующие породы исследуемой территории – это рыхлые отложения четвертичного возраста, представленные различными суглинистыми образованиями ледникового или аллювиального происхождения.

Региональной геохимической особенностью является то, что в качестве коренных пород преобладают в основном кислые – гранитоиды, содержание металлов в которых ниже, чем в основных породах. Поэтому средние концентрации элементов в различных почвообразующих породах бассейна р. Чулышман характеризуется низкими показателями (табл.1), со средним значением Mn – 214,3 мг/кг, что ниже его кларка в литосфере в 4,1 раза; Cu – 11,2 мг/кг (ниже кларка в 4,2 раза), Pb – 6,3 мг/кг (в 2,5 раза).

Таблица 1

Содержание тяжелых металлов в почвообразующих породах бассейна р. Чулышман, мг/кг

Тип почвообразующей породы	Mn	Cu	Pb
Ледниковые (моренные)	228,6±25,0	11,3±1,0	1,1±0,1
Аллювиально-делювиальные	274,5±31,4	9,3±0,9	9,7±1,0
Аллювиальные	139,7±9,4	12,9±1,1	8,2±1,2

Вследствие сложного сочетания биоклиматических условий в пределах бассейна р. Чулышман почвенный покров отличается своеобразием и неоднородностью. В высо-

когорном поясе (Чулышманское плато) формируются горно-тундровые, горно-лугово-степные почвы, на поверхностях прирусловых и низких террас рек и озер – аллювиальные, долинах р. Чулышман и его притоков узкой полосой до границы леса – каштановые. Содержания биогенных и токсичных элементов в почвах верхнего и нижнего течения значительно различаются (табл. 2).

Для всех типов почв рассчитаны значения кларков концентрации (отношение содержания химического элемента в исследуемой почве к его содержанию в земной коре) – все они ниже кларков для почв мира. Это обусловлено неодинаковой концентрацией элемента в почвообразующих породах и разной направленностью почвообразовательных процессов, протекающих в неодинаковых природно-климатических условиях. Содержание марганца выше в почвах верхнего течения р. Чулышман. Это обусловлено значительным содержанием в верхнем горизонте грубого гумуса (до 90% при прокаливании), который при слабокислой реакции среды способен связывать марганец, поступающий в большом количестве из продуктов разложения растений-манганофилов (шикша алтайская, брусничник, багульник болотный и др.) [5]. Каштановые и интразональные почвы нижнего течения характеризуются меньшими значениями концентрации Mn (в 1,5-2,5 раза), что связано с легким гранулометрическим составом почв, формированием их на песчаных и супесчаных аллювиальных отложениях и невысоким содержанием органического вещества. Этот же фактор влияет и на накопление меди. Оно минимально в почвах нижнего течения (интразональных). В общем, содержание Cu для всех исследуемых типов почв различается незначительно.

Таблица 2

**Содержание тяжелых металлов
в почвах бассейна р. Чулышман, мг/кг**

Почвы	Mn	Cu	Pb
Верхнее течение р. Чулышман			
Горно-тундровые	587,7±58,6	13,6±0,9	0,8±0,1
Горные лугово-степные	793,2±86,6	12,8±2,0	1,4±0,2
Средние значения кларков концентрации	0,69	0,28	0,07
Нижнее течение р. Чулышман			
Каштановые	316,6±25,3	13,7±1,6	10,8±0,4
Интразональные	387,1±28,1	9,6±0,4	5,7±0,3
Средние значения кларков концентрации	0,35	0,25	0,52
Кларк по Виноградову [1]	1000	47	16

Значительный разброс значений наблюдается в концентрациях свинца (13,5 раза). Минимальные концентрации Pb отмечены на территории Джулукульской котловины (горно-тундровые почвы), вследствие нескольких причин. Прежде всего, низкое его содержание в почвообразующей породе, легкий гранулометрический состав, особые геоморфологические, климатические условия, удаленность района от населенных пунктов и заповедный режим, ограничивающие антропогенное воздействие. Максимальные концентрации определены в Чулышманской долине (каштановые почвы), где влияние рекреационной деятельности с каждым годом увеличивается: здесь параллельно реке следует автомобильная дорога, а по берегам располагаются туристические базы.

Растительный покров отличается большим разнообразием. В южной части Чулышманского плоскогорья и в окрестностях оз. Джулукуль имеется остаточная степная растительность, помимо этого на заболоченных участках – заросли круглолистной березки, ивняка, на альпийских лужайках – щучка, осоки, типчак. Здесь тундра и степь

переплетаются. Часть бассейна реки Чулышман занимают лесные массивы с хвойными деревьями (лиственничные, пихтовые, кедровые), смешанные кедрово-пихтовые, лиственные встречаются реже. По склонам южной и юго-западной экспозиции развита преимущественно степная растительность. Горные степи занимают отдельные участки в долине Чулышмана и в низовьях его притоков [4].

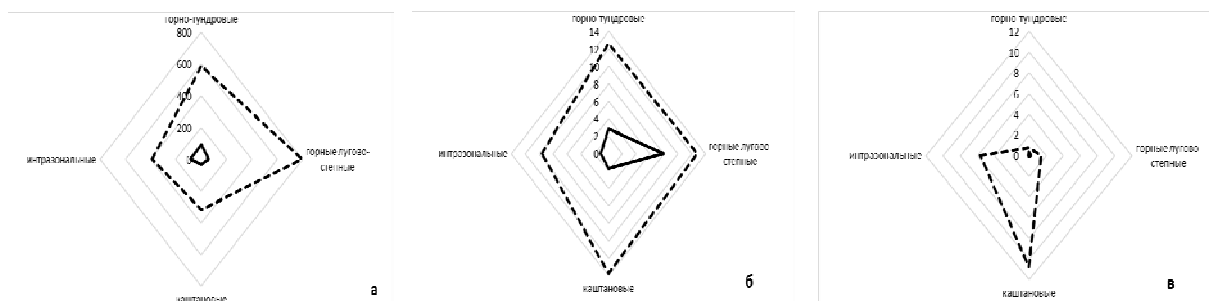


Рис. 1. Содержание тяжелых металлов в почве и надземной части растений, мг/кг: а – Mn; б – Cu; в – Pb

--- почва — надз. масса

Интенсивность накопления микроэлементов в надземной фитомассе растений исследуемой территории колеблется в широких пределах. Сравнение средних концентраций элементов в почве с его содержанием в надземной части показало, что средние концентрации элементов в наземной части растительных ассоциаций ниже, чем в почвах (рис. 1).

Уровень концентрации биогенных элементов в надземной фитомассе растений, произрастающих в верхнем течении р. Чулышман, выше для Mn в 1,3, Cu – 3,9 раза. Это объясняется тем, что данные микроэлементы в кислой среде интенсивнее поглощаются растениями, чем в нейтральных и щелочных условиях [3]. Обратная картина наблюдается по концентрации Pb. В растениях нижнего течения р. Чулышман оно несколько выше уровня его содержания в Джулукульской котловине, следовательно, по мере увеличения рекреационной нагрузки на исследуемых участках повышается содержание свинца в надземных частях растений и почвах.

Для характеристики накопления микроэлементов растениями из почв использовали коэффициент биологического поглощения (КБП), равный отношению содержания тяжелых металлов в растениях к их содержанию в почвах. Значения КБП лежат в пределах 0,01-0,62, что указывает на относительно благополучную экологическую обстановку в исследуемых районах (табл.3). Максимальное значение КБП свинца обнаружено в растительности горно-тундровых почв. В горно-тундровых фитоценозах растения интенсивно поглощают элемент в основном из верхних горизонтов почвы. Вследствие образующейся многолетней мерзлоты с 30-40 см миграция свинца в нижележащие горизонты ограничено.

Таблица 3

Показатели коэффициентов биологического поглощения металлов

Элементы	Mn	Cu	Pb
Верхнее течение р. Чулышман			
Горно-тундровые	0,16	0,22	0,50
Горные лугово-степные	0,07	0,62	0,17
Нижнее течение р. Чулышман			
Каштановые	0,10	0,12	0,01
Интразональные	0,22	0,11	0,02

Следовательно, токсическое действие свинца в большей степени будет обнаруживаться в растениях, произрастающих в верхнем течении р. Чулышман. В целом же, КБП в исследуемых экосистемах невысокий, что указывает на относительно благополучную экологическую обстановку в исследуемых районах.

Заключение

Таким образом, значения кларков концентраций в почве, коэффициентов биологического поглощения марганца, меди и свинца в исследованных экосистемах меньше единицы. Обнаруженная биогеохимическая неоднородность между высокогорными и степными ландшафтами показывает, что при возрастании рекреационной нагрузки наиболее уязвимыми будут экосистемы верхнего течения р. Чулушман.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-45-040008).

Литература

1. Виноградов А. П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – Вып. 7. – С. 555–571.
2. География Сибири в начале XXI века: В 6 т. / Гл. ред. В. М. Плоснин. – Новосибирск: Гео, 2016. – Т. 5: Западная Сибирь / Отв. ред. Ю. И. Винокуров, Б. А. Красноярова.
3. Ильин В. Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва – растения. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012.
4. Куминова А. В. Растительный покров Алтая. – Новосибирск: СО АН СССР, 1960.
5. Мальгин М. А. Биогеохимия микроэлементов в Горном Алтае. – Новосибирск: Наука, 1978.

BIOGEOCHEMICAL FEATURES OF THE BASIN OF CHULUSHMAN RIVER (ALTAI REPUBLIC)

O. V. Kuzneczova, O. A. El'chininova

Results of a research of soils and vegetation of the basin of the Chulushman River (Altai Republic) are presented. It is established that in headwaters of the Chulushman River (mountain-tundra, mountain meadow and steppe) values of klarok of concentration change from 0,07 (Pb) to 0,79 (Mn), in the lower current of the Chulushman River (chestnut and intrazonal) – from 0,20 (Cu) to 0,39 (Mn). Value of coefficient of biological absorption low, especially in the lower current.

Keywords: heavy metals, clarke of concentration, coefficient of biological absorption, basin of the Chulushman river.

**НАКОПЛЕНИЕ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ
ДЕРМАТОКАРПОНОМ КРАСНОВАТЫМ
(*DERMATOCARPON MINIATUM* (L.) W. MANN. В)
В ФОНОВЫХ УСЛОВИЯХ**

Е. В. Лапченко¹, В. А. Лапченко¹, Н. А. Голубкина²

¹Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского –
природный заповедник РАН, Республика Крым, Россия,
e-mail: ozon.karadag@gmail.com

²Федеральный научный центр овощеводства,
пос. ВНИИССОК, Московская область, Россия

Целью работы явилась оценка уровней накопления макро-, микроэлементов эпилитным лишайником *Dermatocarpon miniatum* (L.) W. Mann. В, и сравнение указанных показателей с соответствующими данными для наземных видов лишайников *Cladonia convoluta*, *Cladonia rangiformis*, эпифитного лишайника *Evernia prunastri* Государственного природного заповедника «Карадагский». Используя ИСП-МС метод впервые установлена высокая В, Cu, K, P, I и Se аккумулярующая способность дерматокарпона красноватого (23 – 30; 15 – 19; 6300 – 7900; 1900 – 2400; 7 – 9 и 0.30 – 0.45 мг/кг с.м соответственно). Отмечено, что наземные виды лишайников (кладония свернутая и кладония оленевидная) аккумулируют существенно больше тяжелых металлов (за исключением Cd): Al в 1.3 – 3.9 раз; As в 1.8 – 9.1 раз; Cr в 2.6 – 10.3 раза; Ni в 2.6 – 9.6 раз; Pb в 1.6 – 4.8 раз; Sr в 0.7 – 2.5 раза; V в 0.7 – 2.1 раза. Выявлено значительное возрастание уровня аккумулярования дерматокарпоном Al, Ca, Co, Cr, Fe, I, Li, Mg, Mn, Na и V в январе и снижение концентрации Se, Si, Zn и Sr. Наибольшие изменения в концентрации в течение года претерпевает Sr, содержание которого к зиме снижается более чем в 200 раз.

Ключевые слова: дерматокарпон красноватый, лишайники, элементный состав, природный заповедник.

Введение

Дерматокарпон красноватый *Dermatocarpon miniatum* (L.) W. Mann. В. относится к эпилитным лишайникам рода *Dermatocarpon*, , колонизирующим скалы, связанные с водотоками [4]. Высокая биологическая активность дерматокарпона определяет его применение для снижения артериального давления, улучшения пищеварения, в качестве диуретического и противоглистного средства [2]. Элементный состав дерматокарпона красноватого до настоящего времени не исследовался.

Целью настоящей работы была оценка уровней накопления макро, микроэлементов дерматокарпоном красноватым в сравнении с соответствующими показателями для наземных и эпифитных лишайников, произрастающих в Государственном природном заповеднике «Карадагский».

Материалы и методы

Образцы дерматокарпона красноватого *Dermatocarpon miniatum* (L.) W. Mann. В, а также эвернии сливовой *Evernia prunastri*. (L.) Ach, кладонии свернутой *Cladonia convoluta* и кладонии оленевидной *Cladonia rangiformis* Hoffm собирали в «Долине роз» Государственного природного заповедника «Карадагский» между хребтом Магнитный и хребтом Хоба-Тепе в 20 – 30 м от моря в июне 2018 года и январе 2019 г (44°93'61'' N, 35°23'33'' E). Определение лишайников выполнено по общепринятым лихенологическим методикам. Для проведения анализов образцы высушивали при комнатной темпе-

ратуре до постоянного веса и гомогенизировали. Содержание Al, As, B, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, I, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, Sr, V и Zn в гомогенизированных образцах лишайников устанавливали методом ИСП-МС.

Статистическую обработку данных выполняли с использованием статистической компьютерной программы Excel.

Результаты и обсуждение

Государственный природный заповедник «Карадагский» расположен на территории палеовулкана и отличается многообразием почвообразующих пород. Требование дерматокарпона красноватого к сравнительно высокой влажности и каменистой поверхности определило его предпочтительное местообитание в «Долине роз» заповедника, расположенной между хребтами Магнитный и Хоба-Тепе в непосредственной близости от источника пресной воды и морской акватории (табл. 1).

Таблица 1

Элементный состав некоторых лишайников Карадага (мг/кг с.м.)

Хим. элемент	Дерматокарпон красноватый	Эверния сливовая	Кладония свернутая	Кладония оленевидная
Ca	2628a	3726b	10028c	4946d
K	7105a	2534b	3271c	2565b
Na	473a	207b	163c	99d
Mg	1964a	675c	2568b	1003d
P	2199a	608b	568b	701b
Al	1324 ^d	320 ^a	5205 ^b	1774 ^c
As	0.6 ^a	0.6 ^a	5.3 ^b	1.1 ^c
Cd	0.20 ^c	0.15 ^a	0.12 ^{ab}	0.09 ^b
Cr	0.8 ^a	0.7 ^a	7.8 ^b	2.3 ^c
Ni	1.3 ^d	1.0 ^a	12.9 ^b	3.5 ^c
Pb	1.9 ^c	2.8 ^a	9.3 ^b	3.1 ^a
Sr	15 ^a	15 ^a	37 ^b	11 ^c
V	6.6 ^d	1.1 ^a	13.9 ^b	4.3 ^c
Co	1.1c	0.2a	4.6b	1.1c
B	26.5c	3.8a	2.2b	2.3b
Cu	17.1c	3.7a	13.2b	4.5a
Fe	2793c	435a	12979b	2646c
I	7.8c	10.9a	2.7b	2.4b
Li	1.1d	0.3a	6.5b	1.8c
Mn	125d	21a	328b	97c
Mo	0.20c	0.11a	0.29b	0.13a
Se	0.382a	0.279b	0.193c	0.195c
Si	29.9a	29.1a	26.4a	29.3a
Zn	34.5b	23.8a	39.5b	20.4a

Значения в рядах с одинаковыми индексами статистически не различаются при $P > 0.05$.

Установлено, что среди исследованных видов наземных, эпифитных и эпилитных лишайников дерматокарпон лидирует по накоплению K, P и Na, концентрация которых превосходит соответствующие показатели для эвернии сливовой, кладонии свернутой и кладонии оленевидной в 2.2 – 2.8, в 3.1 – 3.9 и в 2.3 – 4.8 раз соответственно. Уровни накопления P и K дерматокарпоном превосходят известные фоновые концентрации этих элементов в лишайниках [5]. Что касается накопления тяжелых металлов, то по этому показателю дерматокарпон сравнительно близок к эпифитному лишайнику эвернии сливовой. Содержание As, Cr и Sr в этих лишайниках практически не различаются.

В то же время, отличительной особенностью дерматокарпона является более интенсивное накопление Al и Cd по сравнению с эпифитным видом эвернией сливовой и в полтора раза меньшее накопление Pb. Наземные виды лишайников в этом отношении (кладония свернутая и кладония оленевидная) существенно больше аккумулируют тяжелые металлы (за исключением Cd): Al в 1.3 – 3.9 раз; As в 1.8 – 9.1 раз; Cr в 2.6 – 10.3 раза; Ni в 2.6 – 9.6 раз; Pb в 1.6 – 4.8 раз; Sr в 0.7 – 2.5 раза; V в 0.7 – 2.1 раза. При этом кладония свернутая лидирует по способности накопления тяжелых металлов. Такие различия между исследованными видами лишайников могут быть связаны, по крайней мере, частично, с более интенсивным влиянием аккумуляирования пыли наземными видами: кладонией свернутой и кладонией оленевидной.

Особый интерес представляют данные накопления микроэлементов дерматокарпоном красноватым. Полученные данные свидетельствуют о необычно высокой способности этого вида лишайников накапливать В, содержание которого превышает соответствующие показатели для других видов лишайников в 7 – 12 раз. Высокие концентрации бора могут быть связаны с известным обогащением территории древних вулканов этим элементом, что в Государственном природном заповеднике «Карадагский» проявляется также в превышении ПДК по этому элементу в родниках заповедника [1]. Наблюдаемый уровень накопления бора дерматокарпоном (более 26 мг/кг с.м.) на сегодняшний день является наибольшим, зарегистрированным для лишайников [3]. По сравнению с эпифитным и наземными видами лишайников дерматокарпон красноватый отличается достоверно более высокими концентрациями кремния и селена.

Анализ сезонных изменений в концентрациях макро- и микроэлементов в дерматокарпоне красноватом свидетельствует о значительном возрастании уровней аккумуляирования Al, Ca, Co, Cr, Fe, I, Li, Mg, Mn, Na и V к январю и снижению показателей накопления Se, Si, Zn и Sr (рис).

Особенно обращает внимание резкое снижение концентрации стронция в зимний период, составившее более 200 раз по сравнению с соответствующими данными для июня.

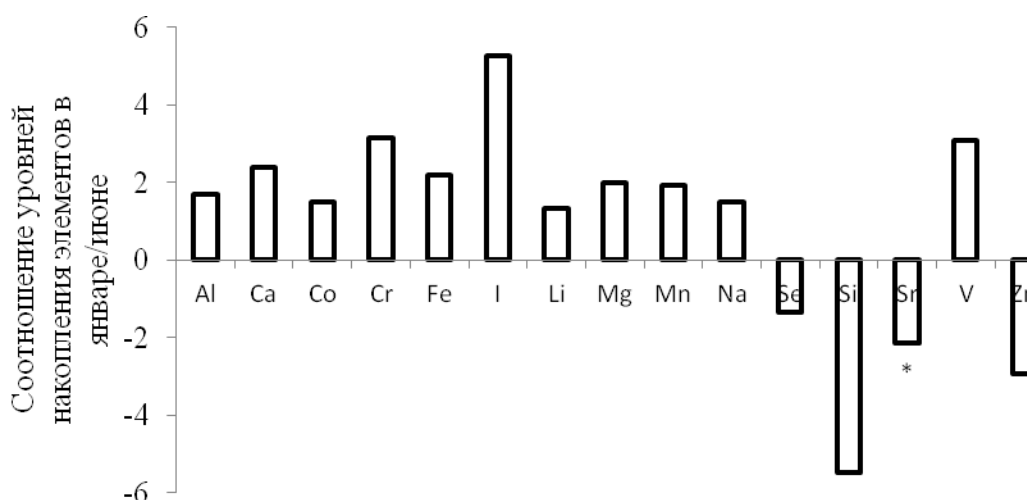


Рис. 1. Сезонные изменения в элементном составе дерматокарпона красноватого (* абсолютное значение уменьшено в 100 раз)

Заключение

Выявленные особенности накопления макро- и микроэлементов дерматокарпоном красноватым *Dermatocarpon miniatum* (L.) W. Mann. В представляют собой первую характеристику этого вида лишайников и позволяют выделить этот вид по сравнению

с наземными видами лишайников (*Cladonia convoluta*, *Cladonia rangiformis*) и эпифитным лишайником *Evernia prunastri*, как индикатор повышенных концентрации в окружающей среде бора, калия, натрия и фосфора.

Литература

1. Голубкина Н. А., Лапченко В. А. 2018. Химический и элементный состав грунтовых вод Карадагского природного заповедника. Микроэлементы в медицине. 4: 20–30.
2. Crawford S. D. 2015. Lichens used in traditional medicine //in Lichen secondary metabolites Bioactive properties and pharmaceutical potential Rankovoc B., ed. Springer Switzerland. – P. 27–80. DOI:10.1007/978-3-319-13374-4_2.
3. Nash T. H. III, Sommerfeld M. R.. 1981. Elemental concentrations in lichens in the area of the Four Corners Power Plant, New Mexico. Env. Exp. Bot. 21: 153–162.
4. Nascimbene J., Thüs H., Marini L., Nimis P.L. 2007. Freshwater lichens in springs of the eastern Italian Alps: Floristics, ecology and potential for bioindication. Ann. Limnol. Int. J. Lim. 43: 285–292.
5. Nieboer E., Richardson D. H. S., Tomassini F. D. 1978. Mineral uptake and release by lichens: an overview. Bryologist 81: 226–246.

ELEMENT COMPOSITION OF *DERMATOCARPON MINIATUM* (L.) W. Mann. B.

L. V. Lapchenko, V. A. Lapchenko, N. A. Golubkina

The aim of the present work was evaluation of macro-, trace elements accumulation by epilithic lichen *Dermatocarpon miniatum* (L.) W. Mann. B., and comparison of the appropriate data with that of terrestrial lichens *Cladonia convoluta*, *Cladonia rangiformis* and epiphytic lichen *Evernia prunastri* of the Karadag State Nature Reserve. Using ICP-MS method high B, Cu, K, P, I and Se accumulation ability of *Dermatocarpon miniatum* was demonstrated for the first time (23 – 30; 15 – 19; 6300 – 7900; 1900 – 2400, 7 – 9 и 0.30 – 0.45 mg/kg d.w. accordingly). Terrestrial lichen species (*Cladonia convoluta*, *Cladonia rangiformis*) were shown to accumulate significantly higher levels of heavy metals (with the exception of Cd): Al 1.3 – 3.9 times; As 1.8 – 9.1 times; Cr 2.6 – 10.3 times; Ni 2.6 – 9.6 times; Pb 1.6 – 4.8 times; Sr 0.7 – 2.5 times; V 0.7 – 2.1 times/ Significant increase in accumulation of Al, Ca, Co, Cr, Fe, I, Li, Mg, Mn, Na and V by January and decrease of Se, Si, Zn и Sr levels in *Dermatocarpon miniatum* was demonstrated. The most pronounced seasonal changes were registered for Sr, which concentration decreased by January more than 200 times.

Keywords: *Dermatocarpon miniatum*, lichens, element composition, nature reserve.

ХИМИЧЕСКИЙ И ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ГРУНТОВЫХ ВОД ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВЕДНИКА «КАРАДАГСКИЙ»

В. А. Лапченко¹, Е. В. Лапченко¹, Н. А. Голубкина²

¹Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского –
природный заповедник РАН, Республика Крым, Россия,
e-mail: ozon.karadag@gmail.com

²Федеральный научный центр овощеводства,
пос. ВНИИССОК, Московская область, Россия

Проведена оценка химического и элементного состава грунтовых вод Государственного природного заповедника «Карадагский», расположенного на территории палеовулкана. Установлена значительная доля источников с превышением ПДК по содержанию В (480-570 мкг/л), Li (30-40 мкг/л) и Na (215-246 мкг/л) и максимальным уровнем минерализации воды в родниках юго-западной части территории. Концентрация селена в воде достигала 730 нг/л в роднике у подножья Магнитного хребта и не превышала 93 нг/л в центральной части заповедника (родник Гяур-Чешме). Выявлено значительное снижение уровня К (в 3.8 раз) и Р (в 19.6 раз) в зимний период при максимальных уровнях В, Fe, V и Zn в воде осенью. Сравнение результатов исследования с данными фрагментарной оценки качества воды двух родников заповедника с данными 1987 года выявило, что за 30 лет значительно возросла минерализация воды при существенном снижении уровня магния.

Ключевые слова: Карадаг, грунтовые воды, элементный состав, качество воды

Введение

Грунтовые воды являются важнейшими компонентами наземных экосистем, участвующими в седиментации, растворении и переносе макро- и микроэлементов. Государственный природный заповедник «Карадагский» отличается многообразием почвообразующих пород – продуктов разрушения известняков, глинистых сланцев и вулканических пород. Гидросфера заповедника представлена немногочисленными родниками, питающимися атмосферными осадками и трещинно-карстовыми водами. Выборочные данные химического состава воды всего двух родников заповедника получены более 30 лет назад [1]. Целью настоящего исследования явилась оценка химического и элементного состава грунтовых вод Государственного природного заповедника «Карадагский».

Методы

Образцы воды отбирали в пластиковые бутылки 15 мая – 15 июня, 20 ноября 2018 г. и 20 января 2019 г. из 6 источников заповедника (рис. 1).



Рис. 1. Источники, для которых проводился анализ воды (1) – Биостанция (колодец), (2) – Родник у скалы Левинсона-Лессинга, (3) – Родник в «Долине роз», (4) – родник Гяур-Чешме, (5) – родник Лягушка, (6) – скважина у подножья горы Медовая

Содержание 25 химических элементов: определяли методом ИСП-МС в центре Биотической Медицины (Москва). Уровень минерализации и жесткости, содержание ионов аммония, хлора, нитратов, фтора устанавливали общепринятыми методами.

Статистическую обработку результатов осуществляли с использованием и статистической компьютерной программы Excel.

Результаты и обсуждение

Гидросфера Государственного природного заповедника «Карадагский» подвержена влиянию нескольких факторов, включающих изменение климата, геохимические особенности территории, связанные с существованием древнего вулкана, активный перенос макро- и микроэлементов с поверхности моря и локальное антропогенное влияние в местах близкого расположения водных источников к жилым домам. Результаты проведенного исследования указывали на отсутствие загрязнения гидросферы заповедника тяжелыми металлами и As, для многих из которых установленная концентрация оказалась ниже предела обнаружения (As, Hg, Sn, Cd).

Таблица

Элементный состав грунтовых вод Карадага

X	Места отбора пробы (см. рис.)					
	1	2	3	4	5	6
Ca*	300 ^a	40.23 ^b	48.83 ^b	29.08 ^c	107 ^d	174 ^e
K*	20.58 ^a	5.07 ^b	8.45 ^c	3.81 ^d	14.85 ^e	28.5 ^f
Mg*	103 ^a	3.27 ^b	8.26 ^c	3.95 ^b	8.05 ^c	83.29 ^a
Na*	246 ^a	186 ^b	97.02 ^c	63.56 ^d	12.45 ^e	215 ^{ab}
P*	<0.9 ^a	<0.9 ^a	3.42 ^b	1.82 ^{cd}	2.27 ^d	1.9 ^{bc}
B	570 ^a	480 ^a	235 ^b	520 ^a	80 ^c	510 ^a
Co	0.5	0.5	<0.39	<0.39	0.7	0.9
Fe	70 ^a	70 ^a	60 ^{ab}	<24 ^c	<24 ^c	50 ^b
I	10 ^a	10 ^a	8 ^a	20 ^b	10 ^a	8 ^a
Li	30 ^a	30 ^a	6 ^b	7.8 ^c	5 ^b	40 ^d
Mn	4 ^a	5 ^b	20 ^c	<3 ^d	5 ^b	5 ^b
Mo	0.7 ^a	4 ^b	2 ^c	2 ^c	0.5 ^d	<0.3 ^e
Se	0.363 ^a	0.346 ^a	0.740 ^b	0.093 ^c	0.109 ^c	0.340 ^a
Si	1870 ^a	1230 ^b	1020 ^b	1020 ^b	1110 ^b	1420 ^c
Al	<39 ^a	120 ^b	50 ^c	60 ^c	<39 ^a	40 ^a
Cu	3 ^a	5 ^b	2 ^c	3 ^a	6 ^b	20 ^d
Ni	9 ^a	3 ^b	3 ^b	<2.2 ^{5b}	6 ^c	10 ^a
Pb	0.4 ^a	1 ^c	0.7 ^b	0.4 ^a	0.6 ^b	0.9 ^c
Sr	2180 ^a	230 ^b	230 ^b	120 ^c	370 ^d	2390 ^a
V	0.1 ^a	6 ^b	4 ^c	2 ^d	<0.09 ^a	<0.09 ^a
Zn	40 ^a	40 ^a	20 ^b	19.5 ^b	30 ^c	210 ^d

Примечание: (мкг/л; *значения приведены в мг/л; значения в рядах с одинаковыми индексами статистически не различаются, $P > 0.05$).

Для остальных элементов выявлен высокий коэффициент вариации, превышающий 100% для Mg, Sr и V. Наиболее стабильные уровни были характерны для Si, I и Pb (19.2-19.9%).

Отличительной особенностью родников Карадага является необычно высокие уровни B, Li и Se, что может быть связано с вулканической деятельностью, для которой характерен значительный выброс этих элементов в окружающую среду [5]. Вариации в концентрации этих элементов в грунтовых водах, как правило, связаны с особенностями геологии местности. Известно, что высокие уровни бора в воде непосредственно связаны с уровнем минерализации [2], высокими значениями pH и интенсивностью за-

соления. Такое объяснение хорошо подходит для высоко минерализованной воды колодца Биостанции, родника у скалы Левинсона-Лессинга и скважины у подножья горы Медовая. Однако, родник Гяур-Чешме является исключением из этого правила, поскольку характеризуется низким уровнем минерализации.

Полученные результаты по содержанию лития в грунтовых водах Карадага находятся в хорошем соответствии с известными литературными данными о значительных обогащениях грунтовых вод литием на территории древних вулканов [3]. Уровень лития в родниках заповедника коррелировал с содержанием ионов натрия ($r=+0.91$) и общей величиной минерализации воды ($r=+0.94$).

Для Карадага типичным распределением селена в грунтовых водах является выраженный дефицит в центральной и северной части заповедника (родники Гяур-Чешме и Лягушка), значительное возрастание уровня микроэлемента в восточной части (родник в «Долине роз») и крайне близкие значения концентраций селена на юго-западе (колодец Биостанции, родник у скалы Левинсона-Лессинга и скважина у подножья горы Медовая) со средним значением 350 ± 9 нг/л. Выявленная взаимосвязь между содержанием селена и марганца в грунтовых водах Карадага ($r=0.87$; $P<0.01$) ранее не была описана ни для элементного состава грунтовых вод, ни для растений и, по-видимому, отражает специфические биогеохимические особенности Карадага.

Показательно, что содержание йода во всех образцах грунтовых вод было практически одинаковым, что находится в хорошем соответствии с данными о воздушном переносе йода с поверхности морей и океанов на десятки и сотни километров [4]. Среди галогенов уровень I коррелировал только с уровнями F ($r=0.83$; $P<0.01$), при этом связь с содержанием Se отсутствовала, что указывает на незначительный вклад в гидрологический режим заповедника атмосферного переноса этих элементов с поверхности моря.

Обращают внимание высокие коэффициенты корреляции между содержанием в грунтовых водах заповедника Si, Mg, Ca и Sr: 0.84 (:Si-Sr); 0.98 (Si-Mg); 0.88 (Si-Ca); 0.94 (Mg-Ca), 0.98 (Sr-Mg), 0.88 (Sr-Ca) ($P<0.01$).

Установлено интенсивное снижение уровня K (в 3.8 раз) и P (в 19.6 раз) в грунтовых водах заповедника в зимний период, что может быть связано с замедлением микробиологических процессов в холодное время года. Для B, Fe, V, Zn максимальные концентрации зафиксированы в ноябре.

Оценка минерального состава воды в родниках у скалы Левинсона-Лессинга и Гяур-Чешме выявила характерные временные изменения качества воды за прошедшие 30 лет с 1987 г [1]: возрастание уровня минерализации в 1.9 раз в первом случае и в 1.3 раза во втором при возрастании суммарного уровня ионов Na и K в первом случае в 7 раз и в 16 раз во втором и снижении концентрации Mg в 1.5-1.8 раз. Крайне интересным представляется факт резкого снижения уровня хлора в воде родника у скалы Левинсона-Лессинга (почти в 4 раза) и отсутствие изменения этого показателя для воды родника Гяур-Чешме. Интересно в связи с этим отметить, что при общем щелочном характере грунтовых вод Карадага за 30-летний период pH воды в родниках у скалы Левинсона-Лессинга и Гяур-Чешме повысился с 7.4 до 7.87 в первом случае и снизился с 8.0 до 7.63 во втором.

Заключение

Таким образом, проведенное исследование позволило впервые охарактеризовать элементный и химический состав грунтовых вод Государственного природного заповедника «Карадагский», выявить особенности географического распределения элементов в воде источников и установить специфические особенности минерального состава воды. Сравнение полученных данных с фрагментарными исследованиями 1987 года указывает на необходимость регулярного мониторинга компонентного состава грунтовых вод на территории заповедника.

Литература

1. Волошина Л. Г. Подземные воды. «Летопись природы 1987 г.» Карадагский государственный заповедник АН УССР. – Симферополь, 1991. – Т. IV. – Кн. I. – С. 11–12.
2. Bashkin V. B., Howarth R. W. Modern biogeochemistry. Springer science and Business media. – 2002.
3. Benson T. R., Coble M. A., Rytuba J. J., Mahood G. A. Lithium enrichment in intracontinental rhyolite magmas leads to Li deposits in caldera basins // Nature Commun. – 2017. – Vol. 8. – Article number: 270.
4. Carpenter L., MacDonald S. M., Shaw M., Plane J. M. C. Atmospheric iodine levels influenced by sea surface emissions of inorganic iodine // Nature Geosci. – 2013. – Vol. 6. – № 2. – P. 108–111. DOI: 10.1038/ngeo1687
5. Durocher N. L. Preliminary air pollution survey of boron and its compounds. A literature review prepared under Contract No. PH 22-68-25, Public Health Service, National Air Pollution Control Administration, U.S. Department of Health, Education and Welfare, Raleigh, NC, 1969. Cited In: Health Canada, 1990.

CHEMICAL AND ELEMENT COMPOSITION OF THE KARADAG NATURE RESERVE GROUNDWATER

V. A. Lapchenko, H. V. Lapchenko, N. A. Golubkina

Evaluation of chemical and element composition of the Karadag nature reserve groundwater was achieved for the first time. Significant amount of groundwater resources of Karadag demonstrated high levels of B (480-570 µg/L), Li (30-40 µg/L) and Na (215-246 µg/L), exceeding maximum allowable concentrations. The highest mineralization levels were demonstrated in the south-west of the territory. Se concentrations reached 730 ng/L in spring at the foot of Magnitny mountain range and did not exceed 93 ng/L in ground water of the central part of the reserve. Significant decrease of K and P in winter (3.8 and 19.6 times accordingly) and maximum accumulation levels of B, Fe, V и Zn in autumn was revealed. Comparison of the results with the data of 1987 revealed that during the last 30 years a significant increase in mineralization of groundwater and a decrease of Mg content took place.

Keywords: Karadag, groundwater, element composition, water quality.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ «ПОЧВА – РАСТЕНИЯ» В УРБООЦЕНОЗАХ НА ТЕРРИТОРИИ Г. ЯКУТСКА

Я. Б. Легостаева¹, Н. Е. Сивцева²

¹*Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН,
г. Якутск, Республика Саха (Якутия), Россия
e-mail: ylego@mail.ru*

²*Арктический научно-исследовательский центр Академии наук РС(Я),
г. Якутск, Республика Саха (Якутия), Россия
e-mail: sivnatalia81@mail.ru*

По данным исследования в растениях на территории г. Якутска происходит накопление В и Р, в хвое сосны- Мп и Zn, в листьях березы – высокое содержание цинка. Концентрация большинства валовых форм элементов увеличивается в системе: разно-

травье → листья березы → хвоя сосны, за исключением цинка, максимальное содержание которого выявлено в листьях березы. Наибольшей подвижностью обладают Ni, Co и Mn. Расчет коэффициента биологического накопления выявил отсутствие энергично накапливаемых элементов, к сильно накапливаемым относятся В, Р, Мо и Zn. В городских условиях растения аккумулируют значительно большее количество поллютантов, чем в пригородной зоне г. Якутска. Большую роль в этом играет запыленность и высокое исходное содержание элементов в городских почвах.

Ключевые слова: тяжелые металлы, почвы города, городская растительность, коэффициент подвижности, коэффициент биологического накопления.

Введение

Загрязнение почвенного покрова, в том числе и посредством накопления подвижных форм микроэлементов в верхних органогенных горизонтах, напрямую влияет на биогеохимический состав растительности территории города и прилегающих районов. Главный путь поступления микроэлементов в растения - это адсорбция корневой системой, механизм поглощения которой может носить как метаболический, так и неметаболический характер. Если растительность не дифференцировать по ботаническим таксонам, а рассматривать в целом растительный материал, то в большинстве случаев концентрация в почве микроэлементов положительно коррелирует с содержанием этих микроэлементов в растениях. На эту общеизвестную закономерность оказывают влияние ряд факторов, таких как тип почв, которому соответствуют определенные морфологические и физико-химические свойства, определяющие геохимические условия среды, вид растения и стадия его развития, степень воздействия внешних источников и т. д. Поэтому зависимость между содержанием микроэлементов в почвах и их поступлением в растения является сложной функцией и не всегда носит линейный характер. Исключения составляют безбарьерные растения и растения-концентраторы. Содержание микроэлементов в безбарьерных видах растет пропорционально содержанию в почве. В барьерных видах – имеется порог концентрации, выше которого растение прекращает поглощать элемент, несмотря на увеличение его содержания в среде [1]. Целью исследований является биогеохимическая характеристика системы почва-растения селитебной территории г. Якутска и его рекреационной зоны.

Методы

Объектами исследования послужили основные типы урбаноземов, отобранные на территории города Якутска и относительно ненарушенные почвы с пригородной зоны, с произрастающей на них растительностью. Основным критерием выбора площадок послужили наличие на них наиболее распространенных для г. Якутск древесных пород (береза повислая *Betula pendula* Roth, сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L.) и рудеральной растительности, преимущественно злаков, произрастающих на исследуемой территории. В качестве контроля (локальный фон) выбраны участки с аналогичными ландшафтными условиями, испытывающие минимальное антропогенное воздействие и расположенные на значительном (до 10 км) удалении от города.

За два года исследования (2017–2018 гг.) на территории города Якутска заложено 33 мониторинговые точки, из которых 6 площадок – в березовых и сосновых биотопах пригородной (ненарушенной) территории. Со всех площадок отобраны пробы почв (n=59) и растительности (n=60). У древесных растений отбирались образцы регенеративных органов – листьев и хвои. Деревья для отбора проб выбирались по возможности одновозрастные и здоровые. Помимо листьев берез и хвои сосны на исследуемых площадках отобраны пробы наземной части травянистых растений, преимущественно злаков. Во всех пробах растительности полуколичественным спектральным методом опре-

делен микроэлементный состав. В пробах почв проанализированы подвижные и валовые формы микроэлементов, валовые формы определены спектральным полуколичественным методом, подвижные формы определены атомно-абсорбционным методом на основе экстракции 1Н HNO₃.

Оценка уровня загрязнения почвенно-растительного покрова проводилась по показателям, разработанным при сопряженных биогеохимических исследованиях окружающей среды городов полиэлементного состава - коэффициент концентрации химического вещества (Kc) и суммарный показатель загрязнения почвенного покрова (Zc). Оценка степени подвижности элементов в почвах города Якутска была произведена на основе расчета коэффициента подвижности K_п [3]. Интенсивность поглощения биофильных элементов основана на расчете коэффициента биогеохимического поглощения (K_{КБП}), в оценке которой применена градация интенсивности накопления элементов по величине K_{КБН} [4].

Результаты и обсуждения

В почвах селитебной территории г. Якутска на макроэлементном уровне формирование профиля происходит в условиях постоянного антропогенного привноса и турбирования материала [2]. В результате наблюдается хаотичный характер распределения основных оксидов и отсутствие взаимосвязи между слоями даже в сохранившейся части природного почвенного профиля, где наиболее характерными признаками является: уменьшение общей мощности горизонтов и “спрессованность” оставшейся части профиля, переуплотнение, оглеение и присутствие карбонатов. В целом, накоплению элементов, в том числе тяжелых металлов, на территории г. Якутска способствует преимущественно слабо щелочная и щелочная реакция почвенных растворов (рН 6,9-9,4), в которых повышена роль сульфат- и хлор-ионов, а среди катионов преобладают кальций и натрий.

Концентрация микроэлементов в почвах березняков в целом превышает параметры локального фона до 2 раз (табл. 1). При этом коэффициенты концентрации относительно локального фона не высокие: Mn_{1,7}→V_{1,4}→P (Cr-Co-Ni)_{1,3}→Cu_{1,2}→Zn (Ti-Li)_{1,1}. Широкий микроэлементный спектр предопределен почвенными геохимическими условиями, сформированными в березовых биотопах: относительно высоким содержанием органики 1,4-7,8% масс., вариациями рН 5,8-7,9, преимущественно супесчаным гранулометрическим составом с содержанием физической глины в пределах 14-16%, что свидетельствует о высокой сорбционной способности почвенного материала. Низкие коэффициенты концентрации характеризуют природное состояние территорий опробования.

Таблица 1

Содержание валовых форм микроэлементов

Характеристика выборки	Валовое содержание микроэлементов (в пересчете на мг/кг)											
	Li	P	Ti	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Pb
Локальный фон (n=21)	38,8	504,2	3610,8	22,2	40,0	498,3	4,6	12,6	23,1	46,3	34,5	13,8
Почвы под березняками в природных биотопах, 2017 г. (n=6)	44,6	645,0	3872,9	30,9	51,3	884,9	6,2	16,3	28,0	49,9	30,0	11,4
Грунты городских зеленых насаждений, 2018 г. (n=34)	38,0	756,3	4411,0	37,47	64,16	590,55	5,76	19,18	23,92	104,39	81,86	28,42

В грунтах городских зеленых насаждений выявлено накопление девяти микроэлементов, обнаруживающих более высокую концентрацию по сравнению с почвами природных березовых биотопов: Be, P, Ti, V, Cr, Co, Ni, Zn, As, Pb. Элементами, проявляющими признаки технофильности и отличающими микроэлементный состав грунтов городских насаждений, являются Be, Ti, Zn, As, Pb.

Анализ подвижных форм микроэлементов определяет доступность их растениям, способность переходить из твердой фазы в почвенные и водные растворы (табл. 2). В грунтах городских насаждений в поверхностных слоях на глубину до 40 см происходит накопление Cu, Cd и Pb, что, по всей видимости, связано как с биогеохимическими особенностями почвенного органического вещества (Cd), с геохимической спецификой природных почв территории долины Туймаада (Cu), так и с влиянием автотранспорта (Pb).

Таблица 2

**Содержание подвижных форм микроэлементов
в грунтах зеленых насаждений на территории г. Якутска (по данным 2018 г.)**

Глубина отбора проб, см	Подвижные формы микроэлементов, мг/кг							
	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Региональный фон	0,2	0,05	1,95	2,11	9,39	2,51	3,36	5,88
0-20, n=15	0,42	0,38	1,40	2,07	4,86	0,52	2,01	20,35
20-40, n=8	0,43	0,42	1,57	2,37	6,17	3,04	0,81	15,61
40-60, n=8	0,48	0,49	1,89	2,88	7,08	3,77	1,00	24,36
60 -80, n=7	0,47	0,46	1,83	2,51	3,13	3,59	0,56	15,64

Отражением природных процессов миграции подвижных форм микроэлементов в почвенном профиле является увеличивающееся с глубиной содержание подвижных форм Zn, As и Cr, а также равномерное распределение по глубине Co и Ni.

По коэффициенту подвижности (Кп) проанализированные элементы можно расположить в следующие ряды:

- березовые насаждения на территории г. Якутска: Zn>Ni>Mn>Co;
- березняки пригородной зоны: Ni>Co>Zn>Mn>Pb;
- сосняки на территории г. Якутска: Co>Ni>Mn>Pb>Zn;
- сосняки пригородной зоны: Co>Ni>Zn>Pb>Mn.

Наибольшей подвижностью обладают Ni, Co и Mn. Цинк проявляет высокую активность в березняках, а в сосновых биогеоценозах подвижность его резко уменьшается. По мнению некоторых авторов [5] изменение подвижности тяжелых металлов и, в частности, Ni, Mn, Co – близкими по химическим свойствам элементами, объясняется прочными связями с компонентами ППК с образованием прочных комплексов с гуминовыми кислотами. В тоже время цинк связывается неспецифически и поэтому более подвижен.

В городских условиях растения характеризуются более значительным количеством поллютантов, чем в пригородной зоне, судя по повышенному значению зольности, немалую роль в этом процессе играет запыленность (табл. 3). Результаты исследования показали, что, в отличие от почв, растительность характеризуется отсутствием или очень низкими концентрациями (ниже предела обнаружения анализа) валовых соединений Li, Be, Sc, Ge и Y. Отмечены закономерно высокие концентрации валовых форм В и Р. Хвоя сосны отличается повышенным содержанием Mn и Zn, а листья березы – высокой концентрацией только Zn.

Содержание валовых форм элементов в пробах растительных тканей, отобранных на территории города, повышено относительно их аналогов, характеризующих биопро-

бы пригородной зоны. Тренд увеличения прослеживается в системе: наземная часть разнотравья → листья березы → хвоя сосны, за исключением цинка.

Таблица 3

**Среднее содержание валовых форм микроэлементов
в вегетативных органах растений**

Характер проб		Валовое содержание микроэлементов, мг/кг								Зольность, %
		B	P	Ti	Cr	Mn	Cu	Zn	Pb	
Наземная часть разнотравья	территория города	35	1755	620	7	71	20	26	4	9,8
	пригородная зона	21	1475	606	3	47	10	23	1	6,9
Листья березы	территория города	90	1683	996	14	268	20	120	7	8,3
	пригородная зона	78	1190	1029	3	848	18	93	2	6,4
Хвоя сосны	территория города	100	2621	705	21	1310	20	70	8	2,8
	пригородная зона	91	1861	1385	9	1414	12	70	3	2,3

Расчет коэффициента биологического накопления выявил отсутствие энергично накапливаемых элементов, к сильно накапливаемым относятся B, P, Mo и Zn ($K_{\text{КБН}}=1,25$). Слабой силой накопления характеризуются Ti, V, Cr, Mn, Ni, Cu, Co, Zn, Ga, Nb, Mo и Ag. В силу того, что в листьях березы $K_{\text{КБН}}$ выше, чем в разнотравье, в листьях наблюдается слабое накопление Ni, Sn и Pb. Слабый захват выявлен для ванадия в листьях и в наземной части разнотравья. А вот аккумуляция Ni, Sn и Pb характерна только для разнотравья.

Заключение

В ландшафтно-климатических условиях Центральной Якутии растения слабо защищают поверхность почвы, которая легко становится достоянием ветра. В городских условиях ветер, перенося огромные массы глинистых, пылеватых и песчаных частиц, способствует разрастанию ареалов загрязнения. Вещества-загрязнители, переходя в труднорастворимые формы, могут накапливаться в почвенном слое многие годы. Следовательно, помимо прямого воздействия на почвенный и растительный покров в результате разрастания площади селитебной территории г. Якутск, аэрального пресса, влияния поверхностного и грунтового стоков, почва является не только депонирующей средой, но и вторичным источником загрязнения для сопредельных сред, в том числе для растительности.

Литература

1. Ивлев А. М. Биогеохимия. – М.: Высш. школа, 1986.
2. Легостаева Я. Б., Сивцева Н. Е., Ксенофонтова М. И. Эколого-геохимическая специфика формирования урбоэкосистем. Прикладные экологические проблемы г. Якутска: Сб. науч. тр. – Новосибирск: Наука, 2017. – С. 55–64.
3. Мажайский Ю. А., Торбатов С. А., Дубенок Н. Н. Агроэкология техногенно загрязненных ландшафтов. – Смоленск, 2003.
4. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. – М.: «Астрей-2000», 1999.

5. Уфимцева М. Д., Терехина Н. В. Фитоиндикация экологического состояния урбогеосистем Санкт-Петербурга. – СПб.: Наука, 2005.

BIOGEOCHEMICAL CONDITIONS OF FORMATION OF THE SYSTEM SOIL-PLANTS IN URBOCENOSSES ON THE TERRITORY OF YAKUTSK

Y. B. Legostaeva, N. E. Sivtseva

In the landscape and climatic conditions of Central Yakutia, plants weakly protect the surface of the soil, which easily becomes the property of the wind. In urban conditions, the wind, carrying huge masses of clay, dusty and sandy particles, contributes to the growth of pollution areas. Substances-pollutants, go into insoluble forms, can accumulate in the soil layer for many years. Therefore, in addition to the direct impact on the soil and vegetation as a result of the expansion of the area of residential territory of the city. Yakutsk, the air press, the influence of surface and ground runoff, the soil is not only a depositing medium, but also a secondary source of pollution for adjacent environments, including vegetation.

Keywords: heavy metals, city soils, urban vegetation, mobility coefficient, biological accumulation coefficient.

ОЦЕНКА БИОАККУМУЛЯЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В МАКРОФИТНЫХ ОЗЕРАХ РАЗНЫХ ЛАНДШАФТНЫХ ЗОН ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Г. А. Леонова, А. Е. Мальцев

Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН,

г. Новосибирск, Россия

e-mail: leonova@igm.nsc.ru

Дана сравнительная количественная оценка биоаккумуляции химических элементов погруженными и полупогруженными макрофитами двух озер, расположенных в разных ландшафтных зонах юга Западной Сибири (лесной и лесостепной) с использованием критерия, предложенного Л. Л. Деминой – биоаккумуляционного потенциала элементов [1]. Данный критерий рассчитывается на основе среднего содержания химических элементов в доминирующих биосообществах и значения их биомассы на единице площади биотопа.

Ключевые слова: биоаккумуляция, макрофиты, биомасса, химические элементы, макрофитные озера

Введение

Многие озера юга Западной Сибири относятся к *продукционно-макрофитному типу озерных экосистем*, в которых погруженным макрофитам принадлежит главная, а фитопланктону второстепенная роль при осуществлении единого внутриводоемного процесса синтеза органического вещества, согласно классификации Т. Н. Покровской с соавторами [7]. Макрофитные озера, как правило, мелководны, зарастают погруженной растительностью по всей площади дна. В своем естественном состоянии, т.е. не

подвергающиеся антропогенному эвтрофированию, эти озера никогда не «цветут» и отличаются значительной прозрачностью воды, так как фитопланктона в них мало. По морфологической классификации Н. В. Савченко [8] озера относятся к литоральному типу (глубина в оз. Большие Тороки в 2012 г. была – 0,50 м, оз. Минзелинское – 0,35 м).

Объекты и методы

Объектами исследования стали два макрофитных озера – Большие Тороки и Минзелинское, в которых в настоящее время формируется макрофитогенный сапропель [3, 5]. Оз. Минзелинское расположено в лесной ландшафтной зоне на древней надпойменной террасе левого берега р. Оби (55° 32' с.ш.; 83° 14' в.д.), оз. Большие Тороки – в лесостепной ландшафтной зоне (55° 23' с.ш.; 80° 37' в.д.) юга Западной Сибири. Наиболее заросшим является оз. Большие Тороки (до 75% площади). В прибрежной зоне доминируют полупогруженные макрофиты – тростник обыкновенный (*Phragmites australis*), рогоз широколистный (*Typha latifolia*), на акватории – уруть сибирская (*Myriophyllum sibiricum*), а нитчатая водоросль кладофора (*Cladophora glomerata*) покрывает стебли и листья водных растений и образует большие скопления на поверхности воды [2]. В оз. Минзелинское из полупогруженных макрофитов также доминируют тростник обыкновенный и рогоз широколистный, на акватории – гидрофиты плавающие – телорез алоэвидный (*Stratiotes aloides*), гидриллы мутовчатая (*Hydrilla verticillata*), водокрас лягушачий (*Hydrocharis morsus-ranae*) [2]. В зависимости от ландшафтных условий минерализация воды изменяется от пресных (227 мг/л) в оз. Минзелинское до солоноватых (1081 мг/л) в оз. Большие Тороки, а классы химизма воды – от гидрокарбонатного к гидрокарбонатно-хлоридному соответственно [4].

Для сравнительной количественной оценки интенсивности биоаккумуляции микроэлементов макрофитами в исследованных озерах использован новый критерий – биоаккумуляционный потенциал элементов по [1]. Он рассчитывается на основе среднего содержания микроэлементов в доминирующих биосообществах и значения их биомассы на единице площади биотопа. Значения биомассы погруженных и надземных органов полупогруженных макрофитов в исследованных озерах взяты из публикации [2], соотношение надземных и подземных органов *Phragmites australis* и *Typha latifolia* – из монографии [6].

Результаты

Сопоставление биоаккумуляционных потенциалов химических элементов в оз. Большие Тороки (таблица) позволяет построить следующие ряды:

Na > Mg > Ca > K > Al > Fe > Mn > Zn > Cu, Pb > As > Sb > Co > Cd > Hg (для погруженного макрофита *Myriophyllum sibiricum*);

Ca > K > Na > Mg > Al, Fe > Mn > Zn > Cu > As > Pb > Co > Sb > Cd > Hg (для нитчатой водоросли *Cladophora glomerata*);

K > Na > Ca > Mg > Fe > Al > Mn > Zn > As > Cu > Co, Pb > Sb > Hg > Cd (для надземных и подземных органов полупогруженных макрофитов – *Phragmites australis*, *Typha latifolia*).

Сопоставление биоаккумуляционных потенциалов элементов в оз. Минзелинское (таблицу не приводим в тексте) позволяет построить следующие ряды:

Ca > Na > Mg > K > Fe > Al > Mn > Zn > As > Cu > Sb, Pb > Co > Hg > Cd (для погруженных макрофитов – *Hydrilla verticillata*, *Stratiotes aloides*, *Hydrocharis morsus-ranae*);

K > Ca > Na > Mg > Fe > Mn > Al > Zn > As > Sb, Cu > Co, Pb > Hg > Cd (для надземных и подземных органов полупогруженных макрофитов – *P. australis*, *T. latifolia*).

Наблюдается сходство в порядке убывания биоаккумуляционного потенциала элементов в погруженных и полупогруженных макрофитах двух исследованных озер, расположенных в геохимически разных ландшафтных зонах. Наибольшие значения БП

установлены для макроэлементов – К, Са, Na и Mg, что в целом объясняется их более высокими кларками, по сравнению с таковыми для микроэлементов, наименьшие значения БП – для Hg, Cd, Pb.

Таблица

**Сравнение биоаккумуляционных потенциалов элементов
(БП, мг/м² площади биотопа) погруженных, полупогруженных макрофитов
и нитчатой водоросли *Cladophora glomerata* в оз. Большие Тороки
(* – надземные, ** – подземные органы)**

Элемент	Доминирующие виды	Сред. сод. (мг/кг сух. в.)	БП, мг/м ²	БП, мг/м ² /год
Na	<i>Myriophyllum sibiricum</i>	15200	973	1167
	<i>Cladophora glomerata</i>	8700	3341	4009
	<i>Phragmites australis</i> , */**	1300/5200	1789/12334	2147/14801
	<i>Typha latifolia</i> , */**	22100/27400	30409/22851	36491/27421
	Σ (в полупогруженных)		32198/35185	3864/42222
Mg	<i>Myriophyllum sibiricum</i>	12400	794	953
	<i>Cladophora glomerata</i>	8600	3302	3962
	<i>Phragmites australis</i> , */**	2700/1500	3715/3558	4458/4269
	<i>Typha latifolia</i> , */**	8500/4000	11696/3336	14035/4003
	Σ (в полупогруженных)		15411/6894	18493/8272
Al	<i>Myriophyllum sibiricum</i>	1300	83	99
	<i>Cladophora glomerata</i>	1100	422	506
	<i>Phragmites australis</i> , */**	47/170	65/403	78/484
	<i>Typha latifolia</i> , */**	110/570	151/475	181/570
	Σ (в полупогруженных)		216/878	259/1054
K	<i>Myriophyllum sibiricum</i>	6500	416	499
	<i>Cladophora glomerata</i>	12900	4954	5945
	<i>Phragmites australis</i> , */**	11200/8800	15411/20873	18493/25047
	<i>Typha latifolia</i> , */**	23500/21500	32336/17931	38803/21517
	Σ (в полупогруженных)		47747/38804	57296/46564
Ca	<i>Myriophyllum sibiricum</i>	12000	768	922
	<i>Cladophora glomerata</i>	28000	10752	12902
	<i>Phragmites australis</i> , */**	6100/2500	8393/5930	10072/7116
	<i>Typha latifolia</i> , */**	6700/2500	9219/2085	11063/2502
	Σ (в полупогруженных)		17612/8015	21135/9618
Mn	<i>Myriophyllum sibiricum</i>	240	15	18
	<i>Cladophora glomerata</i>	416	160	192
	<i>Phragmites australis</i> , */**	154/103	212/244	254/293
	<i>Typha latifolia</i> , */**	157/47	216/39	259/47
	Σ (в полупогруженных)		428/283	513/340
Fe	<i>Myriophyllum sibiricum</i>	1100	70	84
	<i>Cladophora glomerata</i>	1100	422	506
	<i>Phragmites australis</i> , */**	170/180	234/427	281/512
	<i>Typha latifolia</i> , */**	95/900	130/750	156/900
	Σ (в полупогруженных)		364/1177	437/1412
Co	<i>Myriophyllum sibiricum</i>	0.3	0.02	0.02
	<i>Cladophora glomerata</i>	0.6	0.23	0.27
	<i>Phragmites australis</i> , */**	0.5/0.3	0.69/0.71	0.83/0.85
	<i>Typha latifolia</i> , */**	0.1/0.1	0.14/0.08	0.17/0.09
	Σ (в полупогруженных)		0.83/0.79	1.0/0.94
Cu	<i>Myriophyllum sibiricum</i>	1.9	0.12	0.14
	<i>Cladophora glomerata</i>	4.3	1.6	1.9
	<i>Phragmites australis</i> , */**	3.2/2.4	4.4/5.7	5.3/6.8
	<i>Typha latifolia</i> , */**	2.4/2.7	3.3/2.3	3.9/2.8
	Σ (в полупогруженных)		7.7/8.0	9.2/9.6

Zn	<i>Myriophyllum sibiricum</i> <i>Cladophora glomerata</i> <i>Phragmites australis</i> , */** <i>Typha latifolia</i> , */** Σ (в полупогруженных)	18 56 49/17 14/23	1.0 22 67/40 20/20 87/60	1.2 26 80/48 24/24 104/72
As	<i>Myriophyllum sibiricum</i> <i>Cladophora glomerata</i> <i>Phragmites australis</i> , */** <i>Typha latifolia</i> , */** Σ (в полупогруженных)	3.2 2.4 2.7/5.8 1.0/4.6	0.20 0.92 3.7/13.7 1.4/3.8 5.1/17.5	0.24 1.1 4.4/16.4 1.7/4.5 6.1/21
Cd	<i>Myriophyllum sibiricum</i> <i>Cladophora glomerata</i> <i>Phragmites australis</i> , */** <i>Typha latifolia</i> , */** Σ (в полупогруженных)	0.023 0.030 0.007/0.012 0.006/0.025	0.002 0.012 0.009/0.028 0.008/0.021 0.017/0.049	0.002 0.014 0.011/0.033 0.009/0.025 0.02/0.058
Sb	<i>Myriophyllum sibiricum</i> <i>Cladophora glomerata</i> <i>Phragmites australis</i> , */** <i>Typha latifolia</i> , */** Σ (в полупогруженных)	0.70 0.50 0.20/0.23 0.21/0.40	0.045 0.019 0.27/0.54 0.29/0.33 0.56/0.87	0.054 0.023 0.32/0.65 0.35/0.39 0.67/1.0
Hg	<i>Myriophyllum sibiricum</i> <i>Cladophora glomerata</i> <i>Phragmites australis</i> , */** <i>Typha latifolia</i> , */** Σ (в полупогруженных)	0.021 0.019 0.006/0.017 0.009/0.021	0.0013 0.0073 0.008/0.04 0.012/0.018 0.02/0.06	0.0015 0.0087 0.009/0.05 0.014/0.022 0.02/0.07
Pb	<i>Myriophyllum sibiricum</i> <i>Cladophora glomerata</i> <i>Phragmites australis</i> , */** <i>Typha latifolia</i> , */** Σ (в полупогруженных)	2.7 9.7 0.17/0.18 0.28/0.11	0.17 0.72 0.23/0.43 0.39/0.55 0.62/0.98	0.20 0.86 0.27/0.52 0.47/0.66 0.74/1.2

Заключение

Таким образом, основная причина различий биоаккумуляционного потенциала элементов в биоценозах разных озер заключается не столько в различии средних содержаний химических элементов в доминирующих биосообществах, сколько в различии биомасс доминирующих макрофитов на 1 м² площади биотопов. Отсутствие данных по площади зарастания (%) доминирующих видов погруженных макрофитов на акватории озер и полупогруженных макрофитов в литорали не позволило авторам провести расчеты суммарного поступления элементов в составе водных растений на всю площадь донных отложений исследованных озер.

Работа выполнена в рамках государственного задания – проект № 0330-2016-0011, при финансовой поддержке грантов РФФИ № 18-35-00072 мол_а. 19-05-00403_а

Литература

1. Демина Л. Л. Количественная оценка роли живого вещества в геохимической миграции микроэлементов в океане // Геохимия. – 2015. – № 3. – С. 234–251.
2. Зарубина Е.Ю. 2013. Первичная продукция макрофитов трех разнотипных сапропелевых озер юга Западной Сибири (в пределах Новосибирской области) в 2012 году // Мир науки, культуры и образования. – 2013. – № 5 (42). – С. 441–444.

3. Леонова Г. А., Мальцев А. Е., Бобров В. А., Кривоногов С. К., Богуш А. А., Тихова В. Д. Биогеохимические особенности формирования сапропелей с различным генезисом органического вещества – планктонным и макрофитовым (на примере озер Сибирского региона) // Осадочные бассейны, седиментационные и постседиментационные процессы в геологической истории: материалы VII Всероссийского литологического совещания. – Т. 2. – Новосибирск: Изд-во ИНГГ СО РАН, 2013. – С. 171–175.

4. Леонова Г. А., Мальцев А. Е., Кривоногов С. К. Зональные особенности химического состава озерных и болотных вод юга Западной Сибири и Прибайкалья (на примере типовых сапропелевых озер и верховых болот) // Водные ресурсы России: состояние и управление: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Новочеркасск: Лик, 2018. – Т. 2. – С. 274–282.

5. Мальцев А. Е., Леонова Г. А., Бобров В. А., Кривоногов С. К. Геохимические особенности голоценового разреза сапропеля озера Минзелинское (Западная Сибирь) // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 325. – № 1. – С. 83–93.

6. Папченков В. Г. Растительный покров водоемов и водотоков Среднего Поволжья. – Ярославль: ЦМП МУБиНТ, 2001.

7. Покровская Т. Н., Миронова Н. Я., Шилькрот Г. С. Макрофитные озера и их евтрофирование. – М.: Наука, 1983.

8. Савченко Н. В. Озера южных равнин Западной Сибири. – Новосибирск, 1997.

ASSESSMENT OF BIOACCUMULATION POTENTIAL OF CHEMICAL ELEMENTS IN MACROPHITE LAKES OF DIFFERENT LANDSCAPE ZONES IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

G. A. Leonova, A. E. Maltsev

A comparative quantitative assessment of the bioaccumulation of chemical elements by submerged and semi-submerged macrophytes of two lakes located in different landscape zones of the south of Western Siberia (forest and forest-steppe) is given using the criteria proposed by L.L. Demina (2015) – bioaccumulation potential of elements. This criterion is calculated on the basis of the average content of chemical elements in the dominant biocommunities and the value of their biomass per unit area of the biotope.

Keywords: bioaccumulation, macrophytes, biomass, chemical elements, macrophyte lakes.

БИОАККУМУЛЯЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ КОМПОНЕНТАМИ АНТРОПОГЕННО НАРУШЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ ЛЕСОСТЕПНОЙ ЗОНЫ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Г. А. Леонова¹, А. Е. Мальцев¹, Ю. И. Прейс², С. Б. Заякина¹, В. А. Бобров¹

¹*Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,*

г. Новосибирск, Россия,

e-mail: leonova@igm.nsc.ru

²*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,*

г. Томск, Россия,

e-mail: preisyui@rambler.ru

Примененный комплекс геохимических критериев (коэффициенты концентрации, формула геохимической ассоциации) показывает, что компоненты экосистемы Убинского горелого верхового болота (лесная подстилка, дерновая почва, «сквозные» инди-

каторные биообъекты) интенсивно накапливают халькофильные элементы (активные воздушные мигранты – Pb, Hg, Cd, Sb, Cu, Zn). Накопление этих элементов компонентами болотной экосистемы может являться следствием частых пожаров, вызванных антропогенным воздействием (осушение болот).

Ключевые слова: верховое болото, голоценовые разрезы торфяников, индикаторные биообъекты, фоновый уровень элементов, геохимические критерии загрязнения.

Введение

Верховые сосново-кустарничково-сфагновые болота (рямы) лесостепной зоны юга Западной Сибири являются наиболее уязвимыми, так как располагаются на южной границе ареала распространения верховых болот, где испытывают наибольшее влияние изменения климата и антропогенного воздействия. В современных условиях возникла реальная угроза потери этих уникальных реликтовых комплексов болотных экосистем из-за изменения их растительного покрова, трансформации торфяной залежи и возросшего антропогенного воздействия. Широкомасштабная мелиорация (осушение) верховых болот Барабинской лесостепи вызвала их обсыхание, следствием чего стали частые пожары, о чем свидетельствует анализ снимков в системе Google Earth данной территории и рекогносцировочные работы на местности [1].

Объекты и методы

Выбраны наиболее показательные ключевые участки Убинского горелого и Шерстобитовского верховых болот Барабинской лесостепи, находящиеся в естественном состоянии и антропогенно нарушенные, имеющие признаки влияния мелиорации и пожаров. В сентябре 2017 г. торфяным буром БТГ-1 отобраны керны с ненарушенной стратификацией торфяной залежи Убинского горелого (55°19' с.ш., 79°42' в.д.) и Шерстобитовского рямов (54°58' с.ш., 81°0' в.д.) длиной 4 и 3 метра соответственно.

Оценку степени концентрирования химических элементов в компонентах болотных экосистем на участках, пройденных пожарами, проводили путем сравнения концентраций элементов на фоновых (прилегающих к пожарному участку территориях) и выгоревших площадях, согласно [2]. Отбор проб на выгоревшем и фоновом участках проводили в 5 точках по линии трансекты. Анализ валовых концентраций элементов в образцах торфа и биообъектах проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии в Центре коллективного пользования многоэлементных и изотопных исследований СО РАН. Определение Hg проведено методом холодного пара с амальгамацией на золотом сорбенте. Возраст торфяных толщ датирован радиоуглеродным методом (^{14}C) в радиоуглеродной лаборатории Центра коллективного пользования СО РАН.

Оценка экологического состояния болотных экосистем проведена по следующим геохимическим критериям [4]:

1. *Коэффициент концентрации* (K_c) – характеризует степень концентрирования элемента в компонентах природной среды в зоне загрязнения относительно его фонового содержания:

$$K_c = (C_i) / (C_{\text{ф}}),$$

где C_i – концентрация i -го химического элемента в зоне загрязнения; $C_{\text{ф}}$ – фоновое содержание этого элемента.

2. *Формула геохимической ассоциации* (ФГА) – характеризует качественный (элементный состав) и структуру геохимической аномалии (состав техногенного загрязнения) и представляет собой упорядоченную по значениям K_c совокупность (ранжированный ряд) химических элементов в природном объекте. ФГА изображается, например, так: $\text{Hg}_{150}\text{--Cd}_{110}\text{--Ag}_{78}\text{--As}_{51}\text{--Zn}_{23}\text{--Pb}_{11}\text{--Sb}_5$, где цифровые индексы около символов химических элементов представляют их коэффициенты концентрации (K_c).

Результаты

Исследованы стратиграфия и особенности распределения химических элементов в вертикальных профилях Убинского горелого и Шерстобитовского торфяников, возраст которых по данным радиоуглеродного датирования (по ^{14}C) оценивается в 4,5–5,5 тыс. лет (средний голоцен). Верхние интервалы кернов торфяников характеризуются повышенными концентрациями Hg, Pb, Cd, Sb, Cu и Zn (активных воздушных мигрантов, образующих летучие соединения), что связано с антропогенной нагрузкой в XX и XXI веках (рис. 1). Разрезы торфяников характеризуются увеличением содержания Ca и Sr в средних и нижних интервалах кернов, что, по-видимому, является следствием изменения водного режима и обводненности верховых болот на разных этапах их развития. Установлены пиковые (локальные) увеличения концентраций Ag и Au в торфе в 10–20-сантиметровых интервалах по всему разрезу торфяников [3]. Данные атомно-эмиссионного спектрального анализа (аналитики д.т.н. С.Б. Заякина, асп. А.В. Шавекин) показали, что в разрезах Убинского горелого и Шерстобитовского торфяников присутствуют благородные металлы (Ag и Au) в самородной форме в виде наночастиц и в виде их соединений с медью и цинком (рис.2).

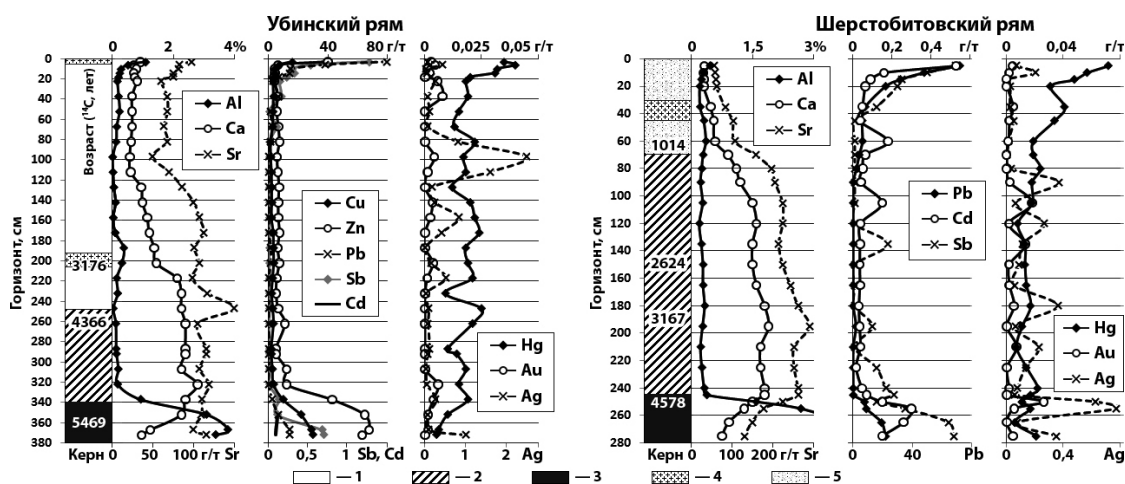


Рис. 1. Стратиграфия, возраст и распределение химических элементов по разрезам торфяников: 1 – *Sphagnum fuscum*; 2 – *Sphagnum teres* и разнотравье; 3 – органо-минеральные отложения; 4 – древесные остатки; 5 – *Sphagnum magellanicum*

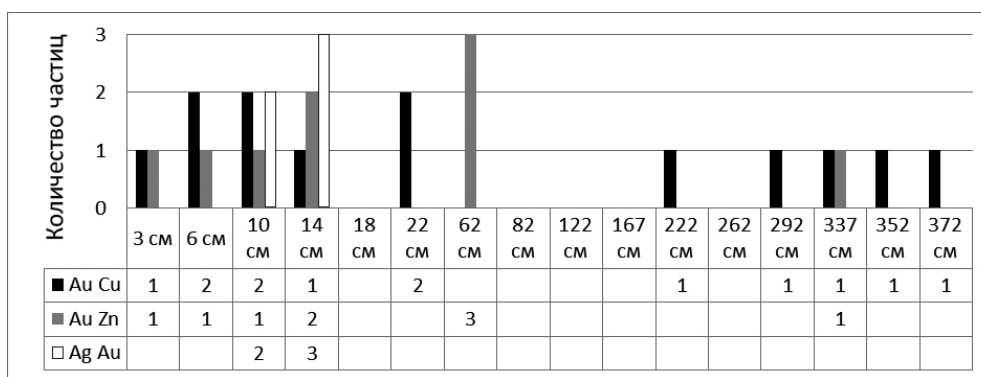


Рис. 2. Распределение минеральных форм Au в вертикальном профиле Убинского верхового торфяника

Рассчитаны коэффициенты концентрации (K_c) для 20 химических элементов в компонентах экосистемы Убинского горелого рям (табл. 1, рис. 3).

Таблица 1

**Коэффициенты концентрации элементов
в компонентах экосистемы Убинского горелого рья**

Объекты	Fe	Al	Mg	K	Na	Mn	Ba	Sr	Zn	Co
Мох	4,5	5,7	1,2	0,9	4,3	1,0	2,1	2,3	4,5	3,2
Лист брусники	1,6	1,2	1,2	1,3	0,9	1,3	1,2	1,4	1,6	1,0
Лист березы	0,6	0,4	1,0	1,5	0,9	1,1	0,7	0,9	0,6	3,7
Подстилка	3,6	1,7	1,3	1,9	1,7	1,8	2,6	2,1	3,6	4,5
Почва	0,9	1,0	0,8	2,3	1,0	0,6	1,1	1,0	0,9	0,9
	Hg	Ni	Cu	Pb	Cr	V	Li	Cd	Sb	Be
Мох	3,4	3,8	2,5	24,0	3,7	4,5	4,0	1,3	3,1	5,7
Лист брусники	0,5	0,8	1,2	1,3	1,0	1,0	1,6	1,9	0,2	1,0
Лист березы	1,0	1,1	1,2	1,0	1,0	1,0	0,7	0,8	0,1	1,0
Подстилка	1,8	3,7	2,3	3,2	2,9	17	3,0	2,1	4,7	1,8
Почва	1,6	1,3	1,0	4,2	0,9	0,9	1,0	0,8	1,0	0,9

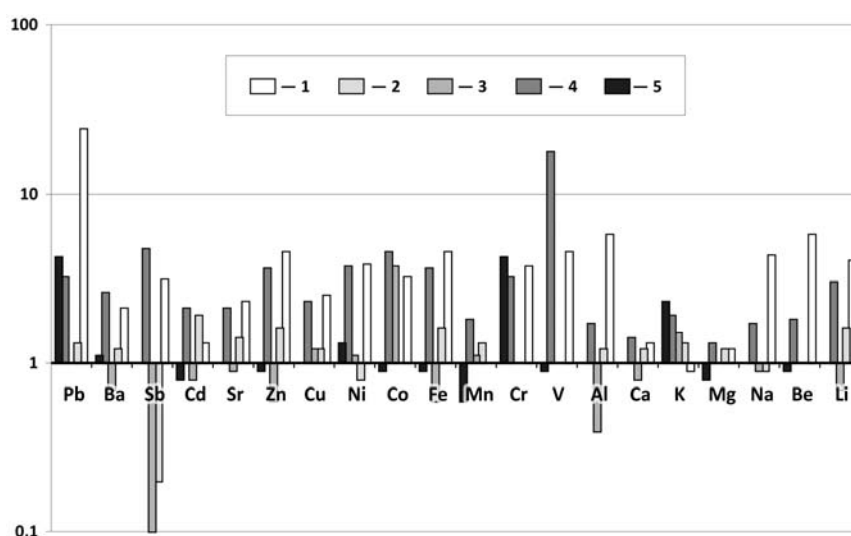


Рис. 3. Коэффициенты концентрации химических элементов (K_c) в компонентах экосистемы Убинского горелого верхового болота: 1 – мох *Politrichum strictum*; 2 – листья брусники; 3 – листья березы; 4 – лесная подстилка; 5 – верхний горизонт почвы

Используя полученные коэффициенты концентрации (K_c) были построены упорядоченные по значениям K_c совокупности (ранжированные ряды) химических элементов – геохимические ассоциации (ФГА) в «сквозных» индикаторных биообъектах (мох, листья брусники и березы), лесной подстилке и верхнем горизонте почвы.

Мох *Politrichum strictum*

$Pb_{24} > (Al, Be)_6 > (Fe, V)_5 > (Na, Li, Ni, Cr)_4 > (Co, Sb, Cu, Hg)_3 > (Sr, Ba)_2$.

Лесная подстилка

$V_{17} > (Sb, Co)_5 > (Ni, Fe)_4 > (Pb, Li, Cr, Ba)_3 > Cu_{2,5}$.

Дерновая почва (верхний горизонт)

$Pb_4 > (K, Hg)_2$.

Для листьев брусничника и березы K_c не превышают фоновых концентраций всех химических элементов и близки к 1.

Заключение

Сравнительный анализ значений K_c показывает, что во всех компонентах экосистемы Убинского горелого рья интенсивно накапливаются халькофильные элементы –

активные воздушные мигранты Pb, Hg, Cd, Sb, Cu, Zn. Накопление этих элементов компонентами болотной экосистемы может являться следствием частых пожаров, вызванных антропогенным воздействием (осушение болот).

Работа выполнена в рамках государственного задания – проект № 0330-2016-0011, при финансовой поддержке гранта РФФИ № 17-45-540063 p_a.

Литература

1. Наумов А. В., Косых Н. П., Паршина Е. К., Артымук С. Ю. Верховые болота лесостепной зоны, их состояние и мониторинг // Сибирский экологический журнал. – 2009. – Т. 16. – № 2. – С. 251–259.
2. Журкова И. С., Щербов Б. Л. Миграция химических элементов при лесном низовом пожаре (Алтайский край) // Известия Иркутского государственного университета. Сер. «Науки о Земле». – 2016. – Т. 16. – С. 30–41.
3. Леонова Г. А., Мальцев А. Е., Бадмаева Ж. О., Шавекин А. С., Рубанов М. В., Прейс Ю. И. Геоэкологическая оценка степени антропогенного загрязнения тяжелыми металлами экосистем верховых болот лесостепной зоны Западной Сибири // Экология промышленного производства. – 2018. – Вып. 2 (102). – С. 64–73.
4. Саэт Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990.

BIOACCUMULATION OF CHEMICAL ELEMENTS BY COMPONENTS OF ANTHROPOGENICALLY DISTURBED ECOSYSTEMS OF THE TOP BORTS OF WOOD-STEPPE ZONE IN THE SOUTH OF WESTERN SIBERIA

G. A. Leonova, A. E. Maltsev, Y. I. Preis, S. B. Zayakina, V. A. Bobrov

The applied complex of geochemical criteria (concentration factors, the formula of the geochemical association) shows that the ecosystem components of the Ubinsky burned high bog (forest floor, sod soil, “through” indicator biological objects) intensively accumulate chalcophilic elements (active air migrants – Pb, Hg, Cd, Sb, Cu, Zn). The accumulation of these elements by the components of a wetland ecosystem can be the result of frequent fires caused by anthropogenic impact (drainage of wetlands).

Keywords: high moor, holocene peat sections, indicator biological objects, background level of elements, geochemical pollution criteria.

CREATION OF A BIOSORBENT FOR HEAVY METALS AS A PERSPECTIVE WAY OF PROCESSING THE DEFECATE OF BEET SUGAR PRODUCTION

**L. P. Loseva¹, ²Doina Humelnicu, ²Ionel Humelnicu, T. K. Krupskay¹,
S. S. Anyfrik¹, Maria Ignat², Olga Laminski-Anufryk¹**

¹*Yanka Kupala State University of Grodno, Grodno, Belarus,
e-mail: spirulina1945@gmail.com*

²*«Alexandru Ioan Cuza» University of Iasi, Romania,
e-mail: doinah@uaic.ro*

Sugar industry is one of the priority directions of the social and economic development of the Republic of Belarus, providing food security of the country, contributing to the development of agricultural production. The use of biological materials as biosorbents for the toxic metal removal is one of the most recent developments in environmental technology.

Keywords: environmental safety, heavy metals, sugar beet production defecate.

Introduction

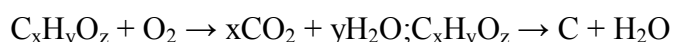
Sugar industry is one of the priority directions of the social and economic development of the Republic of Belarus, providing food security of the country, contributing to the development of agricultural production. Defecate (the secondary product of sugar beet and raw sugar production) is a product valuable on its chemical and consumer properties. In the earlier period it was removed from sugar factories to filtration fields in the form of a mud suspension and was known as "a filtrational mud". Currently, only a small proportion of a defecate is used in the agricultural sphere for soil mineralization, however, most of it is stored in industrial sites or filtration fields as unclaimed wastes. According to approximate calculations, more than 120 hectares of land are alienated for the storage of a defecate in industrial sites at each plant. When storing a defecate on landfills, environmental pollution occurs. As it is known, carbon sorbents are widely used for wastewater treatment. However, they have a number of disadvantages: the need for regeneration and utilization, high cost, the unsustainable use of natural resources (deforestation). The carbon-containing sorbent obtained from a defecate, of course, may have lower sorption properties compared to generally recognized carbon sorbents. However, despite this, its production and use has a number of advantages: low cost, the conservation of natural resources, no need to regenerate the spent defecate. The conventional processes used for effluent treatment are precipitation as hydroxides/sulphides, oxidation/reduction, ion exchange, and adsorption. These processes are expensive and the major disadvantage is the production of sludge. Due to this problem interest in search of alternative sorbents increased. Attention has dedicated to the different natural material supports that are able to decontaminate the effluents at low cost.

The use of biological materials as biosorbents for the toxic metal removal is one of the most recent developments in environmental technology. The use of agricultural by-products for purification of wastewaters has a number of advantages: high availability; cost-efficient technology; rapid kinetics of metal recovery; removal of metal ions, which are present in water even in low concentrations; use of renewable biomaterials, as well as the possibility of complex industrial effluents purification [1-4].

Methods

Preparation, division on fractions, heat treatment of selected samples at temperatures 100°, 260°, 600°C. There are formed two types of solid wastes – a pulp and filtration sediment (defecate) – in the production of sugar from sugar beet. Currently, only a small proportion of a defecate is used in the agricultural sphere for soil mineralization, but its most part is stored in industrial sites or filtration fields as an unclaimed waste. According to approximate

calculations, at each plant more than 120 hectares of land are allocated for defecate storage in industrial sites. The scientific hypothesis of this work is an assumption that it is possible to turn defecate into a sorption material with its processing in a certain way. The premise is based on the features of physical and chemical properties of a defecate, which contains CaCO_3 and impurities of organic substances in its composition. It is known from the literature that the process of the oxidation of organic substances can be accompanied by their charring, without reaching the final stage of oxidation – CO_2 and H_2O . Hence, a carbon-containing sorbent with sorption properties can be obtained from defecate. Thus, it is possible to obtain a valuable product from sugar industry wastes – a defecate, which can be used in the future. The carbon-containing sorbent produced from a defecate naturally may have lower sorption properties compared to generally recognized carbon sorbents. However, despite this its production and use has a number of advantages. Industrial defecate (ID) has been subjected to burning at different temperatures to obtain TD 600 suitable for further use. Since organic substances are contained as impurities in ID, an oxidation process can proceed according to the following schemes:



in addition the decomposition of CaCO_3 may occur: $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$,

To avoid the oxidation of a carbon component to CO_2 and reduce the decomposition of CaCO_3 to a minimum, it has been necessary to select appropriate temperature domain. The color change of ID from grey to black indicates the process of carbonization of organic substances; and further reducing the intensity of the black color implies the process of the decomposition of CaCO_3 to CaO and CO_2 and the combustion of carbon. The highest intensity of black color has been observed at a temperature of 600°C . Thus, as a result of the heat treatment of a defecate a fine powder has been obtained, on the surface of which products with various degrees of the carbonization of organic substances have been contained. Since the size of sorbent particles is of great importance in the process of sorption purification we have conducted a sieve analysis of a defecate. The following fractions have been determined: > 2 ; 2; 1.4; 1; 0.63; 0.315; 0.25; 0.2; 0.14; 0.1; 0.08; 0.06; 0.05. Three of these sorbents were tested for the sorption capacity towards lead and cadmium ions from synthetic wastewaters in single and binary system. The sorption efficiency is affected by several parameters including sorbent dosage, pH, temperature, contact time, concentration of metal ions, and therefore their effects are necessary to be investigated.

We tested sorption capacity of the following samples: a) defecate that was dried at a temperature of 100°C for 4 hours; b) defecate samples that was dried at a temperature of 100°C for 4 hours and then calcinated at a temperature of 260°C for 30 minutes; c) defecate samples that was dried at a temperature of 100°C for 4 hours and then calcinated at a temperature of 600°C for 30 minutes.

The textural properties of all samples were investigated by nitrogen sorption on a NOVA 2200e (Quantachrome instrument) automated gas adsorption system. The BET equation was used to estimate the specific surface area.

Results and discussion

The textural parameters of the sorbents are presented in the table 1.

Table 1

Textural parameters of the sorbents

Sorbent	Micropores area, m^2/g	Total volume pore, cm^3/g	Surface area, m^2/g	External surface area, m^2/g
TD100 (100°C)	2.619	2.43×10^{-2}	16.073	13.454
TD260 (260°C)	1.869	1.68×10^{-2}	10.794	8.925
TD600 (600°C)	1.438	1.02×10^{-2}	5.31	3.872

The concentration of bioelements in sorbents are presented in the table 2.

Table 2

Concentrations of bioelements in sorbents, certain by the XRF-method, μ g/g

Sorbent	Ca	K	Zn	Cu	S	I	Cl
TD100 (100 °C)	658011,1	7453,2	52,3	14,4	117253,2	208,4	101345,1
TD260 (260 °C)	783262,2	3437,8	50,3	20,9	245462,7	245,4	124246,8
TD600 (600 °C)	835001,5	5575,2	39,6	16,2	276438,4	304,9	145572,6

Cd and Pb removal by different weights of absorbents.

All sorption experiments of Cd and Pb were conducted in batch mode, in a thermostated shaker bath. The adsorption capacity at equilibrium, q_e (mg/g), was calculated with Eq. 1:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{m} \quad (1)$$

where: C_0 – the initial concentration of metallic ions (mg/L), C_e – the concentration of metal ion in aqueous solution at equilibrium (mg/L), V – the volume of aqueous solution (L), and m – the weight of the dried sorbent (g).

For each adsorption experiment, the average of three independent replicates was reported. The concentration of metallic ions in aqueous solution after sorption experiments was determined by flame atomic absorption spectroscopy (FAAS) on a continuum source atomic absorption ContrAA ® – 300 device equipped with an Echelle double monochromator with a high resolution at $\lambda = 217$ nm for lead and at $\lambda = 228.8$ nm for cadmium.

The effect of the amount of adsorbent on the removal of Cd and Pb ions by sorbents is depicted in Figure 1-2 for varied adsorbent doses of 10, 15, 20, 25 and 30 mg. For simplicity we will use the following abbreviations for the sorbents: TD100, TD260 and TD600.

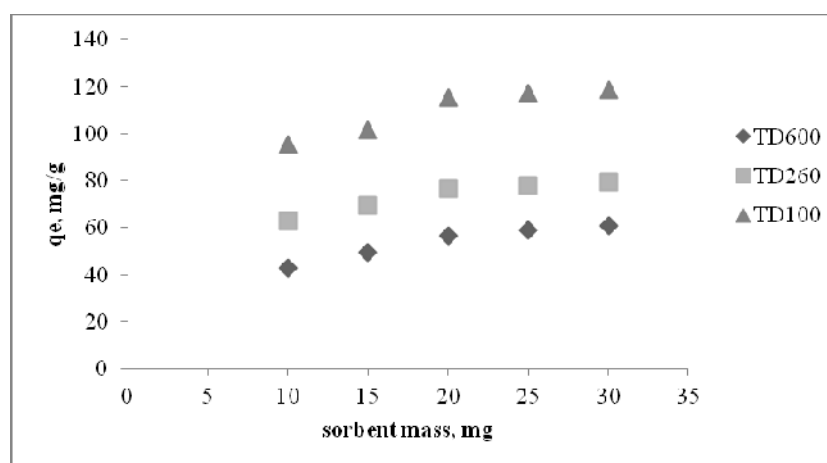


Figure 1. Dependence of sorption process of cadmium on sorbent mass

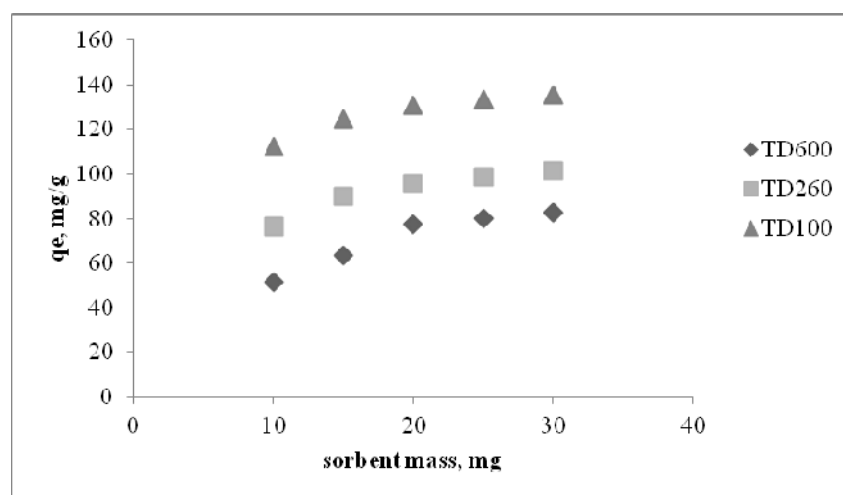


Figure 2. Dependence of sorption process of lead on sorbent mass

Conclusion

From these figures we can conclude that the optimum sorbent mass is 25 mg and for further experiments we'll use this dose of the sorbent. Also, we can observe that the sorption capacity of defecate treated at 100 °C is higher than for the other sorbents. All the sorbents have the sorption capacity higher for lead. Investigated sorbents we can observe that the sorption process reach equilibrium after 120 min of contact time between solution that contains metallic ions and the sorbents. The future experiments we will investigate the dependence of sorption on pH, initial concentration of ions, we will apply different models for kinetic and isotherm studies in single and binary system.

Consequently, the production of a sorption material from the calcinated defecate is characterized by a number of positive factors:

- decrease in the amount of a large-capacity waste – defecate;
- reduction of the areas of the fertile soil, applied for defecate storage;
- improvement of sanitary and epidemiological indicators of soils in the areas of sugar factories;
- social effect: improvement of the living conditions of the population due to the reduction of an anthropogenic impact on the environment.

Research in this direction is continuing.

The work has been performed with financial support from the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research, grant No. B18RA-001.

Literature

1. Abas S. N. A., Ismail M. H. S., Kamal M. L., Izhar S. Adsorption process of heavy metals by low cost adsorbent // World App. Sci. J. – 2013. – № 28. – P. 1518–1530.
2. Fu F., Wang Q. Removal of heavy metal ions from wastewaters // J. Environ Manag., 2011. – № 92. – P. 407–418.
3. Gupta V. K., Nayak A., Agarwal S. Bioadsorbents for remediation of heavy metals: current status and their future prospects // Environ. Eng. Res. – 2015. – № 20. – P. 1–18.
4. Mahajan G., Sud D. Modified agricultural waste biomass with enhanced responsive properties for metal-ion remediation: a green approach // Appl. Water Sci. – 2012. – № 2. – P. 299–308.

ОЦЕНКА НАКОПЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СВИНЦА ПО ОРГАНАМ ЯЧМЕНЯ ЯРОВОГО

С. С. Манджиева, Т. М. Минкина, В. А. Чаплыгин, М. В. Бурачевская,
Н. П. Черникова, И. В. Замулина, И. П. Лобзенко

*Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского
Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, Россия,
e-mail: msaglara@mail.ru*

В условиях возрастающей техногенной нагрузки на природные ландшафты и сельскохозяйственные угодья, для экологического мониторинга и контроля качества выращиваемой продукции необходимы достоверные данные об аккумуляции и распределения тяжелых металлов в органах сельскохозяйственных культур. С целью изучения накопления и распределения Pb (в дозе 300 и 2 000 мг/кг) в растениях ячменя двурядного (*Hordeum sativum distichum*) сорта «Одесский 100» заложен модельный вегетационный опыт. На основании полученных результатов установлено, что при поступлении Pb в почву происходит достоверное увеличение содержания металла во всех органах ячменя. Распределение Pb по органам ярового ячменя на контроле и при загрязнении не изменяется: корни > стебли > зерно. Характер накопления Pb в растения ячменя является акропетальным.

Ключевые слова: почва, растения, загрязнение, тяжелые металлы, биодоступность.

Введение

Актуальность изучения содержания ТМ в растениях растет с каждым годом в связи с усилением антропогенного воздействия [Кашин, Убугунова, 2012], а изучение генетических особенностей минерального питания растений представляет все больший интерес. Попадая в растения из почвы и воздуха ТМ способны в большом количестве аккумулироваться в растительных тканях и по трофической цепочке переходить в организм животных, а затем и человека [Елькина, 2017]. В связи с разной физиологической значимостью микроэлементов, избирательностью их поглощения из почв, содержание ТМ в растениях и различных органах существенно меняется [Демедчик и др., 2001; Кашин, Убугунов, 2012]. Характер распределения тяжелых металлов по органам в большинстве случаев не зависит от эдафических и сезонных факторов и определяется, главным образом, свойствами металлов и видовыми особенностями растений. Типичное распределение металлов по органам у растений следующее (по убыванию): корень > стебель > листья > плоды или семена [Ильин, Степанова, 1980]. При этом у разных видов растений оно может несколько различаться в процентном соотношении, что связано с особенностями поглощения ионов металлов корнями и их перемещения из корней в побеги. Наблюдается зависимость содержания металлов в растениях от уровня техногенной нагрузки [Минкина и др., 2018].

Особого внимания заслуживает территория Нижнего Дона, поскольку регион является одновременно крупнейшим производителем сельскохозяйственной продукции и крупным промышленным центром. Значительную площадь изучаемой территории занимают черноземы обыкновенные, большая часть которых находится в сельскохозяйственном использовании, тесно соседствующем с промышленными предприятиями, что значительно увеличивает техногенную нагрузку.

Целью работы является изучение аккумуляции и распределения Pb в органах сельскохозяйственных культур, на примере ячменя ярового.

Методы и объекты исследования

Для выполнения поставленных задач заложен модельный вегетационный опыт. Почвой модельного опыта являлся чернозем обыкновенный мощный слабогумусированный тяжелосуглинистый на лессовидных суглинках. Для закладки опыта использовали верхний 20-см слой почвы. В сосуды емкостью 2 л. с дренажем помещали по 2 кг почвы, просеянной через сито диаметром ячеек 5 мм, и добавляли водный раствор ацетатов Pb в дозах 300 и 2 000 мг/кг. Концентрация 300 мг/кг Pb зафиксирована в почвах агроландшафтов Ростовской области, концентрации 2000 мг/кг металла встречаются в почвах техногенных ландшафтов [Minkina et al., 2018]. В то же время доза 2000 мг/кг Pb является критической для сельскохозяйственных культур [Дмитраков, Дмитрикова, 2006; Минкина и др., 2009]. Разные уровни загрязнения позволяют вычленить влияние изучаемых факторов на процессы аккумуляции и трансформации металлов в почвах. Повторность опыта трехкратная.

В качестве тест-культуры использован ячмень двурядный (*Hordeum sativum distichum*) сорта «Одесский 100». Влажность почвы поддерживали на уровне 60 % полной полевой влагоемкости. Образцы растений отбирали в фазу полной спелости вместе с корневой системой [ГОСТ 27262-87]. После отбора растения высушивались до воздушно-сухого состояния, надземная и корневая части отделялись друг от друга и измельчались. Корневая часть перед измельчением предварительно очищалась от частиц почвы. Минерализацию проб растений проводили методом сухого озоления [ГОСТ 26929-94]. Кислотная экстракция ТМ из золы осуществлялась растворением в 20%-ном растворе HCl с последующим методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии [Методические указания..., 1992]. Аналитические работы выполнены в 3 повторностях.

Результаты

В результате проведенных аналитических работ установлено, что содержание Pb в зерне и соломе на контрольном варианте не превышает ПДК и соответствует региональному уровню (табл. 1).

Таблица 1

Содержание Pb в органах ячменя сорта «Одесский 100», мг/кг

Варианты опыта	Корни	Солома	Зерно
Контроль	4,1±0,1	1,4±0,1	0,4±0,01
Pb 300 мг/кг	25,8±1,7	9,3±0,3	3,0±0,2
Pb 2000 мг/кг	154,6±8,2	85,6±5,4	26,2±1,3
ПДК*	-	-	0,5
МДУ**		5,0	5,0

*СанПиН 2.3.2.560-96; **Временный максимально допустимый..., 1987.

Среднее содержание Pb в растениях из незагрязненных и безрудных областей довольно постоянно и лежит в пределах от 0,1 до 10,0 [Виноградов, 1957; Степанок, 1998; Ahmad et al., 2012]. Содержание Pb в сельскохозяйственных культурах подвержено существенным вариациям. Существует мнение, что большая часть Pb аккумулируется в корнях при более низком содержании в стеблях, листьях и зерне [Фирсова и др., 1997; Adriano, 2001].

На контроле наблюдается следующее распределение Pb по органам ярового ячменя (рис. 1): корни > стебли > зерно, то есть акропетальный характер накопления металла. Искусственное внесение металла в почву приводит к увеличению его концентрации в растениях (табл. 1). Установлено увеличение содержания металла в корнях ячменя по

сравнению с контролем в 6,3; 37,7 и 97 раз в соответствии с дозой внесения – 300 и 2000. Концентрация металла в зерне при внесении 300 мг/кг Pb увеличивается в 7,5 раз, а при внесении 2000 мг/кг – в 65,5 раз. Содержание Pb в соломе увеличивается в 6,6, 61 и 91,8 раз, соответственно.

Способность корней задерживать большую часть тяжелых металлов снижает их поступление в надземные органы растений, что является важным адаптационным механизмом, обеспечивающим их нормальный рост и развитие в условиях высокого содержания этих элементов в почве [Чиркова, 2002; Xiong et al., 2014]. В то же время многочисленными опытами установлено, что с увеличением концентрации тяжелых металлов во внешней среде, наряду с возрастанием их содержания в корнях, повышается количество металлов и в надземных органах – стеблях и листьях, и даже в соцветиях и семенах. Это говорит о том, что защитные механизмы и барьеры, функционирующие на уровне клеток и тканей корня, не в состоянии полностью предотвратить попадание металлов в побеги растений.

На варианте с уровнем загрязнения почвы 300 мг/кг содержание Pb в зерне в 6 раз превысило ПДК и составило 3 мг/кг. При высоком уровне загрязнения чернозема обыкновенного установлены существенные изменения в перераспределении Pb по органам ярового ячменя. При внесении 2000 мг/кг Pb доля металла в корнях уменьшается на 11% по сравнению с контролем (рис. 1). При этом доля металла в зерне увеличивается на 3%, а в стебле – на 8%. Несмотря на произошедшие изменения, характер накопления продолжает оставаться акропетальным.

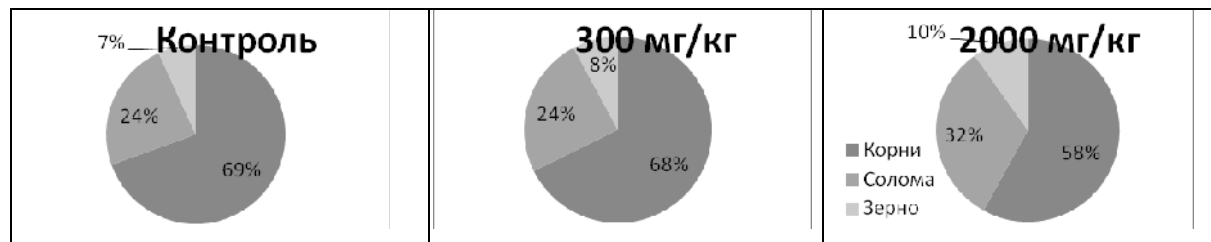


Рис. 1. Распределение Pb по органам ячменя

Таким образом, при поступлении значительных доз Pb в почву происходит достоверное увеличение содержания металла во всех органах ячменя. Распределение Pb по органам ярового ячменя на контроле и при загрязнении не изменяется: корни > стебли > зерно, характер накопления остается акропетальным.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ (№ 18-55-05023 Арм_а) и Проектной части госзадания № 5.948.2017/ПЧ.

Литература

1. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М., 1957.
2. Временный максимально-допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках / Государственный агропромышленный комитет СССР; Главное управление ветеринарии. – М., 1987.
3. 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.
4. Дмитраков Л. М., Дмитракова Л. К. Транслокация свинца в растения овса // Агрохимия. – 2006. – № 2. – С. 71–77.
5. Елькина Г. Я. Реакция растений на полиэлементное загрязнение подзолистых почв тяжелыми металлами // Агрохимия. – 2017. – № 7. – С. 78–85.

6. Ильин В. Б., Степанова М. Д. Защитные возможности системы почва-растение при загрязнении почвы тяжелыми металлами // Тяжелые металлы в окружающей среде. – М., 1980. – С. 80–85.
7. Кашин В. К., Убугунов Л. Л. Особенности накопления микроэлементов в зерне пшеницы в западном Забайкалье // Агрохимия. – 2012. – № 4. – С. 68–76.
8. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М.: ЦИНАО, 1992.
9. Минкина Т. М., Манджиева С. С., Чаплыгин В. А., Назаренко О. Г., Максимов А. Ю., Замулина И. В., Бурачевская М. В., Сушкова С. Н. Аккумуляция тяжелых металлов разнотравной степной растительностью по данным многолетнего мониторинга // Аридные экосистемы. – 2018. – Т. 24. – № 3 (76). – С. 43–55.
10. Минкина Т. М., Мотузова Г. В., Назаренко О. Г., Крыщенко В. С., Самохин А. П., Манджиева С. С. Накопление тяжелых металлов растениями ячменя на черноземе и каштановой почве // Агрохимия. – 2009. – № 10. – С. 53–63.
11. СанПин 2.3.2.560-96 Гигиенические требования к качеству и безопасности природного сырья и пищевых продуктов. Утверждено постановлением Главного санитарного врача РФ. М., 1996.
12. Степанок В. В. Влияние высоких доз свинца на элементный состав растений // Агрохимия. – 1998. – № 7. – С. 69–76.
13. Фирсова В. П., Павлова Т. С., Тощев В. В., Прокопович Е. В. Сравнительное изучение содержания тяжелых металлов в лесных, луговых и пахотных почвах лесостепного Зауралья // Экология. – 1997. – № 2. – С. 96–101.
14. Чиркова Т. В. Физиологические основы устойчивости растений. Учеб. пособие. – СПб: С.-Петербург. ун-та, 2002.
15. Adriano D. C. Trace elements in terrestrial environments. – New York; Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2001.
16. Ahmad I., Akhtar M. J., Zahir Z. A., Jamil A. Effect of cadmium on seed germination and seedling growth of four wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars // Pakistan Journal of Botany. – 2012. – Vol. 44. – № 5. – P. 1569–1574.
17. Minkina T. M., Linnik V. G., Nevidomskaya D. G., Bauer T. V., Mandzhieva S. S., Khoroshavin V. Forms of Cu (II), Zn (II), and Pb (II) compounds in technogenically transformed soils adjacent to the Karabashmed copper smelter // Journal of Soils and Sediments. – 2018. – Vol. 18. – P. 2217–2228. DOI: 10.1007/s11368-017-1708-2
18. Xiong T. T., Leveque T., Austruy A., Goix S., Schreck E., Dappe V., Sobanska S., Foucault Y., Dumat C. 2014. Foliar uptake and metal(loid) bioaccessibility in vegetables exposed to particulate matter // Environmental Geochemistry and Health. – 2014. – Vol. 36. – P. 897–909.

ASSESSMENT OF ACCUMULATION AND DISTRIBUTION OF LEAD BY SPRING BARLEY

**S. Mandzhieva, T. Minkina, V. Chaplygin, M. Burachevskaya,
N. Chernikova, I. Zamulina, I. Lobzenko**
*Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia,
e-mail: msaglara@mail.ru*

Under the conditions of increasing man-made stress on natural landscapes and agricultural lands, for environmental monitoring and quality control of the grown products, reliable data on the accumulation and distribution of heavy metals in the organs of agricultural crops are required. To study the accumulation and distribution of Pb (at a dose of 300 and 2,000 mg/kg) in the two-row barley plants (*Hordeum sativum distichum*), a model vegetation experiment was established. Based on the obtained results, it was established that when Pb enters the soil, there is a significant increase in the metal content in all barley organs. The distribution of Pb over spring barley organs does not change at the control and when it is polluted: roots > stems > grain. The pattern of Pb accumulation in barley plants is acropetal.

Keywords: soil, plants, pollution, heavy metals, bioavailability.

ОБЕЗВРЕЖИВАНИЕ БЕЛОГО ФОСФОРА МИКРОБНОЙ КУЛЬТУРОЙ

А. З. Миндубаев¹, А. Д. Волошина¹, С. Т. Минзанова¹,
Л. Г. Миронова¹, Х. Р. Хаяров², Е. К. Бадеева¹

¹Институт органической и физической химии им. А. Е. Арбузова
ФИЦ КазНЦ РАН, г. Казань, Россия,
e-mail: mindubaev-az@yandex.ru

²Казанский (Приволжский) федеральный университет,
г. Казань, Россия

Впервые произведены посевы микроорганизма (*Aspergillus niger*) в синтетические культуральные среды, содержащие белый фосфор в качестве единственного источника фосфора. Показан рост устойчивости культуры в результате направленной селекции. Проведен поиск метаболитов белого фосфора. Самая высокая концентрация соответствует превышению ПДК белого фосфора в сточных водах в 5000 раз.

Ключевые слова: биodeградация, детоксикация, белый фосфор, *Aspergillus niger*, культуральные среды, селекция.

Введение

Белый фосфор Р₄ – это один из самых опасных загрязнителей окружающей среды [3]. В то же время у элемента фосфора есть уникальное качество – будучи сильнейшим ядом в виде простого вещества, в окисленном состоянии он абсолютно необходим для всех форм жизни. Таким образом, представляется целесообразным использовать это свойство для полной детоксикации исходного фосфора. Биodeградация становится одним из наиболее популярных методов обезвреживания промышленных стоков [4].

Целью проведенного нами исследования являлась переработка белого фосфора при помощи микроорганизмов. В литературных источниках не найдено сведений о доказанных примерах биологической деградации белого фосфора. Предыдущие работы нашего коллектива [5, 7] позволили пролить свет на практически неизученный вопрос токсичности белого фосфора для прокариот.

Методы

Посевы производились в модифицированную среду Придхем-Готлиба. Классическая среда Придхем-Готлиба не содержит источники углерода: в качестве таковых выступают нефтепродукты. Наша модификация включает глюкозу, но не содержит источники фосфора (в качестве такового выступает белый фосфор). Посев *Aspergillus niger*, споры которого были внесены вместе с белым фосфором, производили в среду, содержащую белый фосфор в концентрациях 0.01 и 0.05% по массе. В контрольные среды К (+) вносился фосфат. В контрольные среды К (–) источники фосфора не вносились. Произвели посев выросших грибов в контрольные среды К (+) и К (–). Второй пересев *A. niger* произведен в среды аналогичного состава, третий – в среды с увеличенной концентрацией белого фосфора: 0.05, 0.1 и 0.2% по массе.

Результаты

На пятые сутки пересеяли культуру гриба, выросшую при 0.05% белого фосфора, в контрольные среды К (+) и К (–). Через шесть суток после посева наблюдалась следующая картина. В среде К (+) с фосфатом выросло значительное число сравнительно мелких колоний: это означает, что большинство спор проросло, что естественно в благоприятных условиях. В среде К (–) без источников фосфора колонии выросли немногочисленные, занимающие сравнительно большую площадь, но очень слабые (практи-

чески прозрачные, с неразвитым мицелием и отдельными конидиеносцами, выглядящими, как россыпь черных точек, а не сплошное черное поле). По всей видимости, сказалась нехватка фосфора: агар, используемый для приготовления среды, содержит примесь фосфата, но недостаточную для полноценного роста грибов. Любопытно, что в среде с 0.05% белого фосфора колоний выросло меньше, чем в K(+), однако они производят впечатление совершенно нормальных, не испытывающих дефицит питательных веществ. Отсюда следует вывод, что в среде с белым фосфором выживают не все споры гриба, но выжившие обладают способностью использовать в качестве источника фосфора либо сам белый фосфор, либо продукты его химических превращений.

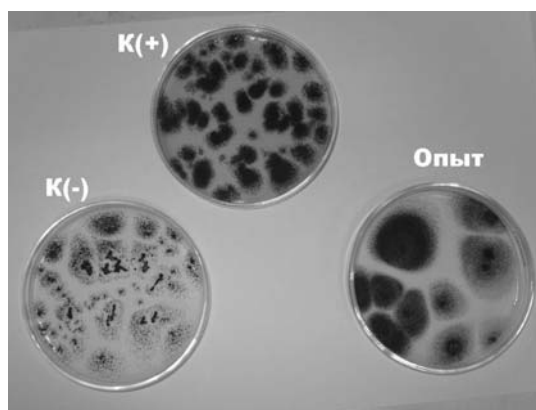


*Рис. 1. Первый пересев устойчивых грибов *A. niger*. K(+)[–] среда с фосфатом: наблюдался рост 49 спорообразующих колоний *A. niger*. K(–)[–] среда без источника фосфора: на ней наблюдался рост 33 ослабленных колоний. Опыт – среда с 0.05% белого фосфора: наблюдался рост 11 крупных спорообразующих колоний *A. niger*. Чашки сфотографированы через шесть суток после посева*

Очередной (третий) пересев на 84 день после первого посева был произведен в среды с более высокой концентрацией белого фосфора с целью адаптации гриба к ней. Были выбраны концентрации 0.05, 0.1 и 0.2% Р₄. Последняя, самая высокая, концентрация ранее нами никогда не использовалась. Согласно [2], она соответствует тысячекратному превышению ПДК белого фосфора в сточных водах! Тем не менее, даже при столь высоком содержании белого фосфора в среде наблюдался интенсивный рост колоний гриба. На четвертый день после посева при всех трех концентрациях белого фосфора наблюдалось начало спороношения, но при 0.1 и 0.2% Р₄ грибы отставали в развитии по сравнению с 0.05%. Возможно, использованные концентрации исследуемого токсиканта отрицательно сказываются на фертильности грибов, хотя полностью не подавляют ее. Тем не менее, результаты посева позволяют заключить, что черный аспергилл легко переносит присутствие белого фосфора в среде даже в концентрации 0.2%.

Четвертый пересев был произведен через 112 суток после первого посева. Концентрацию белого фосфора в среде снова увеличили до 0.5 и 1% по массе. При внесении столь большого количества Р₄ густой черный осадок в средах выпадает моментально. Среда издает сильный специфический запах белого фосфора даже спустя несколько суток после посева. Через сутки рост еще не наблюдался. Через четверо суток в среде с содержанием белого фосфора 0.5% наблюдался рост мелких колоний аспергилла, имеющих еще белый цвет (то есть рост сильно замедлен). В средах с 1% белого фосфора через четверо суток после посева рост не наблюдался. По-видимому, выпавший черный осадок фосфидов перевел в нерастворимую форму микроэлементы, присутствующие в среде и необходимые для роста микроорганизмов. Следует отметить, что по [2]

концентрация белого фосфора 0.5% соответствует 2500 ПДК! Грибы развиваются очень медленно. По-видимому, данные концентрации белого фосфора близки к предельным, при которых еще возможен рост грибов. На восьмые сутки на поверхности колоний аспергилла наблюдается россыпь спор, т.е. гриб сохранил способность к размножению.

На 27 сутки после шестого посева *A. niger* наблюдается начало роста гриба в среде с 1% белого фосфора. В предыдущих посевах максимальная концентрация белого фосфора, при которой рос аспергилл, составляла 0.5%. Напомним о том, что концентрация белого фосфора 1% - это превышение ПДК в сточных водах в 5000 раз! Таким образом, у аспергилла после восьми посевов устойчивость выросла вдвое [9].

Для генетической идентификации гриба, устойчиво метаболизирующего белый фосфор и по морфологическим признакам отнесенного к виду *A. niger*, была определена нуклеотидная последовательность его регионов ITS1 и ITS2. Сравнение с последовательностями базы данных GenBank с помощью системы BLAST [1] выявило 99% гомологию с ITS1 и ITS2 регионами описанных штаммов *A. niger*, что позволяет идентифицировать данный микроорганизм как новый штамм *Aspergillus niger*. Ему мы присвоили номер *A. niger* AM1 [8]. Нуклеотидная последовательность штамма опубликована в базе данных GenBank, где ей присвоен номер KT805426.

В опытном спектре ^{31}P ЯМР, снятом с водной фазы, проявились сигналы в области 0.3, 3.7 и 6.2 ppm, соответствующие фосфиту и гипофосфиту. Таким образом, он соответствует соединениям, которые, предположительно, являются метаболитами белого фосфора, т.е. является подтверждением предполагаемого нами метаболического пути [6]. Ниже мы приводим предполагаемую схему метаболизма белого фосфора (рис. 2).

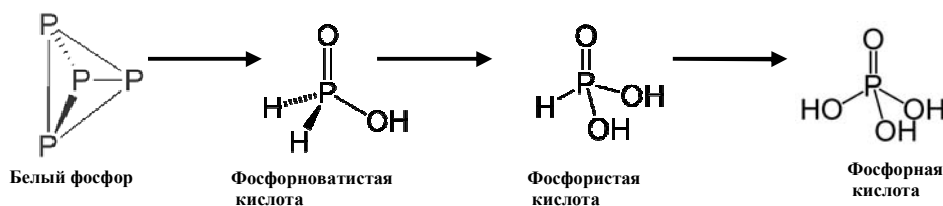


Рис. 2. Предполагаемый метаболический путь белого фосфора

Заключение

Поскольку в литературе отсутствуют сведения о микроорганизмах, устойчивых к P_4 , представленная работа имеет бесспорную новизну.

Литература

1. Altschul S. F., Gish W., Miller W., Myers E. W., Lipman D. J. Basic local alignment search tool // J. Mol. Biol. – 1990. – Vol. 215. – № 3. – P. 403–410.
2. Barber J. C. Processes for the disposal and recovery of phosphy water // Патент US5549878, заявлен: 24 мая 1995, выдан: 27 августа 1996.
3. Toxicological profile for white phosphorus // U.S. Department of health and human services. USA, 1997. – P. 248.
4. Миндубаев А. З. Кто съел полиэтилен? // Наука и жизнь. – 2018. – № 4. – С. 32–38.
5. Миндубаев А. З., Волошина А. Д., Бабынин Э. В., Бадеева Е. К., Хаяров Х. Р., Минзанова С. Т., Яхваров Д. Г. Микробиологическая деградация белого фосфора // Экология и промышленность России. – 2018. – Т. 22. – № 1. – С. 33–37.
6. Миндубаев А. З., Волошина А. Д., Бабынин Э. В., Валидов Ш. З., Сапармырадов К. А., Хаяров Х. Р., Бадеева Е. К., Барсукова Т. А., Минзанова С. Т., Миронова Л. Г., Акосах Й. А., Яхваров Д. Г. Обезвреживание белого фосфора посредством микробиологического разложения // Бутлеровские сообщения. – 2017. – Т. 52. – № 12. – С. 87–118.

7. Миндубаев А. З., Волошина А. Д., Валидов Ш. З., Яхваров Д. Г. Биodeградация белого фосфора // Природа. – 2017. – № 5. – С. 29–43.

8. Миндубаев А. З., Волошина А. Д., Горбачук Е. В., Валидов Ш. З., Кулик Н. В., Алимова Ф. К., Минзанова С. Т., Миронова Л. Г., Белостоцкий Д. Е., Сапармырадов К. А., Тухбатова Р. И., Яхваров Д. Г. Адаптация микроорганизмов к белому фосфору, как результат направленной селекции. Генетическая идентификация устойчивого аспергилла и метаболическое профилирование стрептомицета A8 // Бутлеровские сообщения. – 2015. – Т. 44. – № 12. – С. 1–28.

9. Миндубаев А. З., Волошина А. Д., Горбачук Е. В., Кулик Н. В., Алимова Ф. К., Минзанова С. Т., Миронова Л. Г., Сапармырадов К. А., Хаяров Х. Р., Яхваров Д. Г. Включение белого фосфора в природный круговорот веществ. Культивирование устойчивой микрофлоры // Бутлеровские сообщения. – 2015. – Т. 41. – № 3. – С. 54–81.

WHITE PHOSPHORUS NEUTRALISATION BY MICROBIAL CULTURE

A. Z. Mindubaev, A. D. Voloshina, S. T. Minzanova, L. G. Mironova,
Kh. R. Khayarov, E. K. Badeeva

For the first time different taxonomic groups of microorganism (*Aspergillus niger*) are inoculated on culture medium containing white phosphorus as the single source of phosphorus. The increase of cultures resistance resulting from directed selection is demonstrated. Carried out search for the white phosphorus metabolites. The highest concentration corresponds to 5000 times excess of MPC of white phosphorus in wastewater.

Keywords: biodegradation, detoxication, white phosphorus, *Aspergillus niger*, culture medium, selection.

АККУМУЛИРОВАНИЕ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ ПОЛЫНИ

А. В. Молчанова¹, Л. А. Логвиненко², Н. А. Голубкина¹, О. М. Шевчук²

¹Федеральный научный центр овощеводства,
пос. ВНИИССОК, Московская область, Россия
e-mai: vovka_ks@rambler.ru

²Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН,
пгт. Никита, г. Ялта, Россия

Исследованы межвидовые различия в аккумуляции макро- и микроэлементов 11 видами рода *Artemisia* на побережье Черного моря в отсутствии антропогенной нагрузки (территория Никитского ботанического сада). Впервые выявлен гипераккумулятор селена – полынь тархунная сорт Изумруд, накапливающий до 23 мг Se/кг с.м., и установлено, что *A. campestris* является гипераккумулятором тяжелых металлов, особенно алюминия. Впервые описано наличие интенсивных межвидовых различий в аккумуляции натрия от 33 до 1535 мг/кг с.м. Обсуждаются перспективы использования растений полыни с целью оптимизации селенового статуса населения и экологического мониторинга окружающей среды.

Ключевые слова: *Artemisia*, элементный состав, селен, тяжелые металлы.

Введение

Интерес к элементному составу лекарственных растений в последние годы обусловлен как вопросами безопасности использования растительного сырья, так и поисками природных гипераккумуляторов эссенциальных элементов для борьбы с широко распространенными дефицитами последних. Род *Artemisia* является одним из наиболее больших и широко распространенных родов семейства *Asteraceae*, насчитывающих более 400 видов. Широкий спектр биологической активности и высокие адаптационные способности полыней предполагают возможность важной роли макро- и микроэлементов в этих процессах.

Целью исследования явилось установление межвидовых особенностей накопления макро- и микроэлементов разными видами полыни при отсутствии антропогенного воздействия. Объектом исследования явились 11 видов полыней (*A. absinthium* L., *A. vulgaris* L., *A. campestris* L., *A. annua* L., *A. dracunculus* L., *A. scoparia* W.K., *A. feddei* H. Lev. et Vaniot, *A. argyi* Leveil. et Vaniot, *A. santonica* Lam., *A. taurica* Willd., *A. abrotanum* L.) из коллекции Никитского ботанического сада. Содержание макро- и микроэлементов устанавливали методом ИСП-МС. Уровень накопления селена определяли флуориметрически [1].

Результаты и обсуждения

Принято считать, что устойчивость полыни к солевому стрессу, ярко проявляющемуся на морском побережье, обусловлена способностью нивелирования процесса накопления солей корнями растений. Исследование содержания макроэлементов в 11 видах полыни, выращиваемых в одинаковых условиях при отсутствии антропогенной нагрузки, позволило выявить интенсивные межвидовые различия в аккумуляровании ионов натрия при минимальных значениях, характерных для *A. vulgaris* и *A. feddei* (33–47 мг/кг с.м.) и максимальных для *A. santonica* (1525 мг/кг с.м.) и *A. campestris* (529 мг/кг с.м.) (табл.1). Среди возможных механизмов защиты *Artemisia* от солевого стресса (генетические особенности, дезактивация ионов натрия, регулирование ионного гомеостаза и антиоксидантной активности) в исследуемой коллекции проявлялась обратная корреляция между концентрацией натрия в надземной части полыни и содержанием золы ($r = -0.51$; $P < 0.015$) и положительная между уровнями накопления натрия и величиной антиоксидантной активности и содержания полифенолов ($r = +0.45$ и $r = +0.49$; $p < 0.025$, соответственно). Критически низкие уровни накопления натрия видами *A. feddei* и *A. vulgaris* косвенно свидетельствуют о существовании механизма активного исключения ионов натрия корнями этих видов растений.

Известно, что галофиты, к которым принадлежит род *Artemisia*, способны приспосабливаться ко многим абиотическим стрессам внешней среды, абсорбируя токсические металлы в трихомах или вакуолях, обеспечивая осморегуляцию и снижая уровень оксидантного стресса.

Таблица 1

Накопление макроэлементов в надземной массе растений разными видами полыни

Вид	Ca, г/кг	K, г/кг	Mg, г/кг	Na, мг/кг	P, г/кг
<i>A. absinthium</i> ****	12.21 ^a	43.32 ^a	2.98 ^a	124a	4.59a
<i>A. absinthium</i>	13.75 ^a	35.71 ^{ab}	3.45 ^a	384b	4.24a
<i>A. argyi</i>	4.23 ^c	16.76 ^c	1.33 ^b	122a	1.87b
<i>A. vulgaris</i>	11.75 ^{ab}	35.14 ^b	3.88 ^a	33c	2.05b
<i>A. dracunculus</i> *	16.36 ^c	39.48 ^a	3.21 ^a	215d	6.05c
<i>A. dracunculus</i> **	13.59 ^a	20.90 ^{ce}	1.39 ^b	269d	4.71a

Вид	Ca, г/кг	K, г/кг	Mg, г/кг	Na, мг/кг	P, г/кг
<i>A. dracunculus</i> ***	13.79 ^a	31.04 ^b	1.55 ^b	116a	4.70a
<i>A. campestris</i>	12.02 ^a	38.94 ^a	3.34 ^a	529e	3.76a
<i>A. annua</i>	10.70 ^b	30.90 ^b	2.05 ^d	128a	5.28c
<i>A. abrotanum</i>	10.86 ^b	20.48 ^{ce}	1.78 ^d	298d	4.50a
<i>A. scoparia</i>	12.34 ^a	29.44 ^b	1.67 ^d	168f	5.78c
<i>A. santonica</i>	6.04 ^d	20.68 ^{ce}	1.35 ^{bc}	1525h	3.75a
<i>A. taurica</i>	8.12 ^c	16.20 ^d	1.00 ^c	310d	2.91d
<i>A. feddei</i>	9.34 ^{bc}	24.05 ^{ce}	1.80 ^d	47g	4.03a
Минимум	4.23	16.20	1.08	33	1.87
Максимум	16.36	43.32	3.88	1525	6.05

Здесь и далее: * пряно-ароматическая; ** сорт Изумруд; *** сорт Травневый; **** хемиазуленовая форма. Значения в столбцах с одинаковыми индексами не различаются статистически $p > 0.05$.

Анализ содержания тяжёлых металлов в полыни выявил высокие аккумулярующие способности двух видов: *A. campestris* – в отношении Al, As, Cr, Ni, Pb, Sr и V и Al, As, Pb, V у *A. scoparia*. Впервые удалось выявить гипераккумулярующие свойства *A. campestris* в отношении Al (уровень накопления достигал 1163 мг/кг при минимальных значениях, составляющих всего 33-41 мг/кг у *A. taurica* и *A. dracunculus* сорт Изумруд (табл. 2)). Хотя в литературе для экологического мониторинга загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами предлагают использовать *A. vulgaris* [4], полученные данные свидетельствуют о более высокой эффективности применения для этой цели *A. campestris*.

Таблица 2

**Содержание тяжелых металлов и мышьяка
в надземной массе растений разных видов полыни (мг/кг с.м.)**

Вид	Al	As	Cd	Cr	Ni	Pb	Sr	V
<i>A. absinthium</i> ****	77.9 ^a	0.07 ^{ac}	0.09 ^a	0.15 ^a	2.14 ^a	0.12 ^a	75.4 ^a	0.11 ^a
<i>A. absinthium</i>	63.3 ^b	0.06 ^{ab}	0.07 ^b	0.12 ^d	1.54 ^b	0.12 ^a	107 ^{bd}	0.09 ^{ac}
<i>A. argyi</i>	83.3 ^{ac}	0.05 ^b	0.09 ^a	0.16 ^a	0.65 ^c	0.11 ^a	50.6 ^c	0.11 ^a
<i>A. vulgaris</i>	109 ^c	0.1 ^d	0.01 ^c	0.24 ^c	1.1 ^d	0.20 ^c	97.8 ^b	0.16 ^d
<i>A. dracunculus</i> *	101 ^c	0.08 ^{cd}	0.12 ^{de}	0.16 ^a	2.21 ^a	0.10 ^a	127 ^d	0.11 ^a
<i>A. dracunculus</i> **	40.6 ^{le}	0.09 ^d	0.09 ^a	0.16 ^a	2.1 ^a	0.10 ^a	48.8 ^c	0.09 ^{ac}
<i>A. dracunculus</i> ***	100 ^c	0.11 ^d	0.06 ^b	0.3 ^e	1.9 ^{5ab}	0.25 ^d	55.6 ^c	0.18 ^d
<i>A. campestris</i>	1163 ^h	0.5 ^f	0.12 ^{de}	1.76 ^h	2.96	0.94 ^e	104 ^b	1.18 ^d
<i>A. annua</i>	327 ^g	0.24 ^g	0.23 ^f	0.51 ^g	1.96 ^{ab}	0.37 ^f	31.8 ^e	0.61 ^f
<i>A. abrotanum</i>	139 ^d	0.07 ^{ac}	0.13 ^d	0.4 ^f	2.65 ^d	0.16 ^b	23.9 ^f	0.36 ^g
<i>A. scoparia</i>	520 ^f	0.47 ^f	0.19 ^g	0.94 ^h	2.17 ^a	0.64 ^g	36.6 ^e	1.2 ^e
<i>A. santonica</i>	40.7 ^e	0.05 ^{bc}	0.07 ^b	0.19 ^b	1.97 ^{ab}	0.18 ^{bc}	21.1 ^f	0.08 ^{bc}
<i>A. taurica</i>	33.3 ^e	0.04 ^e	0.09 ^a	0.16 ^a	1.79 ^{ab}	0.16 ^b	17.2 ^f	0.07 ^b
<i>A. feddei</i>	65.7 ^b	0.08 ^{cd}	0.10 ^{ac}	0.2 ^{bc}	1.59 ^b	0.18 ^{bc}	45.2 ^c	0.14 ^d
Минимум	33.3	0.04	0.01	0.12	0.65	0.10	17.2	0.07
Максимум	116	0.5	0.23	1.76	2.96	0.94	107	1.20

Среди микроэлементов обращают внимание высокие коэффициенты вариации в накоплении Fe, и особенно Se. Данные табл. 3 указывают на аномальное гипераккумуляирование селена *A. dracunculus* сорт Изумруд, характеризующийся коэффициентом биологического накопления, равным 88 [3].

Таблица 3

**Содержание микроэлементов
в надземной массе разных видов полыни (мг/кг с.м.)**

Вид	B	Cu	Fe	Li	Mn	Se, мкг/кг	Si	Zn
<i>A. absinthium</i> ****	52.7 ^{ad}	6.5 ^a	43.5 ^a	0.18 ^a	87 ^a	40 ^a	22.9 ^{ab}	41.5 ^a
<i>A. absinthium</i>	51.3 ^{ad}	3.2 ^b	33.7 ^b	0.24 ^b	123 ^b	45 ^a	16.0 ^c	36.6 ^a
<i>A. argyi</i>	38.1 ^b	4.4 ^c	38.5 ^a	0.13 ^h	71.5 ^{cd}	50 ^{ab}	4.2 ^d	43.1 ^{ad}
<i>A. vulgaris</i>	58.8 ^{ae}	11.2 ^d	66.8 ^c	0.25 ^b	107 ^b	51 ^{ab}	13.8 ^c	31.3 ^b
<i>A. dracunculus</i> *	59.3 ^a	8.8 ^e	31.3 ^b	0.41 ^c	85.8 ^{ac}	23460 ^d	6.5 ^e	84.4 ^c
<i>A. dracunculus</i> **	69.4 ^e	16.7 ^{lg}	63.5 ^c	0.24 ^b	47.1 ^e	160 ^e	7.5 ^e	51.1 ^d
<i>A. dracunculus</i> ***	26.6 ^c	14.9 ^f	161 ^d	0.39 ^c	32.2 ^f	380 ^f	29.4 ^f	25.1 ^b
<i>A. campestris</i>	38.7 ^b	19.0 ^g	330 ^e	1.60 ^d	96.1 ^a	60 ^{bc}	10.1 ^g	41.8 ^a
<i>A. annua</i>	59.4 ^{ae}	28.6 ^h	367 ^e	0.47 ^c	112 ^b	80 ^g	21.1 ^b	91.1 ^c
<i>A. abrotanum</i>	30.1 ^c	13.2 ^d	175 ^d	0.18 ^a	64.4 ^d	60 ^{bc}	14.5 ^c	32.2 ^b
<i>A. scoparia</i>	35.9 ^b	18.5 ^g	713 ^f	0.65 ^e	64.1 ^d	70 ^{cg}	27.3 ^{af}	39.0 ^a
<i>A. santonica</i>	50.2 ^{ad}	13.2 ^d	87.1 ^g	0.32 ^f	16.9 ^g	60 ^{bc}	11.3 ^g	21.5 ^e
<i>A. taurica</i>	30.4 ^c	7.6 ^{ae}	83.5 ^g	0.08 ^g	27.9 ^f	60 ^{bc}	8.6 ^g	23.1 ^e
<i>A. feddei</i>	48.5 ^d	16.2 ^{lg}	93.3 ^g	0.35 ^{cf}	63.4 ^d	60 ^{bc}	11.0 ^g	34.0 ^b
Минимум	26.6	3.2	31.3	0.08	16.9	40	4.2	21.5
Максимум	69.4	28.6	713	1.60	123	23460	29.4	91.1

Выявленная особенность полыни тархунной сорта Изумруд указанного сорта открывает большие возможности его использования в оптимизации селенового статуса населения. Следует особенно отметить, что до настоящего времени лекарственные ароматические растения для этих целей не использовались [2]. Установлено, что потребление 1 г сухого порошка полыни тархунной сорта Изумруд обеспечивает поступление в организм человека до 33 % суточной потребности человека в селене, причем практика применения полыни этого вида в качестве специи для мясных и рыбных блюд практически исключает возможности передозировок, а высокое естественное содержание не требует искусственного внесения селена. Кроме того, несомненным достоинством данного сорта полыни является высокая В-аккумулирующая способность, обеспечивающая возможность восполнения суточной потребности человека в боре до 23 %. Другим источником микроэлементов является полынь однолетняя *A. annua*, аккумулирующая высокие концентрации B, Fe, Cu, Li, Mn.

Заключение

Выявленные закономерности межвидовых различий накопления полынью макро- и микроэлементов подтверждают высокую вариабельность в механизмах адаптации к засолению и аккумуляции макро- и микроэлементов, включая тяжёлые металлы. Указанные явления обеспечивают значительные перспективы использования разных видов полыни в качестве источника эссенциальных элементов для человека, а также в экологическом мониторинге и в целях фиторемедиации почвы.

Литература

1. Голубкина Н. А., Кекина Е. Г., Молчанова А. В., Антошкина М. С., Надежкин С. М., Солдатенко А. В. Антиоксиданты растений и методы их определения. – М.: Изд-во ФГБНУ ФНЦО, 2018.
2. Голубкина Н. А., Кекина Е. Г., Надежкин С. М. Приправа функционального назначения с повышенным содержанием биологически активных соединений. Патент РФ №20151028694А 13.03.2015.

3. Плугатарь Ю. В., Голубкина Н. А., Логвиненко Л. А., Молчанова А. В., Ковальский Ю. Г. Новая биологически активная добавка к пище с высоким содержанием органического селена // Заявка на изобретение 2018129698/13(0477966) РФ от 14.08.2018.

4. Radanovic D., Antic-Mladenovic S. Uptake, accumulation and distribution of potentially toxic trace elements in medicinal and aromatic plants // Mineral Nutrition of Medicinal and Aromatic Plants, Edition: Medicinal and Aromatic Plant Science and Biotechnology, Volume 6 Special Issue 1 2012, Publisher: 2012 Global Science Books, Editors: M. Naeem, M. Masroor A. Khan, Moinuddin. – P. 54–68.

MACRO AND TRACE ELEMENTS ACCUMULATION BY DIFFERENT SPECIES OF WORMWOOD

A. V. Molchanova, L. A. Logvinenko, N. A. Golubkina, O. M. Shevchuk

Interspecies differences in accumulation of macro and trace elements by 11 *Artemisia* species are investigated at the unpolluted Black sea shore (Nikita botanic gardens). A new Se-hyperaccumulator was demonstrated for the first time – *A. dracunculus* L. Izumrud cv (up to 23 mg/kg d.w.). *A. campestris* L. is proved to be a hyperaccumulator of heavy metals, especially Al. Sodium accumulation by *Artemisia* species are shown to vary greatly from 33 to 1535 mg/kg d.w. Prospects of *Artemisia* utilization in ecological monitoring and for optimization of the human selenium status are discussed.

Keywords: *Artemisia*, element composition, selenium, heavy metals.

ОСОБЕННОСТИ АККУМУЛЯЦИИ НЕКОТОРЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ЛИШАЙНИКАМИ НА ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЯХ С МИНИМАЛЬНЫМ УРОВНЕМ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Т. С. Науменко¹, А. В. Лапченко², Е. В. Лапченко², Н. А. Голубкина³,
Н. А. Багрикова¹, Е. С. Крайнюк¹

¹ Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН,
пгт Никита, г. Ялта, Россия,
e-mail: tanya_yalta@inbox.ru

² Карадагская научная станция им. Т. И. Вяземского –
природный заповедник РАН, Республика Крым, Россия;

³ Федеральный научный центр овощеводства,
пос. ВНИИССОК, Московская область, Россия

Впервые установлен элементный состав трех наиболее распространенных видов лишайников территории палеовулкана (Государственный природный заповедник Карадагский) и типичного лаколлита (природный заказник «Аю-Даг») Крыма: *Cladonia rangiformis*, *Cladonia convoluta*, *Evernia prunastri*. Установлено, что *Cladonia convoluta* содержит наибольшее количество минеральных веществ, Al, As, Cr, Ni, Pb, Sr, V, Ca и Mg, а также Co, Fe, Li, Mn, Mo и Zn. Напротив, эпифитный лишайник *Evernia prunastri* накапливает максимальное количество B, Se и I. В условиях высокой влажности и пониженной инсоляции Аю-Дага *Evernia prunastri* более интенсивно накапливала все элементы за исключением Ca, Mg, P, Na, B, I, Si. Наиболее сильные межвидовые разли-

чия в накоплении элементов выявлены между *Cladonia convoluta* и *Evernia prunastri* в условиях Карадага для Fe, Li, Mn, Co, Al, V и Cr. Такие различия в условиях повышенной влажности и невысокой инсоляции (Аю-Даг) не превышали 5-6.5 раз.

Ключевые слова: особо охраняемые природные территории, лишайники, элементный состав, Крым.

Введение

Лишайники являются одними из наиболее важных симбиотических организмов Земного шара, активно участвующих в почвообразовании и круговороте углерода и азота [3]. Отсутствие сосудистой системы и пассивная адсорбция воды и минеральных веществ из окружающей среды делает лишайники чувствительными индикаторами загрязнения атмосферы и почвенного субстрата.

Однако, ограниченность сведений о специфике накопления макро- и микроэлементов лишайниками затрудняют их использование в экологическом мониторинге.

Целью работы явилось выявление фоновых уровней накопления макро- и микроэлементов тремя видами лишайников: *Cladonia convoluta*, *Cladonia rangiformis*, *Evernia prunastri* на особо охраняемых природных территориях Крыма в условиях разной инсоляции и влажности воздуха.

Методы

Образцы кладонии оленевидной (*Cladonia rangiformis* Hoffm), кладонии свернутой (*C. convoluta* (Lam.) Anders) и эвернии сливовой (*Evernia prunastri* (L) Ach.) собирали в кустарниковом редколесье Карадага (44°93'61" N, 35°23'33" E) и лесном сообществе «Аю-Дага» (44°33'25.89" N, 34°20'10.72" E) в мае-июне 2018 г. Собранные лишайники высушивали при комнатной температуре до постоянной массы, гомогенизировали и хранили до начала проведения анализа в герметичных полиэтиленовых пакетах. Элементный состав лишайников устанавливали методом ИСП-МС в центре Биотической медицины (Москва). Статистическую обработку результатов осуществляли с использованием ППП Microsoft Office Excel.

Результаты

Уровни накопления макро- и микроэлементов лишайниками изученных территорий обусловлены генетическими особенностями видов, интенсивностью переноса элементов с поверхности моря вместе с аэрозолями и почвенно-климатическими условиями.

Представленные в таблице данные свидетельствуют о том, что межвидовые различия в накоплении элементов могут составлять 10 и более раз. Эти различия более выражены для тяжелых металлов и большинства микроэлементов в более ксерофитных условиях при повышенной инсоляции (Карадаг), чем под пологом леса с относительно высоким уровнем влажности (Аю-Даг). Наиболее сильные межвидовые различия в накоплении элементов выявлены между *Cladonia convoluta* и *Evernia prunastri* в условиях Карадага для Fe (29.8 раз), Li (23.3 раз), Mn (15.8 раз), Co (19.8 раз), Al (16.3 раза), V (13 раз) и Cr (11 раз). Такие различия в условиях повышенной влажности и невысокой инсоляции (Аю-Даг) не превышают 5-6.5 раз.

В условиях высоких температур, интенсивной инсоляции и низкой влажности (Карадаг) *Cladonia convoluta* лидирует по накоплению тяжелых металлов и мышьяка (Al, As, Cd, Cr, Ni, Pb, Sr, V), макроэлементов (за исключением натрия), а также микроэлементов (Co, Cu, Fe, Li, Mn, Mo, Zn).

Таблица

**Элементный состав *Evernia prunastri*, *Cladonia convoluta*
и *C. rangiformis* Карадага и Аю-Дага (мг/кг с.м.)**

	Карадаг			Аю-Даг		
	<i>Evernia prunastri</i>	<i>Caledonia convoluta</i>	<i>Cladonia rangiformis</i>	<i>Evernia prunastri</i>	<i>Caledonia convoluta</i>	<i>Cladonia rangiformis</i>
Зола, %	4.5	9.8	7.3	6.2	5.9	3.9
Al	320 ^a	5205c	1774 ^e	505b	1958d	840f
As	0.64 ^a	5.27c	1.07 ^b	1.15b	2.28d	0.71a
Cd	0.150 ^a	0.12a	0.09 ^d	0.230b	0.310c	0.12a
Cr	0.71 ^a	7.81c	2.25 ^e	1.63b	4.04d	1.10f
Ni	1.01 ^a	12.86c	3.45e	1.91b	4.98d	1.22a
Pb	2.84 ^a	9.28c	3.12 ^a	5.67b	12.12d	4.84b
Sr	15.19 ^a	37.31c	10.53d	20.29b	24.64b	8.44d
V	1.07 ^a	13.89c	4.33e	2.82b	9.34d	3.98e
Ca	3726a	10028b	4946c	4486ac	9028b	2580d
K	2534a	3271bc	2565a	3552b	3049ac	1264d
Mg	675a	2568c	1003d	857bd	868bd	429e
Na	207a	163b	99.04c	244a	139b	91.82c
P	608a	568a	701ab	748b	755a	257c
B	3.76a	2.21b	2.31b	3.77a	1.59c	0.96d
Co	0.23a	4.56c	1.11e	0.51b	2.61d	1.87f
Cu	3.74a	13.22c	4.52b	5.45b	6.86d	3.16a
Fe	435a	12979c	2646e	1170b	5238d	1845f
I	10.89a	2.73b	2.44bc	10.99a	6.41d	2.06c
Li	0.28a	6.51c	1.76e	0.63b	4.11d	1.39f
Mn	20.8a	328.0c	96.98b	110.0be	178d	130e
Se	0.390a	0.170cd	0.140c	0.710b	0.390a	0.210d
Si	29.08ac	26.40a	29.31ac	18.72b	18.24b	34.29c
Zn	23.85a	39.45bc	20.38a	44.00b	34.18c	20.31a

Значения в рядах с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $p > 0.05$.

Среди различных элементов йод и селен наиболее интенсивно переносятся с поверхности моря как с аэрозолями, так и в виде летучих метилированных форм [5, 6]. Интенсивность аккумуляции селена как наземными (*Cladonia convoluta*, *C. rangiformis*), так и эпифитными лишайниками (*Evernia prunastri*), в 1.5-2 раза выше в условиях высокой влажности (Аю-Даг), чем в засушливых условиях Карадага с повышенной инсоляцией. Что касается йода, то максимальный уровень его накопления не зависит от места произрастания лишайника и характерен для эпифитного вида эвернии. Существенно более низкие уровни аккумуляции этого элемента характерны для наземных видов лишайников, причем более высокий уровень влажности (Аю-Даг) усиливает аккумуляцию йода не только в кладонии свернутой, но и в кладонии оленевидной.

Бор является микроэлементом, характерным для территорий древних вулканов, что объясняет более интенсивное накопление этого элемента на территории Карадага [2]. Интересно в связи с этим отметить, что лидирует по накоплению бора *Evernia prunastri*.

Интенсивность вариации в содержании тяжелых металлов убывает в ряду: *Cladonia convoluta* > *Evernia prunastri* > *Cladonia rangiformis*. Для микроэлементов эта зависимость меняется на: *Evernia prunastri* > *Cladonia convoluta* > *Cladonia rangiformis*. Наиболее стабильные уровни накопления макроэлементов характерны для *Evernia*

prunastri и максимальные различия зарегистрированы у *Cladonia convoluta*. Для кладонии свернутой региональные различия в накоплении большинства элементов значительны, что, возможно, связано с огромной аккумулярующей способностью этого вида лишайников и специфическим строением талломов.

Среди исследованных элементов наибольшие концентрации для наземных видов лишайников характерны для железа и кальция, а для эпифитной *Evernia prunastri* – кальция и калия, что предполагает более интенсивный перенос минеральных веществ у эвернии от растения по сравнению с кладониями, получающими основную массу минералов через атмосферный перенос пыли. Действительно, наземные виды содержат больше минеральных веществ в условиях открытой местности (ГПЗ «Карадагский»), что предполагает значительно больший вклад компонентов почвы, поступающих с пылью, в элементный состав этих видов. Напротив, эпифитный лишайник *Evernia prunastri* более обогащен минералами в условиях Аю-Дага под пологом леса, где запыленность минимальна, однако, повышенная влажность способствует активации процессов переноса элементов от растения к эпифитному лишайнику [1].

Среди трех исследованных видов лишайников наиболее широкое применение в экологическом мониторинге получила *Evernia prunastri* [4], что в значительной степени обусловлено широким ареалом ее произрастания, а также отсутствием прямого воздействия почвенного субстрата. Сравнение полученных данных элементного состава эвернии сливовой с опубликованными в литературе свидетельствует о фоновых уровнях накопления Pb, Zn, Fe, Cr и Cu на исследованных территориях, близкими по значениям к соответствующим показателям для данного вида, изученного на территории Литвы, Италии и Турции.

Заключение

Полученные результаты позволили впервые установить фоновые уровни накопления макро- и микроэлементов тремя наиболее распространенными видами лишайников ГПЗ «Карадагский» и природного заказника «Аю-Даг», а также выявить специфические особенности уровней аккумуляирования элементов, что представляется основополагающим в осуществлении биоиндикации состояния окружающей среды исследованных территорий.

Литература

1. Бязров Л. Г. Лишайники в экологическом мониторинге. – М.: Научный мир, 2002.
2. Голубкина Н. А., Лапченко В. А. Химический и элементный состав грунтовых вод Карадагского природного заповедника // Микроэлементы в медицине. – 2018. – № 4 (в печати).
3. Chen J., Blume H.-P., Beyer L. Weathering of rocks induced by lichen colonization// Catena. – 2000. – Vol. 39. – P. 121–146.
4. Conti M. E., Tudino M., Stripeikis J., Cecchetti G. Heavy metal accumulation in the lichen *Evernia prunastri* transplanted at urban, rural and industrial sites in central Italy// J. Atmosph. Chem. – 2004. – Vol. 49. – P. 83–94.
5. Nash T. H. Lichen biology. Chapter 12. Nutrients, elemental accumulation, and mineral cycling. – Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2008. – P. 234–251.
6. Wen H., Carignan J. Ocean to continent transfer of atmospheric Se as revealed by epiphytic lichens// J. Env. Poll. – 2009. – Vol. 157. – P. 2790–2797.

PECULIARITIES OF CHEMICAL ELEMENTS ACCUMULATION BY LICHENS ON UNPOLLUTED TERRITORIES

T. S. Naumenko, A. V. Lapchenko, H. V. Lapchenko, N. A. Golubkina,
N. A. Bagrikova, K. C. Krainuk

Macro and trace element accumulation by 3 lichen species (*Cladonia rangiformis*, *C. convoluta*, *Evernia prunastri*) gathered on the territory of ancient paleovolcano (Karadag nature reserve) and typical laccolite (Au-Dag natural reserve) was determined for the first time. *Cladonia convoluta* was shown to contain the highest levels of minerals Al, As, Cr, Ni, Pb, Sr, V, Ca and Mg, and also Co, Fe, Li, Mn, Mo and Zn. On the contrary, epiphytic lichen *Evernia prunastri* accumulated the highest levels of B, Se and I. Elevated humidity and decreased insulation of Au-Dag induced more intensive accumulation of all elements by *Evernia prunastri* except Ca, Mg, P, Na, B, I and Si compares to terrestrial lichens. The highest interspecies differences in elements accumulation were demonstrated between *Cladonia convoluta* and *Evernia prunastri* on Karadag for Fe, Li, Mn, Co, Al, V and Cr. Such differences in conditions of elevated humidity and relatively low insulation (Au-Dag) did not exceed 5-6.5 times.

Keywords: specially protected territories, lichens, element composition, Crimea

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ РАСТЕНИЙ СЕВЕРА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

М. Г. Опекунова, А. Ю. Опекунов, С. Ю. Кукушкин, И. Ю. Арестова
Санкт-Петербургский государственный университет,
Институт наук о Земле СПбГУ, г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: m.opekunova@mail.ru

На основе многолетних исследований (1993-2018 гг.) дана оценка изменения химического состава растений в районе разработки нефтегазоконденсатных месторождений севера Западной Сибири (ЯНАО). Определено содержание тяжелых металлов (Cu, Zn, Fe, Pb, Cd, Ni, Co, Cr, Ba, Cd и Mn) в 17 видах растений тундровых и лесотундровых ландшафтов, представителях различных жизненных форм. Выявлены индикаторы ранних трендов трансформации природной среды под влиянием антропогенной нагрузки, к которым отнесено изменение химического состава *Ledum decumbens* и *Cladonia stellaris*. Показана роль биологических методов индикации при малозаметных изменениях состояния ландшафтов в условиях газоконденсатных месторождений.

Ключевые слова: растения, почвы, тяжелые металлы, загрязнение, нефтегазоконденсатные месторождения, север Западной Сибири.

Введение

Химический состав растений определяется биологическими особенностями растений (систематическим положением видов, фенологической фазой, возрастом и т. д.) и условиями окружающей среды (химизмом почв, степенью доступности химических элементов растениям и др.) [4, 7, 9 и др.]. Освоение нефтегазоконденсатных месторождений севера Западной Сибири приводит к загрязнению всех компонентов ландшафта и накладывается на разновозрастную (главным образом, послепожарную) нарушенность природной среды. Многофакторное и разноплановое воздействие сопровождается

ся изменением аккумуляции микроэлементов в надземной биомассе растений, уровень содержания и соотношение которых зависит от видовой принадлежности, комплекса внешних воздействий и нарушенности ландшафтов.

Определение реакции растений на техногенное загрязнение имеет большое практическое значение в связи с получением репрезентативных данных о степени загрязнения компонентов природных систем в труднодоступных районах севера Западной Сибири. Поэтому одной из задач исследования является выявление наиболее информативных биоиндикаторов для оценки техногенной трансформации природно-территориальных комплексов (ПТК) в зоне воздействия объектов нефтегазодобычи.

Методы

Объектом исследований стали тундровые, лесотундровые и северотаежные ландшафты на территории 30 НГКМ в Пуровском, Тазовском, Красноселькупском и Надымском районах Тюменской области ЯНАО (Надым-Пур-Тазовское междуречье). В основу проводимых работ положен сравнительный анализ компонентов ПТК, расположенных на различном удалении от источников загрязнения, по мере нарастания техногенного стресса: ненарушенные природные комплексы тундр, лесотундр и торфяников Надым-Пур-Тазовского междуречья → слабонарушенные природные ПТК под влиянием локальных источников нефтегазовых промыслов (участки единичных проездов тяжелой техники, факельные установки) → техногенно нарушенные ПТК в районах нефтегазодобычи (участки геолого-разведочных работ, размещения шламовых амбаров, разъездов тяжелой техники, аварийных разливов, линии трубопроводов) → техногенно трансформированные ПТК на объектах инфраструктуры нефтегазовых промыслов (производственные и кустовые площадки, установки комплексной подготовки газа, вахтовые поселки, автозимники, отсыпные дороги, песчаные карьеры).

Подробно методика исследований изложена в работах [3, 5, 6]. Всего за период 1993–2018 гг. обследовано более тысячи пробных площадей, на которых выполнены комплексные ландшафтно-экологические описания, включающие детальную характеристику всех компонентов ПТК, и проведен отбор проб почв и 17 видов растений на химический анализ: *Larix sibirica* Ledeb., *Betula nana* L., *Salix lanata* L., *Arctous alpina*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Empetrum subholoarticum*, *Ledum decumbens* (Ait.) Lodd.ex Steud., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Vaccinium uliginosum* L., *Rubus chamaemorus* L., *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt., *Aulacomnium turgidum* (Wahlenb.) Schwägr., *Cetraria islandica* (L.) Ach., *C. delisei* (Bory ex Schaer.) Nyl., *C. cucullata* (Bellardi) Ach., *Cladonia alpestris* (L.) Rubh., *Cladonia rangiferina* (L.) F. H. Wigg.

Содержание тяжелых металлов (ТМ: Cu, Zn, Fe, Pb, Cd, Ni, Co, Cr, Ba, Cd и Mn) в почвах и растениях определялось в Центральной лаборатории ВСЕГЕИ им. А.П. Карпинского методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС).

Результаты

Важным показателем минерального обмена растений является общее содержание минеральной части (зольность). Содержание золы в изученных растениях фоновых участков невелико и изменяется от 0,25% и до 5,61%. Минимальные величины характерны для лишайников *Cladonia stellaris*, *Cetraria islandica* и *C. delisei*, максимальные – для листьев ерника *Betula nana*. При росте техногенной нагрузки во всех изученных видах растений отмечено значимое увеличение зольности. Наиболее существенные различия установлены в пробах мхов *P. schreberi*, *A. turgidum* и лишайников *C. stellaris*, *C. islandica*, *C. rangiferina*. Так, например, в лишайниках *C. stellaris* на загрязненных участках зольность увеличивается в 4–9 раз по сравнению с фоновыми значениями,

в мхах *P. schreberi* – в 3-6 раз, а в кустарничках *Vaccinium uliginosum*, *V. vitis-idaea*, *E. nigrum* – в 1,5-2 раза.

Растения севера Западной Сибири отличаются в целом низким содержанием химических элементов, концентрация большинства металлов ниже кларка [2]. Исключения составляют Mn, Ba и Cd, уровень которых в большинстве растений выше кларка. Следует отметить, что изученные виды характеризуются ярко выраженными биогеохимическими особенностями. Так, например, в фоновых условиях *L. decumbens* отличается повышенным содержанием Mn и Ba, *Empetrum nigrum* – Mn и Na, *V. uliginosum*, *V. vitis-idaea* – Mn, Zn и Ba, листья и ветви ерника *B. nana* – Zn, Mn, Cd, морошка *R. chamaemorus* – Mn, Zn, Cu и Cd. Лишайники *Cladonia stellaris* и *C. rangiferina* концентрируют Pb и Fe, а *C. islandica* и *C. cucullate* – Pb и Na. Высокое содержание всех микроэлементов установлено в мхах *P. schreberi* и *A. turgidum*, но максимум аккумуляции Ba, Mn и Zn принадлежит кустарничкам. Кустарнички в целом отличаются относительно небольшой дисперсией содержания ТМ в отличие от лишайников, для которых типичен значительный разброс концентраций металлов.

Интенсивная латеральная миграция химических веществ в фоновых условиях северной тайги способствует увеличению содержания всех изученных металлов в подчинённых фациях с минеральными почвами. При этом содержание химических элементов в растениях на торфяниках существенно ниже.

На участках с высокой техногенной нагрузкой характерен рост концентрации ТМ в растениях. В районе УКПГ наблюдается повышенное содержание Fe, Na, Cr, V и Co в *C. stellaris*, *B. nana*, *L. decumbens* и *E. nigrum*, что хорошо согласуется с увеличением валового содержания и подвижных форм этих металлов в почвах.

Вблизи разлива шламового раствора отмечается увеличение содержания всех металлов в растениях, при этом концентрация Zn, Mn и Ni значительно выше фоновых содержаний и кларка [2]. Максимальные концентрации Fe, Na, Ba, Sr, Cu, Ni, Pb, Cr, V и Co наблюдаются в 100 м от пятна загрязнения. Кустарнички *V. uliginosum*, *V. vitis-idaea* и *L. decumbens*, а также *E. nigrum*, являясь привычными концентраторами Mn, характеризуются снижением его содержания. Это вызвано антагонистическим взаимодействием в тканях растений Mn с Fe, Cr, V, Cd и Pb при антропогенном загрязнении [1, 8]. Сопряженный анализ изменения химического состава почв и растений на участке загрязнения шламовым раствором показал, что индикаторными элементами техногенного загрязнения в растениях следует считать Fe, Na, Ba, Zn, Sr, Cr и V.

Показателями общего загрязнения при освоении месторождения (строительство дорог, объектов инфраструктуры промысла, использование автотранспорта и др.) служат повышенные количества Zn, Ni, Pb, Cd и Co в наземной биомассе растений. При этом высокими концентрациями всех элементов характеризуются лишайники *C. stellaris*, *C. delisei* и *Cetraria islandica*. Значительное увеличение концентрации ТМ характерно также для *P. schreberi* и *E. nigrum* и листьев *B. nana*, что указывает на их высокие индикаторные свойства при техногенном загрязнении. Однако применение этих видов ограничено в связи с низким обилием и стеноитопностью, что противоречит основным требованиям, предъявляемым к видам-биоиндикаторам [4]. Возможность использования листьев широко распространенной *B. nana* снижена тем, что химический состав однолетних тканей крайне изменчив под влиянием погодных условий конкретного года.

Наиболее распространенными видами на исследованной территории являются *Ledum decumbens* и *Cladonia stellaris*, что при хороших индикационных свойствах позволяет использовать изменения их химического состава в качестве основного индикатора антропогенного воздействия. Для всех изученных СМ, расположенных в северной тайге, в типичных и полигональных тундрах, отмечены следующие закономерности накопления ТМ: *L. decumbens* в условиях антропогенной нагрузки активно концентрирует

литофильные и сидерофильные элементы. Индикаторами загрязнения служат существенные превышения регионального геохимического фона: Ni, Cd, Pb и Sr в 1,5–2,5 раза, Cr, Co, Fe – в 5–7 раз, V и Sc – в 8,5 раз. Отмеченное ранее увеличение зольности определяется, главным образом, накоплением Ba, Cr, V, Co, Sr, Fe и Ni. На это указывает достоверная положительная корреляция концентрации этих металлов с содержанием минеральной части. В лишайнике *C. stellaris* увеличение техногенной нагрузки индицируется высокими концентрациями практически всех ТМ.

Метод главных компонент факторного анализа показал, что химический состав *L. decumbens* и *C. stellaris* на изученной территории определяется природными процессами. Однако анализ парагенетических ассоциаций свидетельствует о том, что вблизи производственных объектов на формирование химического состава растений оказывают влияние поступление шламовых вод в почву и аэротехногенный перенос поллютантов от факельных установок и с отсыпки производственных площадок и автодорог.

Заключение

Таким образом, сопоставление микроэлементного состава растений фоновых и контрольных станций мониторинга и результатов факторного анализа позволяет выделить основные виды антропогенного загрязнения растительного покрова. На лишайнике основное воздействие оказывает аэротехногенный перенос. Типоморфными элементами загрязнения материалом отсыпок выступают Sr и Pb, буровыми растворами – Ba. Химический состав багульника *L. decumbens* более чувствителен к техногенезу: в его структуре отражаются оба источника загрязнения в качестве самостоятельных биогеохимических ассоциаций.

Работа выполнена при поддержке гранта РГО-РФФИ № 17-05-41070.

Литература

1. Алексеева-Попова Н. В., Дроздова И. В., 1996. Особенности минерального состава растений и почв на ультраосновных породах Усть-Бельского горного массива (среднее течение реки Анадырь). II. Растения. Бот. журн. – 1996. – Т. 81. – № 5. – С. 70–78.
2. Добровольский В. В. Основы биогеохимии. – М.: Изд. центр Академия, 2003.
3. Опекунов А. Ю., Опекунова М. Г., Кукушкин С. Ю., Ганул А. Г. Оценка экологического состояния природной среды районов добычи нефти и газа в Ямало-Ненецком автономном округе // Вестник СПбГУ. Сер. 7 «Геология, география». – 2012. – № 4. – С. 87–101.
4. Опекунова М. Г. Биоиндикация загрязнений: Учеб. пособие. – 2-е изд. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2016.
5. Опекунова М. Г., Опекунов А. Ю., Кукушкин С. Ю., Арестова И. Ю. Оценка трансформации природной среды в районах разработки углеводородного сырья на севере Западной Сибири / Сибирский экологический журнал. – 2018. – № 1. – С. 122–138. DOI: 10.15372/SEJ20180111
6. Опекунова М. Г., Опекунов А. Ю., Арестова И. Ю., Кукушкин С. Ю., Спасский В. В., Никитина М. А., Елсукова Е. Ю., Шейнерман Н. А., Недбаев И. С. Использование методов биоиндикации и биотестирования в оценке экологического состояния территории газоконденсатных месторождений севера Западной Сибири // Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле. – 2018. – Т. 63. – Вып. 3. – С. 326–344. <https://doi.org/10.21638/spbu07.2018.305>
7. Brooks R. R. Plants that hyperaccumulate heavy metals. Wallingford: CAB International, 1998.
8. Kabata-Pendias A. Trace elements in soils and plants, 4th ed. Taylor & Francis Group, Boca Raton London New York, 2011.
9. Markert B. A., Breure A. M., Zechmeister H. G. (Eds). Bioindicators & Biomonitors. Principles, Concepts and Applications. Pergamon, 2003.

INFLUENCE OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF PLANTS OF THE NORTH OF WESTERN SIBERIA

M. G. Opekunova, A. Yu. Opekunov, S. Yu. Kukushkin

The paper is directed to the changes in the chemical composition of plants in the area of development of oil and gas condensate fields in the north of Western Siberia. The content of heavy metals (Cu, Zn, Fe, Pb, Cd, Ni, Co, Cr, Ba, Cd and Mn) was determined in 17 tundra and forest-tundra plant species, representatives of various life forms. Indicators of early trends in the transformation of ecosystems under the influence of anthropogenic impact have been identified, which include changes in the chemical composition of *Ledum decumbens* and *Cladonia stellaris*. The role of biogeochemical indication methods of barely noticeable changes in the state of the environment in the territory of gas condensate fields is shown.

Keywords: plants, soils, heavy metals, pollution, oil and gas condensate fields, north of Western Siberia.

НАКОПЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ РАСТЕНИЯМИ ЦИКОРИЯ ОБЫКНОВЕННОГО (*CICHORIUM INTUBUS* L.) НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Е. Г. Остроухова, А. И. Сысо

Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения
Российской академии наук, г. Новосибирск, Россия,
e-mail: suetina.lena@yandex.ru

На юге Западной Сибири эколого-биогеохимическая оценка содержания химических элементов в растениях цикория, произрастающих в экотопах с различным уровнем антропогенной нагрузки, показала отсутствие превышений допустимых значений для растительного лекарственного сырья по требованиям Государственной Фармакопеи и БАД на растительной основе по СанПиН 2.3.2.1078-01. Исследованное растительное сырьё может быть использовано в лекарственных и пищевых целях.

Ключевые слова: *Cichorium intubus* L., почва, химические элементы, антропогенная нагрузка, предельно допустимая концентрация, растения.

Введение

Цикорий обыкновенный (*Cichorium intybus* L.) – ценное лекарственное растение, которое также используется в пищевой промышленности. Он относится к многолетним травянистым растениям семейства *Asteraceae*. Корни *C. intubus*, которые являются источником инулина и имеют наибольшую лекарственную ценность, выращиваются сейчас в промышленных масштабах [10]. Весьма известным является растворимый напиток из корня цикория, применяемый в качестве заменителя кофе; у культивируемых сортов молодые прикорневые листья используют как добавку к салатам [8].

Помимо биологически активных веществ (инулин, дубильные вещества, аскорбиновая кислота, каротин, витамины группы В и др.) [8], растения *C. intubus* могут накапливать широкий ряд микроэлементов, которые также оказывают воздействие на организм человека и заслуживают отдельного внимания [2]. Необходимо принимать во

внимание, что данный вид характеризуется широким ареалом распространения, в том числе на антропогенно преобразованных территориях, где зачастую рассматривается как индикаторный [4], при этом отмечалось повышенное накопление свинца корнями *C. intubus*, произрастающего в транспортных зонах, по сравнению с рекреационными [3]. В связи с этим весьма актуальным становится определение содержания химических элементов (ХЭ) в подземной части *C. intubus*, произрастающего на юге Западной Сибири в экотопах с различным уровнем антропогенной нагрузки.

Цель данной работы – исследовать элементный химический состав корней *Cichorium intybus* L. и оценить его с точки зрения экологической безопасности.

Методы

Объектами исследования были образцы подземной части *C. intubus*, отобранные по общепринятым стандартным методикам и в соответствии с требованиями Государственной Фармакопеи [1] на фоновых и антропогенно преобразованных территориях. Элементный химический состав растений определяли после сухого озоления методом атомно-эмиссионного спектрометрического анализа. Концентрацию As и Hg определяли по ГОСТ Р 51766-2001 и ГОСТ Р 53183-2008 (их содержание находилось ниже предела обнаружения). Все анализы выполнены в трех аналитических повторностях, данные приведены в пересчете на абсолютно сухое вещество. В качестве стандартов использованы образцы листа березы (ЛБ-1) и элодии канадской (ЭК-1). Полученные результаты определения ХЭ в стандартах укладывались в их аттестованные значения.

Математическая обработка полученных данных выполнена с использованием пакетов программ STATISTICA 6.1 и Snedecor V5. Так как в исследуемых выборках зачастую наблюдалось логнормальное распределение, были рассчитаны медианные значения (Med), доверительные интервалы (ДИ) и проведен непараметрический дисперсионный анализ по методу Краскела-Уоллиса. Критический уровень значимости p во всех случаях принимался равным 0,05.

Результаты

Элементный химический состав подземной части *C. intubus* характеризуется высокой степенью вариабельности. Между количеством химических элементов в растениях, произрастающих на фоновых и антропогенно преобразованных территориях, статистически значимой разницы выявлено не было, что уже отмечалось нами ранее для представителей сем. *Asteraceae* [7]. В таблице представлены обобщенные данные по содержанию некоторых микроэлементов в корнях *C. intubus* из различных экотопов.

Таблица

Содержание микроэлементов в корневой системе *Cichorium intybus* L. на юге Западной Сибири, мг/кг

ХЭ	Cd	Co	Pb	Cr	Ni	Cu	Zn	Mn
<i>C. intubus</i>	<u>0,14</u> 0,3-0,44	<u>0,38</u> <u>0,11-1,11</u>	<u>0,7</u> <u>0,2-3,3</u>	<u>2,3</u> <u>0,7-7,5</u>	<u>2,3</u> <u>1,0-8,0</u>	<u>18</u> <u>9-39</u>	<u>28</u> <u>8-81</u>	<u>38</u> <u>14-92</u>
Кларк*	0,005	<u>1,0</u>	<u>2,5</u>	<u>1,8</u>	<u>2,0</u>	<u>10</u>	<u>50</u>	<u>240</u>
PR**	0,05	<u>0,2</u>	<u>1,0</u>	<u>1,5</u>	<u>1,5</u>	<u>10</u>	<u>50</u>	<u>200</u>

Примечание: в числителе – медиана, в знаменателе – доверительный интервал, * – кларк в растительности суши [6], ** – «Reference Plant» [9].

Можно отметить, что концентрация исследованных ХЭ в целом соответствует кларкам ХЭ в растительности суши [6] и содержанию в «обобщенном эталонном расте-

нии» [9], хотя несколько ниже у Mn и значительно выше у Cd (впрочем, у данного элемента на порядок отличаются и сами величины кларка и «PR»). В более ранних региональных исследованиях элементного химического состава *C. intubus*, произрастающего в г. Новосибирске [3], были определены относительно близкие концентрации Co, Cr, Cu, Ni и Zn, но более высокие количества Pb в растениях возле автомагистралей и Cd – на всей территории города; в пойме р. Оби на территории г. Бердска [5] растения цикория содержат (мг/кг) около 4,6 Cu, 17,3 Zn и 0,16 Cd.

Заключение

По содержанию нормируемых ХЭ корни цикория обыкновенного, произрастающего на юге Западной Сибири на территориях с различным уровнем антропогенного воздействия, соответствуют требованиям Государственной Фармакопеи для лекарственного растительного сырья и СанПиН 2.3.2.1078-01 для БАД на растительной основе. Исследованное растительное сырьё экологически безопасно, может быть использовано в лекарственных и пищевых целях.

Литература

1. Гос. фармакопея Российской Федерации. – XIV изд. – Т. II. – М.: ФЭМБ, 2018.
2. Ловкова М. Я., Рабинович А. М., Пономарева С. М. и др. Почему растения лечат. – М.: Ленанд, 2014.
3. Мяделец М. А., Сиромля Т. И. Особенности экологического состояния почвенно-растительного покрова вдоль автомагистралей и в рекреационных зонах г. Новосибирска // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 5. – URL: www.science-education.ru/128-22706 (дата обращения: 19.11.2015).
4. Олейникова Е. М. Популяционная биология *Cichorium intybus* L. (Asteraceae) бассейна Среднего Дона // Экология. – 2004. – № 6. – С. 423–429.
5. Попп Я. И., Бокова Т. И. Содержание цинка, меди и кадмия в различных видах лекарственных растений, произрастающих в поймах рек Иртыша и Оби // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. – 2017. – № 1 (42). – С. 84–92.
6. Романкевич Е. А. Живое вещество Земли (биогеохимические аспекты проблемы) // Геохимия. – 1988. – № 2. – С. 292–306.
7. Сиромля Т. И., Остроухова Е. Г. Содержание и особенности распределения химических элементов в растениях сем. Asteraceae юга Западной Сибири // Материалы III Междунар. школы-семинара молодых исследователей «Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах». – Тюмень: Изд-во ТюмГУ, 2018. – С. 279–285.
8. Универсальная энциклопедия лекарственных растений. – Мн.: Книжный Дом; М.: Махаон, 2000.
9. Markert B. Establishing of 'reference plant' for inorganic characterization of different plant species by chemical fingerprinting // Water, Air, and Soil Pollution. – 1992. – Vol. 64. – P. 533–538.
10. Van Arkel J., Vergauwen R., Sévenier R. et al. Sink filling, inulin metabolizing enzymes and carbohydrate status in field grown chicory (*Cichorium intybus* L.) // Journal of Plant Physiology. – 2012. – Vol. 169. – № 15. – P. 1520–1529.

ACCUMULATION OF CHEMICAL ELEMENTS BY *CICHORIUM INTUBUS* L. AT WESTERN SIBERIA SOUTH

E. G. Ostroukhova, A. I. Syso

At Western Siberia south there has been carried out the estimation of chemical elements content in *Cichorium intybus* L. plants growing at ecotopes with different levels of industrial

pressure. It shows no exceeding of permissible values for vegetative medical raw material as required by State Pharmacopeia and by the regulations for biologically active admixtures. Studied vegetative raw material can be used for medicine and alimental purposes.

Keywords: *Cichorium intubus* L., soil, chemical elements, industrial pressure, антропогенная нагрузка, maximum allowable concentration, plants.

**ЕСТЕСТВЕННЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ФАКТОРЫ,
ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ ИСТОЧНИКИ И КОНЦЕНТРАЦИИ РЗЭ
В АТМОСФЕРНЫХ ВЫПАДЕНИЯХ И ПОЧВАХ
ЦЕНТРАЛЬНОГО ЛЕСНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО
БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА (ЦЛГПБЗ)
(ВАЛДАЙСКАЯ ВОЗВЫШЕННОСТЬ, РОССИЯ)**

Т. В. Пампура^{1,2}, О. В. Зарубина²

¹*Институт физико-химических и биологических
проблем почвоведения РАН, г. Пушкино, Россия,
e-mail: pamputra@mail.ru*

²*Институт геохимии СО РАН, г. Иркутск, Россия*

Целью работы была реконструкция истории атмосферных выпадений редкоземельных элементов (REE) на протяжении голоцена, а также изучение влияния антропогенных атмосферных выпадений и процессов внутрипочвенной дифференциации на содержание и особенности спектров REE в почвах. Исследования верхового торфа верхового болота Стросельский Мох показали, что в до-индустриальный период высокие атмосферные выпадения REE наблюдались во время климатических похолоданий. В индустриальный период максимальные выпадения наблюдались в середине 50–70 гг. XX века и совпадали по времени с добычей бурого угля в г. Нелидово. Уровень максимальных выпадений в XX веке сопоставим с выпадениями Малого ледникового периода и превышает до-антропогенный фон в 30–40 раз. Современные (2011 г.) выпадения REE в 4 раза превышают средние значения до-антропогенного периода. Характеристики спектров REE показали, что они близки к спектрам подстилающей торфяную залежь гиттии, и определяются местным литологическим фоном, как в до-, так и в индустриальный периоды. Возможная роль угольной пыли терриконов Нелидово в качестве источника редких земель отмечена только для самых современных (2010–2011 гг.) выпадений. Распределение REE в почве регулируются скорее особенностями дерново-подзолистого процесса и литологической неоднородностью почвообразующих пород, чем антропогенным фактором. Исключением являются самые верхние горизонты, где источником REE, судя по спектрам, может быть угольная пыль терриконов Нелидово.

Ключевые слова: редкоземельные элементы в торфе и почве, экологические реконструкции, климатические реконструкции, омбротрофный торф, атмосферные выпадения, голоцен, редкоземельные элементы

Введение

Редкоземельные элементы (REE) широко используются в новейших технологиях, что приводит к росту их мировой добычи, переработки и техногенному рассеиванию в окружающей среде. С 1970-х годов добыча REE выросла почти в десять раз, причем абсолютным лидером среди производителей является Китай. Основные антропогенные

источники REE в окружающей среде – добыча и переработка руд, нефтепереработка, сжигание угля, утилизация бытовой электронной техники. Есть данные о высокой токсичности REE [8]. Загрязнение почв может происходить посредством атмосферного переноса от местных или удаленных источников и выпадения на поверхность с осадками. Ряд работ показывает значительное возрастание концентраций REE вблизи локальных источников загрязнения [6, 7]. Встает вопрос, приобрело ли загрязнение этими элементами глобальные масштабы или оно носит исключительно локальный характер? Цель нашей работы – реконструкция истории атмосферных выпадений редкоземельных элементов на протяжении голоцена, а также изучение влияния атмосферных выпадений и процессов внутрипочвенной дифференциации на содержание и особенности спектров редкоземельных элементов в почвах на территории биосферного заповедника, удаленного от антропогенных источников REE.

Методы

Полевые работы проводились на территории Центрального Лесного Государственного Природного Биосферного Заповедника (ЦЛГПБЗ), Тверская область, южная часть Валдайской Возвышенности. Территория заповедника удалена от больших дорог и крупных промышленных центров. Из местных источников следует учитывать добычу бурого угля в 40 км от заповедника, которая велась в 1948–1996 гг., а терриконы до сих пор находятся в районе заброшенных шахт около города Нелидово.

В качестве объекта для реконструкции атмосферных выпадений REE выбрано классическое верховое болото Старосельский Мох (56.47588°СШ, 33.04627°ВД), единственным источником минерального вещества в котором являются атмосферные выпадения. Площадь болота – 617 га, максимальная глубина – 5.5 м (около 9800 лет BP), мощность верхового торфа – примерно 3.6 м (5400 лет BP). Широкий временной охват реконструкции необходим для оценки уровня колебаний и источников выпадений REE в до-антропогенный период под влиянием естественных факторов. Это дает возможность сравнить источники и потоки REE Антропоцена с естественным фоном.

Верхняя часть торфа была датирована по ^{210}Pb (модель линейной регрессии (LRM)). Проверка модели производилась по положению в профиле торфа пика ^{137}Cs , отвечающему чернобыльской аварии 1986 г. Нижняя часть торфа была датирована радиоуглеродным методом, определение активности ^{14}C проводили при помощи ускорительной масс-спектрометрии. Полученные даты (^{14}C и ^{210}Pb) использованы для построения временной модели накопления торфа (Age-Depth model) при помощи программы *Bchron* на языке программирования R [5]. Модель дает возможность рассчитать возраст и 95% доверительный интервал для любых глубин профиля.

Для исследования поведения REE в почве изучен разрез дерново-подзолистой почвы на вершинной поверхности близлежащей моренной гряды (56.46833°СШ, 33.01484°ВД). Почва сформировалась на пылеватых суглинках, постилаемых моренными песками.

Образцы бурого угля (в качестве возможного антропогенного источника REE) отбирали на терриконах шахты №3 (56.24788°СШ, 32.78986°ВД), г. Нелидово.

Определения элементного состава. Образцы бурого угля и почвы сплавляли с металлом лития в высокочастотной индукционной печи при последующем разложении плавня смесью перегнанных кислот HF и HNO_3 . Образцы торфа после озоления разлагали при нагревании в смеси HF и HNO_3 . Определение элементного состава проводили на ИСП-масс-спектрометре NexION 300D PerkinElmer с квадрупольным масс анализатором в ИГХ СО РАН, г. Иркутск. Полнота извлечения РЗЭ 90-95%.

Содержания лантаноидов нормировали по их содержаниям в RPSC (составная проба глинистых сланцев Русской платформы), рассчитывали европиевую (Eu/Eu^*) и

цериевую аномалии (Ce/Ce^*). Отношения легких редкоземельных элементов (LREE) к тяжелым (HREE) определяли как отношение La/Yb .

Результаты

Реконструкция атмосферных выпадений REE в голоцене. Распределение концентраций REE в профиле торфа коррелирует с содержанием золы и таких литогенных консервативных элементов, как Li, Al, Ti, Sc. По-видимому, волнообразное синхронное изменение этих характеристик связано с изменениями потоков атмосферной пыли. В до-антропогенный период они определяются климатическими изменениями (похолодания, сокращение растительного покрова, усиление почвенной эрозии и силы ветра) и вулканической активностью. В антропогенный период к этим факторам добавляются последствия сельскохозяйственной и индустриальной деятельности человека, увеличивающие поступление REE как за счет общего увеличения потока пыли (вырубки лесов и распашки земель, развитие транспорта, индустрия, добычи и сжигания горючих полезных ископаемых и т. д.), так и за счет целенаправленной добычи, производства и утилизации собственно REE.

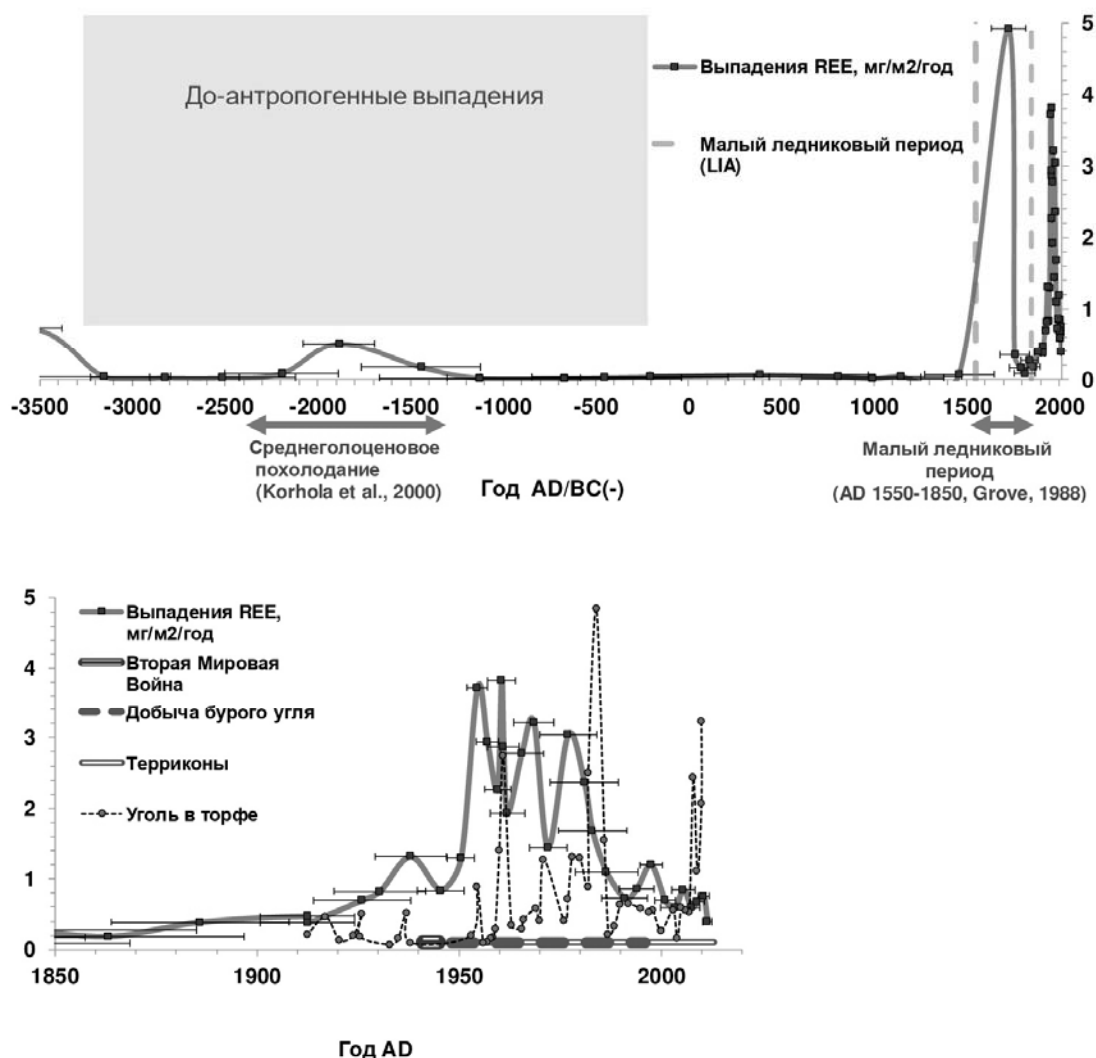


Рис. 1. Вверху: выпадения REE в голоцене (по оси времени показаны средние значения для интервала $\pm$ стандартное отклонение). Внизу: выпадения REE в 1850–2012 гг., содержание частиц угля в торфе, количество частиц на $\text{cm}^2/3000$ [4]. Показаны периоды Второй Мировой Войны, добычи бурого угля в г. Нелидово и время существования терриконов

Для реконструкции до-антропогенных атмосферных выпадений исследовали часть разреза торфа верхового болота Стросельский Мох старше ~ 2000 лет (минимальное возможное антропогенное влияние). Протяженность интервала, характеризующего до-антропогенные выпадения, ограничена нижней границей омбротрофной части торфяника, где источником минерального вещества являются исключительно атмосферные выпадения. Исследование показало, что в до-антропогенный период (200–3200 лет BC), атмосферные выпадения REE колебались в пределах 0.02–0.5 мг/м²/год, среднее значение составляло 0.1 ± 0.05 (se) мг/м²/год (рис. 1). В этот период наибольшие выпадения REE регистрировались во времена средне-голоценового похолодания [3]. Самые низкие выпадения REE соответствовали климатическим оптимумам. Самые высокие выпадения наблюдались уже в антропогенную эпоху (примерно 5 мг/м²/год), но связаны скорее с климатическим фактором, а не антропогенным, и совпадают по времени с Малым ледниковым периодом (LIA, 1550–1850) [2., 3]. Начиная с XVII в. выпадения никогда не были такими низкими, как в периоды климатических оптимумов в до-антропогенные времена. В XIX в. начался рост выпадений вплоть до максимальных значений 3–4 мг/м²/год в 50–70-е гг. XX века (чуть меньше максимума во времена малого ледникового периода и в 30–40 раз выше до-антропогенного среднего фона). Период максимальных пылевых потоков совпадает с периодом добычи бурого угля с 1948 по 1996 гг. в 40 км от заповедника (Нелидово). В этот период также отмечается высокая концентрация частиц угля в торфе (рис. 1). С конца 90х годов XX века наблюдается уменьшение пылевых потоков, современные (2011 г.) выпадения REE составляют 0.4 мг/м²/год, что в четыре раза превышает средние значения для до-антропогенного периода.

Характеристики спектров REE показали, что они близки к спектрам подстилающей торфяную залежь гиттии и, по-видимому, определяются местным литологическим фоном, как в до-, так и в индустриальный периоды. Исключением являются современные выпадения (2010–2011 гг.), которые также характеризуются высоким содержанием частиц угля [4] (рис.1). Спектры REE бурого угля и современных атмосферных выпадений схожи между собой в центральной части спектра и в отношении аномалий Eu и Ce (рис. 2а). Однако атмосферные выпадения обогащены легкими REE по сравнению с бурым углем, возможно, вследствие дифференциации в процессе атмосферного транспорта. Другим возможным механизмом обогащения легкими REE может быть взаимодействие REE угольной пыли с богатыми органическим веществом болотными водами и преимущественным растворением тяжелых REE вследствие более высокой устойчивости их комплексов с органическими лигандами [1]. Возможной причиной высокого содержания угольных частиц в торфе 2010–2011 гг., а также сходства спектров REE в них и угле терриконов, может быть экстремально жаркая и сухая погода. Такие условия могли привести к росту концентрации угольных частиц в атмосфере как за счет пожаров, так и за счет большего вовлечения угольной пыли терриконов и увеличения дальности ее переноса.

REE в почве. Профильная дифференциация Al, Fe и Mn в почве отвечает дерново-подзолистому процессу, с накоплением этих элементов в верхнем горизонте, вымыванием из горизонтов A2B и аккумуляцией в горизонтах B и BC. Профильное распределение глины и илистой фракции определяется двучленным составом почвообразующей породы и характеризуется резким переходом от пылеватых суглинков к пескам на глубине 30–40 см, соответствующей границе между горизонтами A2B2 и A2B3. REE накапливаются в верхних 13 см профиля, достигая максимума в горизонте Ap. Поведение легких LREE и HREE в почве различается. HREE демонстрируют незначительное накопление в профиле почвы по сравнению с горизонтом C, а LREE — вынос в средней части профиля и накопление в верхней. В горизонтах B, BC и C наблюдается максимальное отношения легких REE к тяжелым. Для HREE определяющим распределение

фактором является вертикальная литологическая неоднородность почвообразующих пород. Распределение LREE в большей степени определяется профильной дифференциацией элементов в ходе оподзоливания.

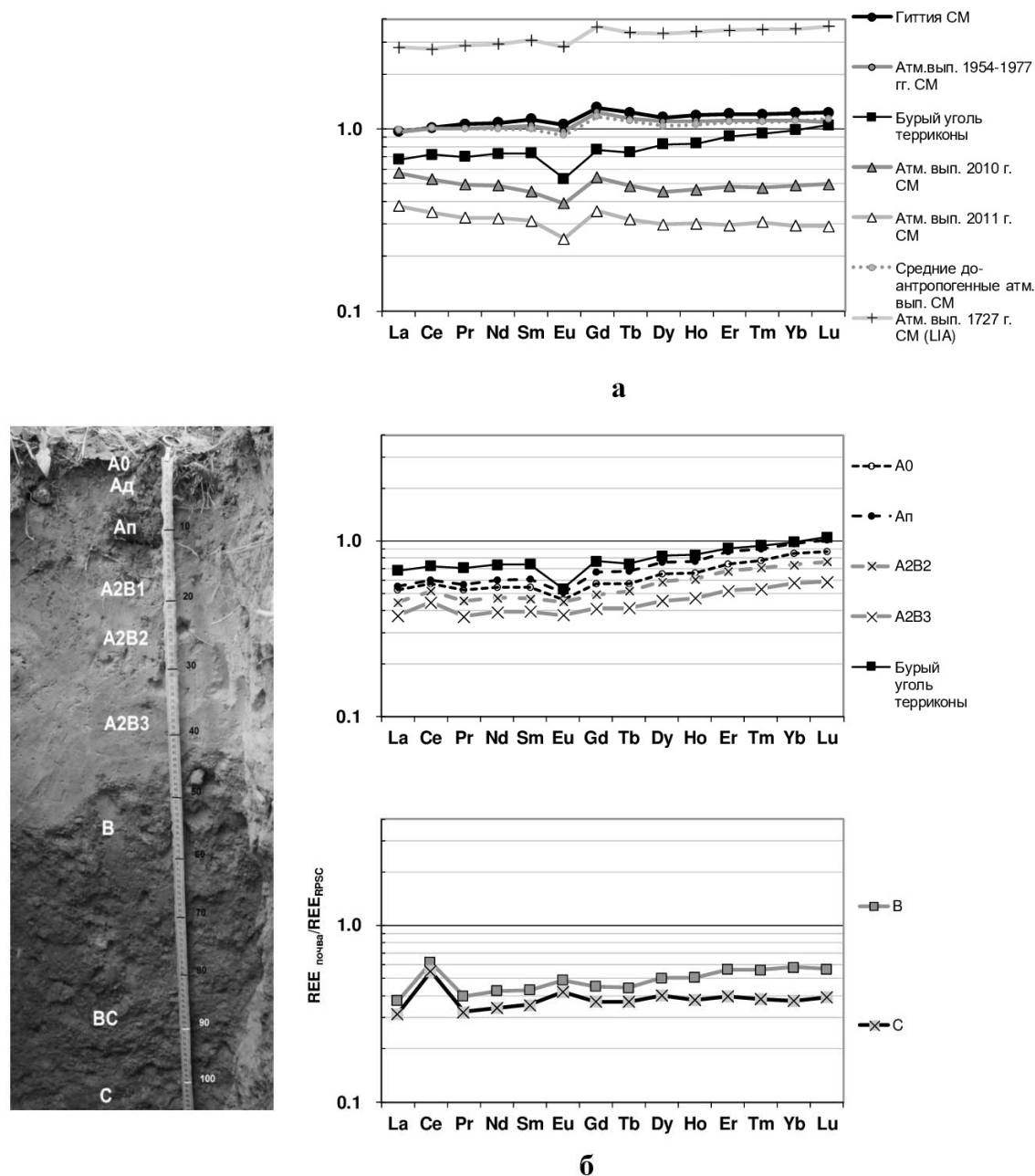


Рис. 2. Спектры REE, нормированные по глинистым сланцам Русской платформы (RPSC):
а) в буром угле терриконов г. Нелидово и в атмосферных выпадениях, реконструированных по омбротрофному торфу болота Старосельский Мох (CM);
б) в разных горизонтах профиля дерново-подзолистого почвы

Анализ спектров нормированных REE показал их значительное отличие в разных частях профиля (рис. 2б). Так, спектры горизонтов BC и B наследуют основные черты REE горизонта C – положительные Ce- и Eu-аномалии. Во всех вышележащих горизонтах Eu-аномалии отрицательны, а Ce-аномалии, оставаясь положительными, резко уменьшаются. Накопление Ce в нижней части профиля связано с аккумуляцией там гидроокислов железа и марганца. Уменьшение Eu/Eu* снизу вверх по профилю отражает степень выветривания и разрушения накапливающих Eu Са-полевых шпатом. Установ-

лена отрицательная корреляция (R^2 0.85) между величиной Eu/Eu^* и Ba/Sr — показателем степени выветривания почвообразующих пород. Наблюдается закономерный переход от спектров элювиальных горизонтов АВ к спектрам верхней части профиля — уменьшается положительная цериевая аномалия и увеличивается отрицательная европиевая, при этом спектры горизонтов Ап–А0 приближаются к усредненному спектру бурого угля терриконов Нелидово (рис. 2). Этот факт позволяет предположить существенную роль угольной пыли в качестве источника REE в верхней части профиля почвы.

Заключение

Исследования верхового торфа верхового болота Стросельский Мох показали, что наиболее высокие атмосферные выпадения на протяжении второй половины Голоцена наблюдались в периоды похолоданий в до-индустриальный период, а также в эпоху максимальной индустриальной активности в середине XX века. Несмотря на то, что максимальные атмосферные выпадения REE в XX веке совпадают по времени с добычей бурого угля в г. Нелидово, характеристики спектров REE отличаются от спектров бурого угля, но близки к спектрам подстилающим торфяную залежь озерным осадкам (гитии), и, по-видимому, определяются местным литологическим фоном как в до-, так и в индустриальный периоды. Возможная роль угольной пыли терриконов Нелидово в качестве источника редких земель отмечена только для самых современных (2010–2011 гг.) выпадений и может быть связана с аномально жаркой и сухой погодой летом 2010 года.

Показано, что в заповедных, удаленных от источников загрязнения почвах, распределение REE в профиле регулируются особенностями дерново-подзолистого процесса и литологической неоднородностью почвообразующих пород. Признаки антропогенного влияния отмечаются в верхних А-горизонтах почвенного профиля, где наблюдается накопление REE и сходство их спектров со спектром бурого угля терриконов Нелидово.

Благодарность

Мы сердечно благодарим Е. Ю. Новенко, Д. Н. Козлова, А. Н. Цыганова, Р. Б. Сандлерского, Т. А. Владимирову, Н. В. Брянского, М. Мейли за помощь в отборе образцов и их анализе. Работа выполнена в рамках госзадания АААА-А18-118013190180-9 от 31.01.2018 (почвы) и поддержана грантом РФФИ 18-05-01115а (атмосферные выпадения).

Литература

1. Aubert D., Stille P., Probst A. REE fractionation during granite weathering and removal by waters and suspended loads: Sr and Nd isotopic evidence // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2001. – Vol. 6. – № 3. – P. 387–406.
2. Grove J. M. *The Little Ice Age*. 1988. Methuen, London.
3. Korhola A., Weckström J., Holmström L., Erästö P. A quantitative Holocene climate record from diatoms in Northern Fennoscandia // *Quaternary Research*. – 2000. – № 54. – P. 284–294.
4. Novenko E., Shilov P., Khitrov D., Kozlov D. The last hundred years of land use history in the southern part of Valdai Hills (European Russia): reconstruction by pollen and historical data // *Studia Quaternaria*. – 2017. – Vol. 34. – № 2. – P. 73–81.
5. Parnell A. C., Haslett J., Allen J. R. M., Buck C. E., Huntley B. A flexible approach to assessing synchronicity of past events using Bayesian reconstructions of sedimentation history // *Quaternary Science Reviews*. – 2008. – Vol. 27. – P. 1872–1885.

6. Radomskaya V. I., Yusupov D. V., Pavlova L. M. Rare-earth elements in the atmospheric precipitation of the city of Blagoveshchensk // *Geochemistry International*. – 2018. – Vol. 56. – № 2. – P. 189–198.
7. Wang L., Liang T. Geochemical fractions of rare earth elements in soil around a mine tailing in Baotou, China // *Scientific Reports*. – 2015. www.nature.com/scientific_reports/articles/srep1248.pdf DOI: 10.1038/srep12483.
8. Weltje L., Verhoof L. R. C. W., Verweij W., Hamers T. Lutetium speciation and toxicity in microbial bioassay: testing the free-ion model for lanthanides // *Environ. Sci. Technol.* – 2004. – V. 38. – P. 6597–6604.

**NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS DETERMINING
THE SOURCES AND CONCENTRATION OF REE
IN ATMOSPHERIC DEPOSITION AND SOILS
OF THE CENTRAL FOREST STATE NATURAL BIOSPHERE RESERVE,
VALDAI HILLS, RUSSIA**

T. V. Pampura, O. V. Zarubina

The work aimed to reconstruct the history of atmospheric deposition of rare earth elements (REE) throughout the Holocene, as well as to study the influence of the anthropogenic deposition and the processes of sod-podzolic differentiation on the content and features of REE spectra in pristine soils.

Studies of ombrotrophic peat bog Stroselsky Mokh showed that the maximum pre-industrial atmospheric fallouts of REE were observed during climatic cooling periods. In the industrial period, maximum deposition took place in the mid-1950-70s. and coincided in time with the brown coal mining in the city of Nelidovo. The level of maximum deposition in the 20th century is comparable with deposition of the Little Ice Age and exceeds the pre-anthropogenic background by 30–40 times. Current (2011) REE deposition is four times the average value of the pre-anthropogenic period. The characteristics of the REE spectra showed that they are close to the spectra of the gyttja underlying peat deposit and are determined by the local lithological background, both in the pre- and in the industrial periods. The possible role of coal dust from the heaps of Nelidovo as a source of rare earth is noted only for the most modern (2010–2011) deposition. The distribution of REE in soil is governed rather by peculiarities of the sod-podzolic process and lithologic heterogeneity of soil-forming rocks than by anthropogenic factors. The exception is the uppermost horizons, where the source of REE, according to the spectra, could be coal dust of the waste heaps of Nelidovo.

Keywords: rare earth elements in peat and soil, ecological reconstructions, climatic reconstructions, ombrotrophic peat, atmospheric deposition, Holocene, rare earth elements.

АККУМУЛЯТИВНАЯ БИОИНДИКАЦИЯ В ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ (НА ПРИМЕРЕ СЕМ. LUMBRICINA И СЕМ. CARABIDAE, COLEOPTERA)

И. И. Подлипский

*Санкт-Петербургский государственный университет,
г. Санкт-Петербург, Россия,
e-mail: i.podlipskiy@spbu.ru*

Исследование почвенной мезофауны в эколого-геологических исследованиях загрязнений селитебных территорий тяжелыми металлами и металлоидами позволили однозначно определить состав полиэлементных аномалий, их биодоступность и установить источник происхождения (природный и/или техногенный) каждого из компонентов ([химических элементов]).

Ключевые слова: зооиндикация, почвенная мезофауна, тяжелые металлы, селитебная зона.

Введение

Согласно одному из основных законов экологии («правило 10%» или принцип Линдемана) одним из основных факторов, определяющих накопление элементов в органах и тканях живых организмов, является их содержание в пище.

При рассмотрении цепи (сети) питания в природных, природно-техногенных и техногенных системах можно выделить несколько уровней потребителей готовых веществ – травоядных и хищников (консументов 1-3-его порядков) и соответственно несколько групп живых организмов, которые могут быть использованы в биоиндикационных исследованиях.

Наиболее подходящим для исследований являются фитофаги, которые могут быть представлены в экосистемах различными живыми организмами (черви, насекомые, земноводные, пресмыкающиеся, птицы, млекопитающие и др.). Основным источником пищи для таких организмов являются растения и продукты их жизнедеятельности, в связи с этим, используя фитофагов в качестве аккумулятивных биоиндикаторов можно проследить и рассчитать параметры связи концентраций элементов и веществ (прежде всего, тяжелых металлов) в цепях: «порода (1) – почва (2) – растение (3) – фитофаг (4)». Проведение подобных исследований позволит оценить реальное экологическое состояние биогеоценоза в целом [1-4].

Критериями выбора живого организма для подобного рода биоиндикационных исследований должны быть: широкое повсеместное распространение, доступность и несложность методик сбора (отлова) организмов в количествах, достаточных для математической обработки. По выделенным параметрам наиболее хорошо подходят представители – кольчатых червей (сем. Lumbricina) и почвенных жесткокрылых (сем. Carabidae, Coleoptera) [2, 4].

Объект исследования – поселок Импилахти – расположен в Питкярантском районе республика Карелия, на территории северного Приладожья, практически на берегу Ладожского озера. Населенный пункт является типичным для данной территории по виду и степени занятости населения и его численности. Специфичных источников техногенного воздействия на территории исследований нет.

Методы исследования

Сбор насекомых ловушками Барбера. 3 профиля, по 10 ловчих стаканов, 5 м друг от друга, объемом 0,5 л (рис. 1). Ловчие ёмкости после их установки в почве заполня-

лись на 1/3 уксусной кислотой 9%. Время сбора – 8 дней (20.06-28.06.2018). После экспозиции проводят сбор отловленных особей и проводят расчет динамической плотности сообщества популяций жуужелиц по показателю уловистости в пересчете на 100 ловушко/суток. Фиксация отловленных особей проводится с учетом жизненных форм по И.Х. Шаровой (1981), их долей (%) в пробе. Пробоподготовка: образцы, разделенные по жизненным формам, помещают в сушильный шкаф (t не более 70°C) на 2-3 часа, доводят до воздушно-сухого состояния, затем измельчают в фарфоровой ступке до размерности 1–2,5 мм.

Сбор кольчатых червей проведен в процессе установки ловушек Барбера, однократно. Всего 4 пробы: по одной для профиля №1, 2 и 2 для профиля №3 (рис. 1). Каждая проба составляла не менее 30 шт. взрослых особей. Собранных червей выдерживали до полной очистки пищеварительного тракта от частиц почвы в чистом тонкозернистом песке (известного химического и минерального состава), после чего промывали дистиллированной водой, измельчали, высушивали и перемалывали до размерности 1–2,5 мм.

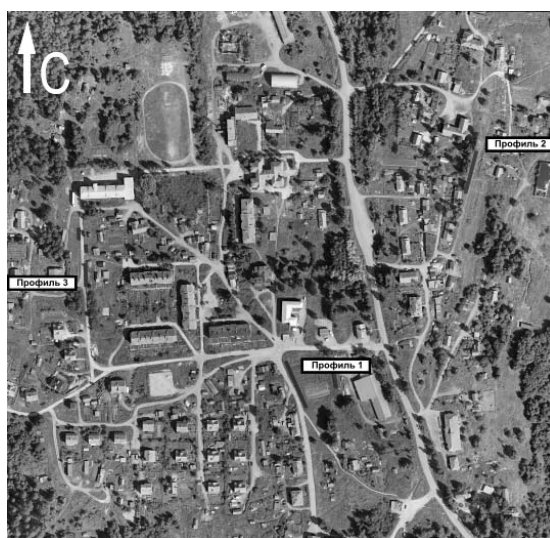


*Рис. 1. Схема расположения профилей
(мест отлова насекомых и сбора кольчатых червей)*

Результаты

Наборы жизненных форм жуужелиц и их соотношение позволяет судить о специфике условий обитания организмов в определенном биоценозе. В культурных ландшафтах изучение жизненных форм позволяет выявить пути изменений, происходящих под влиянием антропогенного фактора.

На профиле №1 были обнаружены жуужелицы подкласса стратобиос, которые обитают в подстилке, скважинах и полостях почвы. Жуужелицы этого подкласса делятся на группы: подстилочные – живут в подстилке, активность сумеречная и поверхностно-подстилочные – охотятся на поверхности почвы, часто с дневной активностью. Миксофитофаги представлены подклассами: стратохортобиос группы стратохортобионты обитают в подстилке и скважинах почвы, а для питания поднимаются на растения; геохортобиос группы геохортобионты гарпалоидные активно прокладывают ходы в почве и поднимаются на растения.

На профиле №2 были обнаружены зоофаги подкласса стратобиос группы подстилочные (живут в подстилке, активность сумеречная) и поверхностно-подстилочные (охотятся на поверхности почвы, часто с дневной активностью). Так же в ловушку попались жуужелицы подкласса эпигеобиос группы эпигеобионты ходящие (жуужелицы охотятся на поверхности почвы, преимущественно способ передвижения – ходьба).

Миксофитофаги представлены подклассами: стратохортобиос, группа стратохортобионты (жужулицы обитают в подстилке и скважинах почвы и питаются растениями); геохортобиос, группа геохортобионты гарпалоидные (прокладывают ходы в почве и поднимаются на растения, питание смешанное); стратобиос, группа стратобионты-скважники (обитают в подстилке, во влажных местах, сапрофаги).

Таблица 1

Описание результатов отлова почвенных жесткокрылых

№ 1 профиль (рядом с грунтовой дорогой, у старой каменной школы, центральная часть поселка)					
Жизнен- ные формы имаго	Зоофаги (26 шт.)		Миксофитофаги (35 шт.)		
	Стратобиос (подстил. и поверх. под- стил.) (26 шт.)		Стратохортобиос (11 шт.)	Геохортобиос (24 шт.)	
Общее количество жужелиц – 61 шт.		Уловистость профиля в сутки – 7,6 особей		Динамическая плотность (ловушко/сутки) – 0,8	
№ 2 профиль (вдоль правой стороны тропинки между участками, по левую сторону луг, по правую – приусадебные участки и пастбищные луга)					
Жизнен- ные формы имаго	Зоофаги (50 шт.)		Миксофитофаги (69 шт.)		
	Стратобиос (подстил. и по- верх. подстил.) (46 шт.)	Эпигеобиос (эпи- геобионты ходя- щие) (4 шт.)	Стратохортобиос (11 шт.)	Геохортоби- ос (56 шт.)	Стратобиос (скважники) (8 шт.)
Общее количество жужелиц – 119 шт.		Уловистость профиля в сутки – 14,9 особей		Динамическая плотность (ловушко/сутки) – 1,5	
№ 3 профиль (справа и слева от проселочной дороги, частные гаражи, зона с наибольшим почвенным увлажнением, частично заболочена)					
Жизнен- ные формы имаго	Зоофаги (47 шт.)		Миксофитофаги (50 шт.)		
	Стратобиос (подстил. и по- верх. подстил.) (35 шт.)	Эпигеобиос (эпи- геобионты ходя- щие и летающие) (12 шт.)	Стратохортобиос (11 шт.)	Геохортобиос (39 шт.)	
Общее количество жужелиц – 89 шт.		Уловистость профиля в сутки – 10,8 особей		Динамическая плотность (ловушко/сутки) – 1,1	

На профиле №3 были обнаружены зоофаги подкласса стратобиос группы подстилочные (живут в подстилке, активность сумеречная) и поверхностно-подстилочные (охотятся на поверхности почвы, часто с дневной активностью). Так же в ловушку попались жужулицы подкласса эпигеобиос группы эпигеобионты ходящие (жужулицы охотятся на поверхности почвы, преимущественно способ передвижения – ходьба) и эпигеобионты летающие (основной способ передвижения полет и быстрый бег). Миксофитофаги представлены подклассами: стратохортобиос, группа стратохортобионты (жужулицы обитают в подстилке и скважинах почвы и питаются растениями); геохортобиос, группа геохортобионты гарпалоидные (прокладывают ходы в почве и поднимаются на растения, питание смешанное).

Содержание Pb практически во всех пробах составляет не более предела обнаружения – 5 мг/кг, однако в пробе «миксофитофагов» с профиля №3 содержание составляет 13 мг/кг, что в 2,6 раз больше, чем в остальных пробах. Так же в «миксофитофагах» этого профиля наблюдается максимальное содержание Zn (267) и Cu (45) (табл. 2).

Результаты оценки содержания Pb, Zn, Cu в органах и тканях дождевых червей, отобранных с 3-х участков территории исследования, представлены на рис. 2.

Таблица 2

Содержание Pb, Zn и Cu в жуелицах (мг/кг)

Профиль	Жизненная форма	Pb	Zn	Cu
№1	Зоофаги	5	244	33
	Миксофитофаги	5	216	42
№2	Зоофаги	5	226	33
	Миксофитофаги	5	223	25
№3	Зоофаги	5	232	42
	Миксофитофаги	13	267	45

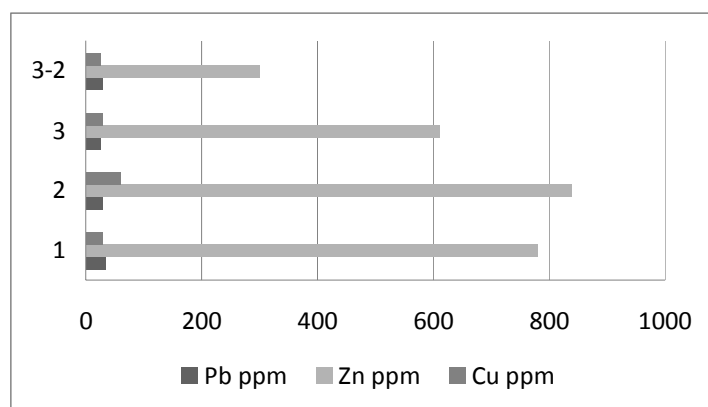


Рис. 2. Содержание тяжелых металлов (Pb, Zn, Cu) в дождевых червях

Максимальный уровень содержания Cu приходится на профиль № 2 – 59 мг/кг, минимальный – профиль № 3 – 25 мг/кг. Максимальный уровень содержания Zn приходится на пробы профиля № 2 – 839 мг/кг, минимальные – пробы профиля № 3–2 – 299 мг/кг. Максимальный уровень содержания Pb приходится на пробы профиля № 1 – 34 мг/кг, минимальные – пробы профиля № 3 – 25 мг/кг.

Заключение

В результате проведенных исследований были получены противоречивые результаты по степени нарушенности территории: по данным оценки содержания Pb, Zn, Cu в органах и тканях сем. Carabidae, Coleoptera наиболее пораженной территорией оказалась зона заложения профиля № 3, а по данным оценки содержания Pb, Zn, Cu в органах и тканях сем. Lumbricina – профиль №2. Установленные несоответствия могут быть устранены при проведении комплексного анализа с учетом результатов литогеохимической съемки территории поселка, а также данных биоиндикационных работ с использованием представителей флоры (например, оценка изменчивости билатеральной симметрии листовых пластинок березы).

Литература

1. Stanislav V. Dubrova, Ivan I. Podlipskiy, Vitaliy V. Kurilenko, Willington Siabato Functional city zoning. Environmental assessment of eco-geological substance migration flows. // Environmental Pollution. – 2015. – Vol. 197. – P. 165–172.
2. Подлипский И. И. Зооиндикация (сем. Lumbricina) в эколого-геологической оценке состояния грунтов селитебных территорий // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2016. – № 1. – С. 612–623.

3. Подлипский И. И. Учет локальных флуктуаций фоновых содержаний поллютантов в эколого-геохимических исследованиях // Инженерные изыскания. – М.: Изд. центр «Геомаркетинг», 2015. – № 5–6. – С. 60–68.

4. Подлипский И. И. Аккумулятивная биоиндикация в инженерно-экологических изысканиях. // Инженерные изыскания. – М.: Изд. центр «Геомаркетинг», 2014. – № 1. – С. 44–52.

ACCUMULATIVE BIOINDICATION IN THE ECOLOGICAL ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL POLLUTION (ON THE EXAMPLE, SEV. LUMBRICINA AND SEV. CARABIDAE, COLEOPTERA)

I. I. Podlipskii

The study of soil macrofauna in ecological and geological study of pollution in residential areas with heavy metals and metalloids allowed uniquely determine the composition of multielement anomalies, their bioavailability and to identify the origin (natural and / or man-made) of each of the components (elements).

Keywords: zooindikatsiya, soil mesofauna, heavy metals, residential area.

БИОГЕОХИМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ УРАНА В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ С НИТРАТНЫМ И СУЛЬФАТНЫМ ЗАГРЯЗНЕНИЕМ

**А. В. Сафонов¹, Р. А. Алдабаев¹, Н. М. Попова¹,
К. А. Болдыревс², А. Е. Богуславский³**

¹*Институт физической химии и электрохимии им. А. Н. Фрумкина РАН,
г. Москва, Россия*

e-mail: alexeysafonof@gmail.com

²*Институт геологии и минералогии им. В. С. Соболева СО РАН,
г. Новосибирск, Россия*

³*Институт проблем безопасного развития атомной энергетики РАН,
г. Москва, Россия*

Целью данной работы являлось изучение видового состава и метаболического потенциала микробного сообщества подземных вод, отобранных на разном удалении от шламохранилища АО ЭХЗ с целью оценки возможности биоремедиации водоносного горизонта, загрязненного нитрат, сульфат и уранил – ионами методом инъекции органических соединений. Проведено экспериментальное и компьютерное моделирование биогенных и биогенно-опосредованных процессов в верхних водоносных горизонтах (6-15 м) загрязненных нитрат-, сульфат-ионами и ураном в районе шламохранилища Электрохимического завода АО «ПО ЭХЗ» (Зеленогорск).

Ключевые слова: шламохранилище, верхние водоносные горизонты, нитрат-ионы, сульфат-ионы, уранил-ионы, микробные экосистемы, in situ биоремедиация, сульфидный противоокислительный буфер, геохимическое моделирование, PhreeqC.

Введение

На предприятиях добычи и переработки урановых руд образуются азотно-сернокислые отходы с остаточным содержанием урана и ряда других металлов, которые нейтрализуют раствором известкового молока и перекачивают в хвостохранилища.

Подобные хранилища есть на многих предприятиях Российской Федерации (ПАО НЗХК, АО ЭХЗ, АО АЭХК и пр.) и за рубежом. В шламохранилищах отходы фильтруется сквозь днища и стенки хранилищ и смешивается с грунтовыми водами с которыми растворимые компоненты могут мигрировать на значительные расстояния. Миграция урана (в виде уранил-иона или комплексов) в техно-природных системах практически всегда происходит на фоне повышенной концентрации нитрат- и сульфат-анионов, которые также влияют на осаждение урана препятствуя восстановлению урана или снижают сорбционную ёмкость вследствие возрастания ионной силы растворов. На данный момент в мире одной из перспективных технологий по очистке подземных вод являются биоремедиационные методы. Подобные методы используются для удаления макрокомпонентов (нитрат- и сульфат-ионов), нефтепродуктов, пестицидов, тяжелых металлов и радионуклидов и основаны на стимулировании подземных микробных сообществ органическими соединениями для удаления токсикантов в малорастворимые или газообразные формы. Сутью метода *in situ* биоремедиации является использование метаболической возможности подземной микрофлоры восстанавливать окислители (растворенный кислород, нитрат-, сульфат-ионы, металлы в высших степенях окисления) в процессах клеточного дыхания, при этом эффективным восстановителем будет является органический углерод из нагнетаемых в пласт соединений.

Методы

Определение численности бактерий различных физиологических групп проводили путем посева предельных разведений проб пластовой воды в жидкие селективные питательные среды в двух повторностях. Посевы инкубировали не более 30 суток при температуре 20–28 °С. Результаты оценивали методом наиболее вероятного числа по таблице Мак Креди [1].

Аэробные органотрофные бактерии учитывали в среде, содержащей (г/л): бакто-триптон – 5; дрожжевой экстракт – 2.5; глюкоза – 1; NaCl – 1.0 и раствор микроэлементов, pH 7.0-7.2. Для получения плотной среды вносили агар – 15 г/л.

Анаэробные денитрифицирующие бактерии учитывали в среде Адкинса составом г/л: KH_2PO_4 – 0.6; K_2HPO_4 – 1.0; NaNO_3 – 1.0; NaCl – 0.8; Na_2SO_4 – 0.1; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 0.1; KCl – 0.1; pH 7.0-7.2. В качестве газовой фазы использовали очищенный от кислорода аргон.

Численность сульфатредуцирующих бактерий определял в среде Постгейта с молочнокислым натрием, восстановленной 200 мг/л $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, составом (г/л водопроводной воды): KH_2PO_4 – 0.5; NH_4Cl – 1.0; CaSO_4 – 1.0; $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ – 2.0; NaCl – 5.0; FeSO_4 – 0.5; $\text{Na}_2\text{S} \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ – 0.1; дрожжевой экстракт – 0.5 г/л.

Железоредакующие бактерии определяли по накоплению Fe(II) в модифицированной среде с ацетатом натрия (2 г/л) в качестве донора электронов и цитратом Fe(III) (16.2 г/л) в качестве акцептора электронов. В состав среды входили (г/л): $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ – 0.1; $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ – 0.6; $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 0.1; KCl – 0.1; NH_4Cl – 1.5; NaCl – 1; KH_2PO_4 – 0.75; K_2HPO_4 – 1.5; $\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ – 0.005; Na_2MoO_4 – 0.001; Na_2HCO_3 – 2.5; дрожжевой экстракт – 0.5 г/л и раствор микроэлементов 1.0 мл/л. pH 7.0. В качестве газовой фазы использовали очищенный от кислорода аргон.

Создание библиотек фрагментов генов 16S rRNA микроорганизмов методом высокопроизводительного секвенирования. Анализ ДНК проводили путем фильтрации 1,5 литров подземной жидкости на нитратцеллюлозных фильтрах фирмы Millipore (type GS 0,22um) с использованием прибора вакуумного фильтрования ПВФ-35 (ГОСТ 18963-73). Выделение ДНК проводили в Балтийском федеральном университете (БФУ имени И. Канта) с использованием набора реактивов ZymoBIOMICS™ DNA Miniprep Kit (Zymo Research, США) согласно инструкции производителя. При подготовке

библиотек для амплификации были выбраны вариабильные участки гена 16S рРНК региона V3-V4:

Амплификацию проводили путем ПЦР в реальном времени на приборе CFX96 Touch (Bio-Rad, США) с использованием реакционной смеси qPCRMix-HS SYBR (Евроген, Россия). Далее осуществлялось высокопроизводительное секвенирование с помощью системы MiSeq (Illumina, США) с использованием набора реагентов MiSeq Reagent Kit v2 (500cycle) (Illumina, США).

Определение значений E_h , pH, электропроводность проводили с помощью pH-метра-иономера Ханна (HI 9025 C, Hanna Instruments, Ronchi Di Villafranca, Italy) снабженного различными комбинированными электродами (Oxidation Reduction Potential Electrode, Hanna Instruments).

Измерение концентрации урана проводили с использованием метода ICP-MS. Катионный состав вод определялся методами масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP MS) высокого разрешения (ELEMENT FINNIGAN MAT) в аналитическом центре ИГМ СО РАН.

Оценку концентрации сульфат-ионов проводили на системе капиллярного электрофореза КАПЕЛЬ®-105М

Лабораторное моделирование биологических процессов в пробах пластовых вод проводили путем добавления доноров электронов и источников углерода (молочная сыворотка, ацетат) в пробы пластовой воды и их культивирование при комнатной температуре. 100 мл пластовой жидкости были закупорены в герметичных флаконах с начальной воздушной газовой фазой. Отбор проб для анализа проводили каждые 5–7 дней.

Был дополнительно поставлен эксперимент, в котором в пластовую жидкость из скважины Б и В (с разным содержанием нитрат-ионов) был добавлен уранил нитрата в концентрации до 10^{-3} г/л.

Геохимические расчеты проводили в расчетном коде PhreeqC 2.18 (User's, 1999). В моделировании применялись данные базы термодинамических данных *lnl.dat*, а также методологии расчета эволюции свойств каскада инженерных барьеров DESTRUCT [3]).

Результаты

При отборе проб пластовой жидкости в ряде точек обследования объекта установлены граммовые концентрации нитрат-ионов и значения редокс потенциала более 100 мВ. На основании анализа генов 16S рРНК в подземных водах обнаружено разнообразное микробное сообщество, характерное для экосистем с высоким антропогенным загрязнением и окислительной обстановкой. Наиболее распространенными были роды *Ochrobactrum*, *Pseudomonas* и *Bacillus* представители которых известны способностью восстанавливать нитрат-, сульфат-, хромат-, уранил-, арсенат-, ванадат- и селенат-ионы. Максимальная численность в пробах с высоким содержанием нитрат-иона была у денитрифицирующих и аэробных органотрофных бактерий, с низким содержанием нитрат-иона – у сульфатвосстанавливающих.

Были подобраны оптимальные доноры электронов (органические соединения) для их нагнетания в подземный водоносный горизонт для *in situ* удаления нитрат-ионов. Наибольший эффект оказывала молочная сыворотка – отход молочного производства. Было установлено, что микробные процессы потребления окислителей (кислорода и нитрат-ионов) приводят к снижению окислительно-восстановительного потенциала до -400 мВ, что является важным фактором для восстановления уранил-ионов и стабилизации урана в виде малорастворимых биогенных твердых минеральных фаз восстановленных форм урана, а также образованию других минеральных фаз – фосфатов, сульфидов сопутствующих тяжелых металлов.

В процессе геохимических расчетов (при использовании расчетного кода PHREEQC 2.18 [2], проведено моделирование процесса и состава основных минераль-

ных фаз. Установлено, что в результате биогенных процессов в составе фаз будут доминировать восстановленные формы урана (уранинит и фосфаты) железа (сидерит, пирротин или троилит) и др.

Заключение

Таким образом, биоремедиация *in situ* методом нагнетания растворов, содержащих органические вещества, может решить проблему нитратного и сульфатного, загрязнения, привести к образованию сульфид-ионов, которые осаждаются на вмещающих породах могут увеличивать их сорбционно-осадительную ёмкость по ряду тяжелых металлов и служить в качестве противокислительного буфера, предотвращающего ремобилизацию урана в форме окисленного уранил-иона в случае попадания кислорода.

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ, грант № 17-05-00707.

Литература

1. Koch A. L. Most probable numbers. In: Methods for General and Molecular Bacteriology (Gerhardt P., Murray R. G. E., Wood W. A. and Krieg N. R., Eds.). – P. 257–260. American Society for Microbiology, Washington, DC. 1994.
2. Parkhurst D. L. et al. User's guide to PHREEQC (Version 2): A computer program for speciation, batch-reaction, one-dimensional transport, and inverse geochemical calculations // Water-resources investigations report. – 1999. – Т. 99. – № 4259. – С. 312.
3. Болдырев К. А., Крючков Д. В., Мартынов К. В., Нужный А. С., Сускин В. В. Разработка расчетных методов оценки миграции радионуклидов за пределы ИББ с учетом их эволюции. Препринт ИБРАЭ № IBRAE-2017-11. – М.: ИБРАЭ РАН, 2017.

BIOGEOCHEMICAL MODELING OF URANIUM BEHAVIOR IN UNDERGROUND WATER WITH NITRATE AND SULFATE POLLUTION

A. V. Safonov, R. A. Aldabayev,
N. M. Popova, K. A. Boldyrevs, A. E. Boguslavsky

The aim of this work was to study the microbial community of groundwater samples, collected at different distances from the sludge storage of ECP JSC in order to assess the possibility of bioremediation of the aquifer contaminated with nitrate, sulfate and uranyl ions by injection of organic compounds. Experimental and computer modeling of biogenic and biogenic-mediated processes in the upper aquifers (6-15 m) polluted with nitrate, sulfate ions and uranium in the area of the sludge storage facility of Electrochemical Plant, JSC (Zelenogorsk) was carried out.

Keywords: sludge repository, upper aquifers, nitrate ions, sulfate ions, uranyl ions, microbial ecosystems, in situ bioremediation, sulfide antioxidant buffer, geochemical modeling, Phreeqc/

ИНТЕНСИВНОСТЬ БИОГЕННОЙ АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ «ПОЧВЫ – РАСТЕНИЯ» ОБЬ-ПУРОВСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

И. Н. Семенков

Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,

г. Москва, Россия,

e-mail: semenkov@geogr.msu.ru

В пределах соснового бора на песчаной гряде Обь-Пуровского междуречья (5 км к северо-востоку от г. Ноябрьска) опробованы почвы и растительность (листья багульника, брусники, голубики, карликовой березы, сосны и зеленые мхи – *Pleurozium schreberi* и *Sphagnum sp.*). В подзолах и растительности исследуемой территории определены уровни содержания широко спектра химических элементов. Элементы ранжированы по интенсивности накопления растительностью.

Ключевые слова: подзол, потенциально токсичные элементы, биогеохимия, тайга.

Введение

Несмотря на длительное и плодотворное исследование фоновых и техногенно измененных ландшафтов Западной Сибири, до сих пор слабо изучен элементный состав основных видов растений таежных ландшафтов региона [2–4].

Цель настоящей работы – анализ фоновых уровней содержания химических элементов в подзолах и произрастающей на них растительности северо-среднетаежных ландшафтов Обь-Пуровского междуречья.

Методы

Полевые работы проведены в пределах северо-среднетаежных ландшафтов на песчаных отложениях Обь-Пуровского междуречья в зоне глубокого залегания островной мерзлоты, где вытянутые, пологонаклонные песчаные гряды высотой до 2 м покрыты бором кустарничково-беломошно-зеленомошным на грубогумусовых подзолах. Мелкобугорковатые склоны гряд заняты бором голубично-беломошно-зеленомошным на торфяно-подзолах, а понижения – морошково-осоково-сфагновым сообществом на торфяных почвах [5]. Работы выполнены в участке, ограниченном площадью 0,1 км² и расположенном в 5 км к северо-востоку от г. Ноябрьска с координатами N63°13' E75°32'.

В Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова в 39 пробе почв из 5 разрезов определены содержание гумуса по И. В. Тюрину титриметрически с фенилантраниловой кислотой, потери при прокаливании и величина pH в водной суспензии в динамических условиях (соотношение почва: раствор 1:2,5) на приборе «Эксперт-pH» (Россия), гранулометрический состав – методом лазерной дифрактометрии в образцах, обработанных 4% Na₄P₂O₇, на приборе «Analizeter 22» фирмы «Fritsch» (Германия). Элементный состав почв изучен рентген-флуоресцентным методом на приборе «PANalytical» (Нидерланды) в ИГЕМ РАН с использованием государственных стандартов образцов «дерново-подзолистая почва» и «чернозем» с погрешностью измерения до 20% (табл. 1).

Элементный состав 45 про растений определен масс-спектрометрическим (на приборе «X-7, Thermo Elemental, США») и атомно-эмиссионными (на приборе «iCAP-6500, Thermo Scientific», США) методами с индуктивно связанной плазмой по методике НСАМ 512-МС в Аналитическом сертификационном испытательном центре Института проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН. Образцы растительности разлагали в системе автоклавного вскрытия МКП-05 НПВФ («АНКОН-

АТ-2», Россия). Вместе с анализируемыми образцами разлагали контрольные и стандартные образцы (ГСО «листья березы», «травосмесь», «листья табака», «мышечная ткань байкальского окуня»). Навески анализируемых и стандартных образцов массой 200 мг помещали в тефлоновые реакционные емкости автоклавов и добавляли 2 мл концентрированной HNO_3 и 0,5 мл H_2O_2 . Закрытые автоклавы помещали в электронагреватель и выдерживали 1 ч при 160°C , 2 ч – при 180°C и 1 ч – при 200°C . После охлаждения автоклавы открывали, растворы переносили в полиэтиленовые бюксы, добавляя 0,2 мл раствора с содержанием In 10 мг/дм^3 и разбавляя деионизированной водой до 10 мл. В качестве контрольных образцов в тефлоновых реакционных емкостях проводили описанные выше процедуры без образца.

Таблица 1

**Значения среднеквадратического отклонения
для рентген-флуоресцентного анализа, относительные проценты**

Концентрация, %	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅	V	Cr	Co, Ni, Cu, Zn	Rb, Sr	Ba	Pb	Th, U
60–100	–	0.6	0.6	0.4	–	–	–	–	0.4	–	–	–	–	–	–	–	–
50–60	–	0.7	0.6	0.4	–	0.6	0.4	0.4	0.4	–	–	–	–	–	–	–	–
40–50	–	0.9	0.8	0.5	–	0.7	0.5	0.5	0.5	–	–	0.5	–	–	–	–	–
30–40	–	0.9	1.1	0.7	–	0.9	0.6	0.6	0.6	0.6	–	0.6	–	–	–	–	–
20–30	–	1.3	1.4	1.0	–	1.1	0.8	0.7	0.7	0.8	–	0.8	0.7	0.6	–	–	–
10–20	1.8	1.7	1.8	1.6	1.8	1.6	1.1	1.1	1.1	1.4	–	1.0	1.1	0.9	–	1.1	–
5–10	2.7	2.3	2.7	2.5	2.7	2.5	1.8	2.2	2.2	1.6	–	1.3	1.4	1.1	1.4	1.4	–
2–5	4.0	3.3	4.0	3.4	4.0	3.4	2.7	3.5	3.5	2.5	3.0	1.8	2.3	1.6	2.4	2.4	–
1–2	5.0	4.5	5.5	4.7	5.0	4.7	3.5	5.0	5.0	2.2	4.0	2.3	3.4	2.5	3.4	3.4	2.0
0.5–1	6.0	6.5	7.5	6.0	6.0	6.0	4.5	6.5	6.5	3.0	5.0	3.0	4.5	3.5	4.5	4.5	2.7
0.2–0.5	8.0	8.0	10.0	8.5	8.0	8.5	5.5	8.5	8.5	4.1	6.0	3.5	5.5	4.5	5.5	5.5	4.0
0.1–0.2	10.0	10.5	12.5	10.5	10.0	10.5	7.0	10.5	10.5	4.7	8.0	4.3	7.0	6.0	7.0	7.0	5.0
(500– 1000)×10 ^{–4}	12.0	13.5	14.0	13.5	12.0	13.5	9.0	12.5	12.5	6.0	9.0	5.0	9.0	8.0	9.0	8.5	6.5
(200–500)×10 ^{–4}	14.0	15.0	15.0	15.0	14.0	15.0	10.5	14.0	14.0	8.0	10.5	5.5	10.5	9.0	10.5	10.5	9.0
(100–200)×10 ^{–4}	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	15.0	13.5	15.0	15.0	10.5	12.5	7.0	12.5	10.5	12.5	12.5	12.5
(100–50)×10 ^{–4}	–	–	–	–	–	15.0	14.5	15.0	15.0	12.0	15.0	9.0	13.5	12.0	15.0	15.0	15.0
(50–20)×10 ^{–4}	–	–	–	–	–	–	15.0	15.0	–	12.5	15.0	10.5	15.0	13.5	–	15.0	15.0
(20–10)×10 ^{–4}	–	–	–	–	–	–	–	15.0	–	–	20.0	–	20.0	15.0	–	15.0	15.0

Примечание: прочерк – вне калибровочного диапазона. Полужирным выделены значения в подзолах Обь-Пуровского междуречья. The root-mean-square deviation values for concentration of ChEs in samples analysed are in bold.

Для характеристики интенсивности биогенной миграции в системе «почвы – растения» использован коэффициент A_x (или коэффициент биологического поглощения, КБП) – отношение содержания элемента в золе растения к его содержанию в почвообразующей породе [1].

Результаты

В подзолах преобладает песчаная фракция (табл. 2). Причем в верхнем органо-минеральном горизонте и почвообразующей породе повышена доля крупной пыли, в подзолистом – песка, а в иллювиально-железистом горизонте – мелкого песка. Содержание илстой фракции увеличивается с глубиной. Элювиальное распределение с минимумом в горизонте Е характерно для пылеватых фракций и с максимумом в нем – песчаных. Значения величины pH с глубиной увеличиваются, а содержание углерода органических веществ – уменьшается.

Таблица 1

Физико-химические свойства подзолов Обь-Пуровского междуречья

Горизонт	G1	G2	G3	G4	G5	G6	pH	Сорг, %
Ао	1,6	10,3	9,1	39,6	30,6	8,8	4,0	79,1
Е	2,0	7,4	5,4	16,7	33,9	34,5	4,7	0,4
ВF	5,3	18,5	10,0	19,5	28,3	18,4	4,7	0,9
С	5,6	19,6	9,3	28,5	26,5	10,5	5,1	0,2

Примечания. Диаметр частиц гранулометрических фракций (мкм): G1 – илстая (<1), G2 – мелкопылевая (1 – 5), G3 – среднепылевая (5 – 10), G4 – крупнопылевая (10 – 50), G5 – мелкопесчаная (50 – 250), G6 – средне- и крупнопесчаная (250 – 1000). Здесь и далее в таблицах **полужирный** – максимальные значения, *курсив* – минимальные.

На биогеохимическом барьере в грубогумусовом горизонте накапливается большинство изученных химических элементов (табл. 3-4), за исключением Si, максимальные значения которого выявлены в подзолистом горизонте и Zr, накапливающегося в горизонте ВF.

Таблица 2

Макроэлементный состав подзолов Обь-Пуровского междуречья, %

Горизонт	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	P ₂ O ₅
Ао	0,65	1,46	8,8	73,7	1,7	5,56	0,61	0,033	3,15	1,94
Е	0,26	0,05	2,3	94,6	1,0	0,06	0,27	0,005	0,22	0,01
ВF	0,26	0,11	3,0	92,7	1,0	0,09	0,24	0,006	0,41	0,04
С	0,31	0,12	2,8	94,0	1,0	0,11	0,24	0,013	0,48	0,02

Таблица 3

Микроэлементный состав подзолов Обь-Пуровского междуречья, мг/кг

Горизонт	Cr	V	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Zr	Ba	Th	Y	Nb	Pb	As	Cl
Ао	77	62	19	40	45	265	59	300	259	973	8	15	10	109	17	366
Е	31	25	<10	<10	<10	<10	33	24	267	321	5	3	8	<10	<10	53
ВF	38	23	<10	<10	<10	18	36	26	280	304	<5	3	8	<10	<10	59
С	37	19	14	<10	<10	11	37	28	253	322	<5	3	8	<10	<10	64

Таблица 4

Биологическое поглощение элементов, значения коэффициента Ах

Растение	Na	Mg	Al	K	Ca	Ti	Mn	Fe	P
<i>Pleurozium schreberi</i>	1,4	31	2,1	11	89	1,0	51	5,7	315
Багульник	0,4	71	0,5	18	275	0,3	193	1,2	885
Брусника	0,4	65	0,5	18	267	0,3	250	1,3	857
Голубика	0,1	102	0,2	16	274	0,1	81	0,5	500
Карликовая береза	3,9	83	0,5	17	170	0,3	189	1,7	878
Сосна хвоя	0,1	81	0,5	34	129	0,1	132	0,5	1225
Сосна ветки	0,2	72	0,6	30	134	0,1	106	0,7	1228
Сфагнум	6,5	36	0,8	27	54	0,4	50	9,1	499

Растение	Cr	V	Co	Zn	Rb	Sr	Ba	U	Cu
<i>Pleurozium schreberi</i>	7,8	2,7	1,0	77	7,9	5,8	3,2	0,341	>10
Багульник	1,6	0,6	0,2	102	16,0	7,9	10,3	0,060	>9
Брусника	1,7	0,6	0,2	92	17,9	9,0	10,5	0,063	>14
Голубика	0,5	0,2	0,1	110	6,7	6,9	5,2	0,012	>8
Карликовая береза	2,1	0,8	0,5	317	5,7	5,4	2,0	0,083	>5
Сосна хвоя	0,6	0,2	0,2	234	21,7	2,9	0,2	0,016	>6
Сосна ветки	1,0	0,3	0,3	244	19,0	6,6	0,4	0,023	>26
Сфагнум	5,5	1,3	0,9	88	17,9	5,6	1,9	0,160	>7

По интенсивности биологического поглощения растениями сосновых боров обследованного участка элементы образуют ряд (Таблица 4): P> Ca, Zn, Mn> Mg, K, Cu, Ni, Rb, Sr> Cr, Ba, Pb, Na> Al, Ti, Fe, V, Co, Th, As> U> Zr, Nb. Мох *Pleurozium schreberi* интенсивнее других опробованных растений накапливает Al, Ti, Cr, V, Co и U; брусника – Mn, Sr, Ba; сосна – K, P и Rb; сфагнум – Na и Fe.

Заключение

Исследована вертикальная дифференциация подзолов Обь-Пуровского междуречья по валовому содержанию химических элементов, а также охарактеризован элементный состав растений и интенсивность поглощения элементов семью видами растений.

Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 17-77-20072. Автор благодарен Г. В. Клинк, А. Г. Самулеенкову и А. А. Усачевой за помощь в сборе фактического материала; А. И. Якушеву и В. К. Карандашеву за анализ элементного состава проб почв и растений соответственно.

Литература

1. Авессаломова И. А. Биогеохимия ландшафтов. – М: Изд-во МГУ, 2007.
2. Арефьев С. П., Глазунов В. А., Казанцева М. Н., Московченко Д. В., Николаенко С. А. // Научный вестник Ямало-Ненецкого автономного округа. – 2016. – № 4 (93). – С. 35–42.
3. Московченко Д. В. Нефтегазодобыча и окружающая среда: эколого-геохимический анализ Тюменской области. – Новосибирск: Наука, 1998.
4. Нечаева Е. Г. Ландшафтно-геохимический анализ динамики таежных геосистем. – Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 1985.
5. Семенов И. Н., Мирошников А. Ю., Усачева А. А. Распределение цезия-137 глобальных выпадений в таежных и тундровых катенах бассейна реки Обь // Геология рудных месторождений. – 2015. – Т. 57. – № 2. – С. 154–173.

BIOACCUMULATION OF HEAVY METALS IN A SOIL – PLANT SYSTEM AT THE OB-PUR INTERFLUVE

I. N. Semenov

In the pine forest on the sand ridge of the Ob-Pur interfluvium (5 km NE of Noyabrsk), soil and vegetation (leaves of wild rosemary, cowberry, blueberry, dwarf birch, pine and green mosses – *Pleurozium schreberi* and *Sphagnum* sp.) were sampled. In the Podzols and vegetation studied, bioaccumulation of chemical elements is determined. Chemical elements are ranked according to bioaccumulation by vegetation.

Keywords: podzols, potentially toxic elements, biogeochemistry, taiga.

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПО ВЕТКАМ И ЛИСТЬЯМ КАРЛИКОВОЙ БЕРЕЗЫ И ГОЛУБИКИ (ВОДОСБОР БАЛКИ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БОЛЬШЕЗЕМЕЛЬСКОЙ ТУНДРЫ)

И. Н. Семенков

*Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова,
г. Москва, Россия,
e-mail: semenkov@geogr.msu.ru*

В пределах водосбора площадью 0,25 га, расположенного в 30 км к югу от г. Воркуты с фоновыми южнотаежными ландшафтами, исследован состав листьев, тонких, средних и крупных веток голубики и карликовой березы. Металлы по содержанию в органах карликовой берёзы и голубики образуют ряд при определении в сухом веществе: $Mn > Zn > Sr > Cu > Ni, Co, Pb, Cr, Cd > Fe$; в золе – $Mn > Fe > Zn > Sr, Cu > Ni > Cr, Co, Pb, As$. По распределению в органах карликовой березы Mn и Fe являются типичными базипетальными элементами, а Pb и Co – акропетальными.

Ключевые слова: криометаморфические почвы, потенциально токсичные элементы, биогеохимия.

Введение

Большеземельская тундра – один из наиболее изученных регионов Севера с точки зрения фоновое состояние компонентов окружающей среды [например, Дымов и др., 2010; Буданцева и др., 2015; Тентюков, 2016; Evseev, Krasovskaya, 2017]. Для произрастающих здесь травянистых растений отмечена ариданитная специализация (преимущественное накопление анионогенных элементов), а для кустарников, мхов и лишайников – гумидокатная (накопление катионогенных элементов). Однако до сих пор недостаточно данных о дифференциации органов растений по содержанию тяжелых металлов как приоритетных загрязнителей окружающей среды.

Цель настоящей работы – анализ содержания и перераспределения химических элементов в наземных органах карликовой березы и голубики.

Методы

В пределах водосбора площадью 0,25 га, расположенного в 30 км к югу от г. Воркуты ($N67^{\circ}16' E63^{\circ}39'$) исследованы фоновые южнотаежные ландшафты (рис. 1).

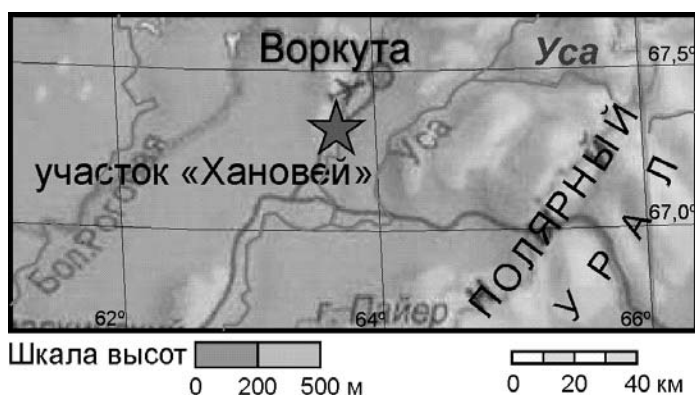


Рис. 1. Расположение территории исследования

Междуречное пространство с хорошо выраженным кочковато-западинным микрорельефом (кочки высотой 20 см и диаметром 1–2 м) занято ерником зеленомошно-беломошным

высотой 15–20 см, покрывающим 15–20% поверхности и произрастающим на глеезёмах высокомерзлотных, оттаивающих на глубину 30–40 см. Междуречные глееземы со слабо развитым профилем на поверхности имеют тёмно-серый или бурый, рыхлый горизонт О мощностью 5–10 см, который подстиляется мажущим, бесструктурным тёмно-бурым ВНГ или тёмно-серым ВН, распространяющимся до глубины 15–20 см. Он чётко отличается по цвету и обилию корней от плавунного, тиксотропного горизонта G, неоднородного по окраске, в составе которого преобладают бурые и сизые тона. На глубине около 30 см залегает очень плотный мерзлый суглинок с буровато-ржавыми и сизыми пятнами.

На склонах без микрорельефа из-за увеличения глубины протаивания до 40–100 см и улучшения дренажа формируются криометаморфические почвы с окислительной обстановкой. Карликовые березы имеют подушкообразный вид, хорошо разветвлены, достигая высоты 20–40 см и покрывая 20–50% поверхности. Склоновые почвы отличаются от междуречных наличием горизонта CRM с бурой окраской и чётко выраженными икрайными идеаморфными агрегатами диаметром до 5 мм в неоглеенном состоянии (рис. 2).

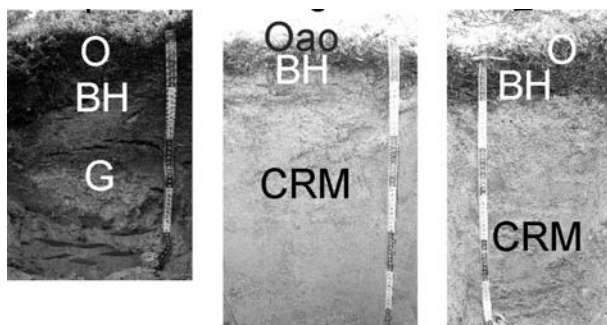


Рис. 2. Почвы участка исследования (слева направо):
глееземы криотурбированные междуречья, криометаморфические склоновые,
глееземы в днище временного водотока

Днище балки и нижние части склонов заняты ерником зеленомошным на криометаморфических глееватых почвах и глеезёмах криометаморфизованных, в которых мерзлота залегает на глубине более 1 м. Снапливающийся здесь снег способствует произрастанию высоких, хорошо разветвлённых карликовых берез высотой 50–60 см, покрывающих 30–40% поверхности. Дополнительное поступление влаги с латеральным переносом и ее застой приводят к формированию глеевой обстановки, в которой икрайная структура горизонта CRM трансформируется в неясно крупитчатую.

Вегетативные органы карликовой берёзы и голубики отобраны в течение одной недели на 12 точках. За неделю до и в период пробоотбора стояла сухая ясная погода. Крупные побеги срезали секатором на уровне земли в случайных точках в круге радиусом до 5 м от почвенного разреза, в пределах одного растительного сообщества. В течение недели после срезки крупные ветки отделяли от средних и тонких веток, а также листьев, которые отдельно высушивали в темном помещении при комнатной температуре. Растительные образцы в воздушно-сухом состоянии измельчали до состояния мелкой стружки (одревесневшая часть) или муки (листья) на механической мельнице в ИГЕМ РАН и далее разлагали в автоклавной установке в избыточном растворе концентрированной HNO_3 и H_2O_2 в автоклавной установке по стандартной методике [Орлова, 2000]. К образцу массой 1,5 г приливали 8 мл концентрированной HNO_3 и 1 мл 30% H_2O_2 . После 20 мин экспозиции при комнатной температуре автоклавную установку закрывали и нагревали до 160°C в течение 1 ч. Затем температуру доводили до 180°C (2 ч экспозиции) и 200°C (1 ч экспозиции). После четырехчасового нагрева установку

охлаждали до комнатной температуры и открывали. Остывший раствор разбавляли деионизованной водой и доводили до объема 15 мл. Содержание металлов определено атомно-абсорбционным методом на спектрометрах «новАА-400» (Германия) с пламенной атомизацией и «АА-240Z» (США) с электротермической атомизацией в графитовой кювете в Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ. Элементный состав почв и золы растений определен рентген-флуоресцентным методом на приборе «Спектроскан Макс GV» (Россия).

Для характеристики интенсивности биогенной миграции в системе «почвы – растения» использован коэффициент Ах (или коэффициент биологического поглощения, КБП) – отношение содержания элемента в золе растения к его содержанию в почвообразующей породе [Авессаломова, 2007].

Результаты

В карликовой березе по сравнению с голубикой металлы интенсивнее накапливаются в листьях, чем в ветках. В голубике, как правило, максимальные содержания Fe, Mn, Cu, Cr, Zn находятся в тонких ветках (табл. 1). В листьях карликовой березы максимально содержание Mn, Fe, Cu и Ni, в крупных ветках – Sr, Co и Pb.

Таблица 1

Содержание металлов в органах карликовой березы и голубики, мг/кг сухого вещества

Орган растения		Fe	Mn	Sr	Cu	Zn	Ni	Co	Pb	Cr	Cd
Крупные ветки	Б	<u>0,012</u>	<u>279</u>	13,4	<u>1,5</u>	<u>82</u>	<u>0,15</u>	0,45	1,8	<u>0,19</u>	<u>0,22</u>
	(5)	0,005	63	1,3	0,3	10	0,02	0,11	0,2	0,05	0,05
Средние ветки	Б	<u>0,011</u>	<u>328</u>	<u>10,8</u>	<u>1,9</u>	<u>94</u>	<u>0,22</u>	<u>0,30</u>	<u>1,7</u>	<u>0,29</u>	<u>0,29</u>
	(11)	0,006	99	3,1	0,3	14	0,04	0,10	0,5	0,10	0,08
	г	<u>0,0028</u>	<u>893</u>	<u>8,4</u>	<u>4,2</u>	<u>38,8</u>	<u>0,48</u>	<u>0,08</u>	<u>0,76</u>	<u>0,14</u>	<u>0,21</u>
Тонкие ветки	(12)	0,0024	99	3,3	0,4	3,6	0,19	0,05	0,18	0,04	0,10
	б	<u>0,020</u>	<u>573</u>	<u>5,3</u>	<u>3,8</u>	120	<u>0,60</u>	<u>0,30</u>	<u>1,5</u>	0,81	0,33
	(12)	0,007	94	4,3	0,5	12	0,13	0,10	0,7	0,32	0,06
Листья	г	<u>0,0074</u>	<u>1855</u>	<u>4,4</u>	<u>6,4</u>	<u>64,9</u>	<u>0,55</u>	<u>0,08</u>	<u>0,67</u>	<u>0,42</u>	<u>0,32</u>
	(11)	0,0034	173	4,7	1,2	8,1	0,29	0,04	0,10	0,16	0,16
Листья	б	0,013	2270	<u>10,6</u>	4,3	<u>101</u>	1,23	<u>0,27</u>	<u>0,7</u>	<u>0,41</u>	<u>0,19</u>
	(12)	0,004	462	7,6	0,6	14	0,26	0,09	0,4	0,13	0,05
	г	<u>0,0032</u>	<u>1037</u>	<u>8,6</u>	<u>3,7</u>	<u>27,6</u>	<u>0,31</u>	<u>0,06</u>	<u>0,30</u>	<u>0,15</u>	<u>0,18</u>
Листья	(10)	0,0307	201	5,0	0,5	4,2	0,09	0,07	0,27	0,48	0,09

Над чертой – медиана, под чертой – стандартное отклонение. б – береза, г – голубика. В скобках – число проб. **Полужирным** отмечены максимальные содержания, курсивом – минимальные.

Таблица 2

Распределение металлов в органах карликовой берёзы и голубики

Растения		Базиопетальное	Промежуточное	Акропетальное
Карликовая берёза	с	Mn, Ni, Fe, Cr, Cu, Zn	Sr, Cd	Pb, Co
	з	Mn, Ni	Zn, Fe, Cu	Pb, Co, Cr
Голубика	с	Mn, Fe	Zn, Co, Cu, Ni, Cr, Sr, Cd	Pb
	з	–	Zn, Mn	Cr, Fe, Cu, Ni

з – зола, с – сухое вещество.

Устойчивое базипетальное распределение по [Сабинин, 1955] свойственно в карликовой березе для Mn и Ni, а акропетальное – для Pb и Co (табл. 2). В органах карликовой березы и голубики энергично накапливаются Ca и Zn ($A_x = 20 - 200$), сильно накапливаются Cu, Sr и Ni ($1 - 10$), в средней степени захватываются Co, Pb, As, Fe, Al, Si, Ti, Cr, V ($0,1 - 1,0$) и очень слабо захватывается Mn ($0,01 - 0,03$).

Заключение

Рассчитано содержание и выявлены особенности распределения металлов в органах (листьях, тонких, средних и крупных ветках) карликовой берёзы и голубики. Металлы по содержанию в органах карликовой берёзы и голубики образуют ряд при определении в сухом веществе: $Mn > Zn > Sr > Cu > Ni, Co, Pb, Cr, Cd > Fe$; в золе – $Mn > Fe > Zn > Sr, Cu > Ni > Cr, Co, Pb, As$. По распределению в органах карликовой берёзы Mn и Fe являются типичными базипетальными элементами, а Pb и Co – акропетальными.

Исследование выполнено в рамках проекта РНФ № 17-77-20072. Автор благодарен А. В. Почикалову, В. В. Каганову, Д. В. Карелину за помощь в сборе фактического материала и И. Р. Пургиной – за первичную обработку данных.

Литература

1. Авессаломова И. А. Биогеохимия ландшафтов. – М: Издательство МГУ, 2007.
2. Буданцева Н. А., Горшков Е. И., Исаев В. С., Семенов И. Н., Усов А. Н., Чижова Ю. Н., Васильчук Ю. К. Инженерно-геологические и геохимические особенности бугристых ландшафтов в районе учебно-научного полигона «Хановей» // Инженерная геология. – 2015. – № 3. – С. 34–50.
3. Орлова В. А. Автоклавная пробоподготовка в химическом анализе: Автореф. ... д-ра хим. наук. – М, 2000.
4. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. – М.: Астрель – 2000, 1999.
5. Сабинин Д. А. Физиологические основы питания растений. – М.: Изд-во АН СССР, 1955.
6. Тентюков М. П. Экогеохимия районов промышленного освоения Большеземельской тундры и Ямала: Автореф. дис. ... д-ра геолого-минералогических наук. – Томск, 2016.
7. Нечаева Е. Г. Ландшафтно-геохимический анализ динамики таежных геосистем. – Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 1985.
8. Evseev A. V., Krasovskaya T. M. Toxic metals in soils of the Russian North // Journal of Geochemical Exploration. – 2017. – Vol. 174. – P. 128–131.

BIOACCUMULATION OF HEAVY METALS IN A SOIL – PLANT SYSTEM AT THE OB-PUR INTERFLUVE

I. N. Semenov

The composition of leaves, small, medium and large branches of blueberry and dwarf birch has been investigated in a catchment area of 0.25 hectares located 30 km south of Vorkuta (Russia). In the organs of dwarf birch and blueberry, in terms of the content of metals form a series: $Mn > Zn > Sr > Cu > Ni, Co, Pb, Cr, Cd > Fe$ (when dry matter is analysed by AAS); $Mn > Fe > Zn > Sr, Cu > Ni > Cr, Co, Pb, As$ (when ash is analysed by XRF). In terms of distribution in the organs of dwarf birch, the content of Mn and Fe decreases from leaves to large branches, while the content of Pb and Co increase.

Keywords: Criosols, potentially toxic elements, biogeochemistry.

БИОГЕОХИМИЯ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ПРИРОДНЫХ ТЕРРИТОРИЙ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

М. Ш. Сибгатуллина, В. С. Валиев

*Институт проблем экологии и недропользования
Академии наук Республики Татарстан,
г. Казань, Республика Татарстан, Россия,
e-mail: sibmad@list.ru*

Рассмотрено содержание микроэлементов в дикорастущей травянистой растительности 9 ООПТ Республики Татарстан. Определена биогеохимическая активность травянистых растений в условиях ООПТ Республики Татарстан.

Ключевые слова: травянистые растения, микроэлементы, тяжелые металлы, почва, биогеохимическая активность, ООПТ.

Введение

В настоящее время природно-заповедный фонд Республики Татарстан (РТ) включает 181 особо охраняемый природный объект: Волжско-Камский государственный природный биосферный заповедник; Национальный парк "Нижняя Кама"; 33 государственных природных заказника (ГПЗ) регионального значения разного профиля; 143 памятника природы (ПП) регионального значения, в том числе наземных – 79, водных – 64 (озера, реки, родники); 3 особо охраняемые природные территории (ООПТ) местного значения [6].

Изучение содержания тяжелых металлов и микроэлементов в почвах и растениях на незагрязненных эталонных территориях имеет большое практическое значение. Оно необходимо для контроля за состоянием окружающей среды, охраны ее от загрязнения, а также служит точкой отсчета при исследовании загрязненных почв, позволяя оценить степень загрязнения почвы и растений [3].

В связи с этим целью работы было определение содержания микроэлементов в дикорастущих травянистых растениях, произрастающих в условиях особо охраняемых природных территорий РТ.

Методы

Материалом для статьи послужили образцы травянистых дикорастущих растений и почвы из корнеобитаемого слоя, отобранные в соответствии с [5] на территории следующих ООПТ РТ: Раифского и Саралинского участков Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника (ВКГПБЗ), Национального парка «Нижняя Кама», государственных природных заказников «Чистые луга», «Спасский», «Балтасинский», «Нарат-Астинский бор», «Сулюковский лес», «Владимирский склон».

Всего проанализировано 159 проб растений и 159 образцов почвы из корнеобитаемого слоя. Минерализацию растительных проб проводили по [2]. В почве определяли содержание валовых форм микроэлементов, извлекаемых 5 М азотной кислотой [9] и подвижных форм, извлекаемых ацетатно-аммонийным буфером с pH 4,8 [10]. Концентрации Mn, Fe, Zn, Cu, Cr, Co, Ni, Cd, Pb определяли атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре Aanalyst 400 фирмы Perkin Elmer. Для описания распределения переменных в работе использовались медиана и интерквартильный размах.

Результаты

Изученные ООПТ отличаются по содержанию валовых и подвижных форм микроэлементов в почве. В рамках данной статьи рассмотрим только содержание подвижных форм. Содержание подвижных форм Mn, Co, Cr во всех ООПТ оказалось значительно выше региональных фоновых значений [8]. Превышений ПДК [7] подвижных форм микроэлементов при этом не обнаружено, за исключением подвижных форм Mn. Для почв большинства исследованных ООПТ зафиксировано повышенное содержание Mn относительно ПДК, обусловленное природной спецификой ландшафтно-геохимического облика территории РТ.

Среднее содержание микроэлементов в растительности изученных ООПТ варьирует в пределах мировых кларков [4]. Растения НП «Нижняя Кама» отличаются повышенным по сравнению с остальными ООПТ содержанием Mn, Zn, Ni, Cr, а растения ГПЗ «Владимирский склон» – пониженным содержанием Zn, Cu, Ni, Co.

В соответствии с ландшафтным районированием по территории Республики Татарстан проходит граница между бореальной и суббореальной северной семигумидной ландшафтными зонами. Исследованные территории согласно ландшафтному районированию приурочены трем ландшафтными подзонам:

- подтаежная подзона (бореальная ландшафтная зона) – НП «Нижняя Кама», Раифский участок ВКГПБЗ, ГПЗ «Балтасинский»;
- широколиственная подзона (суббореальная северная семигумидная ландшафтная зона) – Саралинский участок ВКГПБЗ;
- типичная и южная лесостепная подзона (суббореальная северная семигумидная ландшафтная зона) – ГПЗ «Чистые луга», ГПЗ «Спасский», ГПЗ «Нарат-Астинский бор», ГПЗ «Сулюковский лес», ГПЗ «Владимирский склон».

Содержание микроэлементов в растениях, произрастающих в условиях разных ландшафтных подзон, значительно отличается. В растениях подтаежной подзоны содержание Mn, Zn, Ni, Cr, Pb, Cd оказалось значительно выше. Самое низкое содержание Mn, Fe, Zn, Cu, Ni, Co обнаружено в растениях типичной и южной лесостепной подзоны. Для растений широколиственной подзоны характерно повышенное содержание Fe, Cu, Co.

Для количественного выражения общей способности растений к накоплению микроэлементов рассчитывали биогеохимическую активность вида (БХА) [1], представляющую собой суммарную величину, получающуюся при сложении коэффициентов биологического поглощения (КБП) отдельных микроэлементов.

По результатам расчета БХА установлено, что самыми высокими запасами микроэлементов в фитомассе характеризуются растения НП «Нижняя Кама», Раифский участок ВКГПБЗ и ГПЗ «Балтасинский», приуроченные подтаежной подзоне, самым низким запасом – ГПЗ «Владимирский склон». Различие между максимальным и минимальным значениями БХА у растений НП «Нижняя Кама» (685,08) и ГПЗ «Владимирский склон» (10,55) достигает в 64,9 раза. Физико-химические и механические свойства почв подтаежной подзоны благоприятствуют активной миграции большинства микроэлементов из почвы в растения: почвы характеризуются кислой реакцией среды, низким содержанием гумуса, преобладанием фульвокислот, легким гранулометрическим составом.

Заключение

Таким образом, в результате проведенной работы определены современные концентрации микроэлементов в травянистых растениях ряда ООПТ РТ. В травянистых дикорастущих растениях Раифского и Саралинского участков Волжско-Камского государственного природного биосферного заповедника, Национального парка «Нижняя Кама», государственных природных заказников «Чистые луга», «Спасский», «Балта-

синский», «Нарат-Астинский бор», «Сулюковский лес», «Владимирский склон» не обнаруживается каких-либо заметных отклонений микроэлементного состава от среднемировых значений для растительности суши. Следует отметить, что растительность ГПЗ «Владимирский склон» характеризуется пониженным содержанием Zn, Cu, Ni, Co, Cd в сравнении с растительностью остальных изученных ООПТ РТ. Полученные результаты свидетельствуют о значительной неоднородности естественного геохимического фона в содержании микроэлементов в травянистых растениях. Полученные данные по содержанию МЭ в растениях рассматриваются нами как региональный фон и будут использоваться в этом качестве в последующих исследованиях.

Литература

1. Авессаломова И. А. Геохимические показатели при изучении ландшафтов. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1987.
2. ГОСТ 30692-2000. Межгосударственный стандарт. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Атомно-абсорбционный метод определения содержания меди, свинца, цинка и кадмия. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2002.
3. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. – Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1991.
4. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989.
5. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. – М.: Моск. отделение Гидрометеозонд-а, 1981.
6. Постановление Кабинета Министров Республики Татарстан от 24 июля 2009 г. № 520 «Об утверждении Государственного реестра особо охраняемых природных территорий в Республике Татарстан и внесении изменений в отдельные постановления Кабинета Министров Республики Татарстан по вопросам особо охраняемых природных территорий» // СПС Гарант.
7. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве: Гигиенические нормативы. – М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2006.
8. Приказ Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан от 30 декабря 2015 г. № 1134-п «Об утверждении региональных нормативов «Фоновое содержание тяжелых металлов в почвах Республики Татарстан»» // СПС Гарант.
9. РД 52.18.289-89. Методические указания. Методика выполнения измерений массовой доли кислоторастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом. – М., 1990.
10. РД 52.18.289-90. Методические указания. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, цинка, свинца, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом. – М., 1990.

BIOGEOCHEMISTRY OF WILD PLANTS OF SPECIALLY PROTECTED NATURAL AREAS OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

M. Sh. Sibgatullina, V. S. Valiev

The content of trace elements in wild plants of 9 specially protected natural areas of the Republic of Tatarstan is considered. The biogeochemical activity of wild plants in the conditions of specially protected natural areas of the Republic of Tatarstan is defined.

Keywords: wild plants, trace elements, heavy metals, soil, biogeochemical activity, specially protected natural areas.

БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА СОСНОВОГО БОРА СЕМИПАЛАТИНСКОГО ПРИИРТЫШЬЯ

А. Р. Сибиркина

Челябинский государственный университет,
г. Челябинск, Россия

Определяющим фактором накопления тяжелых металлов в растениях сосновых боров является физико-химические свойства и физиологическая роль металлов в метаболических процессах, видовые особенности растений, а также содержание тяжелых металлов в почвообразующих породах, в боровых песках и атмосфере.

Ключевые слова: Семипалатинское Прииртышье, тяжелые металлы, ленточные сосновые боры, боровые пески.

Современные биогеохимические исследования основываются на изучении элементного химического состава растений, которые активно участвуют в перераспределении элементов между отдельными блоками биосферы [2]. Лесным ландшафтам придается особое значение поскольку в них имеется резерв элементов не только в живой фитомассе, но и в органических веществах лесной подстилки, причем концентрация тяжелых металлов в лесных подстилках выше, чем в живых растениях [4].

Исследования проводились на различных участках сосновых боров Семипалатинского Прииртышья вдоль правобережья реки Иртыш с использованием атомно-абсорбционного и математико-статистического методов.

Площадь ленточного бора Прииртышья составляет в среднем 545,0-658,8 тыс. га, из них 95,1 га ленточный бор Семипалатинского Прииртышья [6]. Длинные и узкие сосновые ленточные боры представляют собой чистые сосновые редколесья, основным видом которых является *Pinus sylvestris* L., в понижениях рельефа и на опушках встречаются *Populus tremula* L. образующая смешанные древостой, *Betula pendula* L., распространенная в депрессиях рельефа с довольно близкими грунтовыми водами. Из кустарниковых форм - *Salix viminalis* L., *Viburnum opulus* L., *Rosa cinnamomea* L., *Crataegus laevigata* (Poir.) DC., *Caragana pumila* Pojark. Это травянистые боры, сомкнутость трав колеблется от 3-5 до 10-20%. Местами встречаются куртины и массивы более сомкнутого, мертво покровного сухого бора [6].

Исследованные сосновые боры относятся к реликтовым, в пределах региона являются единственными преградами песчаным бурям. Территория сосновых боров не подвержена прямому широкомасштабному техногенному загрязнению, но расположена на границе крупных промышленных комплексов Восточного Казахстана, которые в той или иной мере причиняют экологический ущерб. Кроме того, исследуемые боры, произрастают в экстремальных природных условиях (жаркое и сухое лето) и за последние десятилетия неоднократно подвергались опустошительным пожарам, которые вносят коренные изменения в лесные экосистемы [3, 7]. Периодичность и частота возникновения лесных пожаров от «сухих» гроз, обуславливается колебанием климатических условий [11]. По данным космической съемки только за период с 1995 по 2002 гг. пожарами в борах Прииртышья уничтожено 162 тыс. га сосновых лесов, что составляет 34% их площади [13]. После образования природного резервата «Семей орманы» в 2003 году количество пожаров резко сократилось, но ленточные боры сильно расстроены [1]. У растений после пожаров наблюдается резкое изменение элементного состава органов. Выявлено, что в травянистых растениях бора после пожаров наблюдаются повышенные концентрации Zn, Co и V, Cr и Mn. При пожарах на деревья действуют не

только высокие температуры, но и аэрозоли, выделяющиеся при горении, в составе которых присутствуют тяжелые металлы. Оценивая среднее содержание металлов в органах и тканях деревьев, выявлено, что содержание Pb превышает в 2,3-7,6 раза ПДК [8], органы и ткани *Pinus sylvestris* L. склонны к накоплению Cu в концентрациях, равных 6,1 ПДК. В то же время среднее содержание всех металлов в деревьях значительно ниже критических и фитотоксичных их значений, приводимых в работах ряда авторов [5, 14-16]. В органах *Populus tremula* L. в повышенных концентрациях накапливается Pb, Cd, Co, Zn, V и Sr. Вегетативные органы *Betula pendula* Roth. усиленно аккумулируют соединения Cu, Ni, Mn и Be. Выведенные формулы геохимической специализации химического состава деревьев указывают на то, что лиственные породы деревьев, в частности *Populus tremula* L., более склонны к накоплению Cd и Zn. Формула геохимической специализации для *Pinus sylvestris* L. имеет следующий вид – $Cd_{0,47}Zn_{0,31}Pb_{0,17}Ni_{0,16}Mn_{0,08}Cu_{0,06}Sr_{0,04}V=Co=Cr=Be_{0,01}$; для *Populus tremula* L. – $Cd_{2,33}Zn_{1,0}Pb_{0,24}Sr_{0,23}Cu_{0,1}Mn_{0,07}Co_{0,05}Ni_{0,02}V=Be_{0,01}Cr_{0,006}$; для *Betula pendula* Roth. – $Zn_{0,89}Cd_{0,58}Pb_{0,2}Cu=Mn_{0,11}Ni_{0,05}Sr_{0,003}Be=Co_{0,02}V=Cr_{0,01}$. Исследование элементного состава листьев кустарниковых растений выявило, что концентратором Cu, Zn, Cd, Co, Ni, V и Mn является *Salix viminalis* L., *Crataegus laevigata* (Poir.) DC. в высоких концентрациях накапливает соединения Cr и Be. *Caragana pumila* Pojark. менее всех склонна к накоплению Zn, Cd, Co, V и Sr, *Viburnum opulus* L. отличается наименьшим содержанием Pb, а *Rosa cinnamomea* L. – Cu, Ni и Mn. Изученные закономерности распределения металлов по систематическим группам травянистых растений, несмотря на выявленные существенные различия в накоплении металлов, однодольные и двудольные растения характеризуются кадмиевой геохимической специализацией химического состава. Формула геохимической специализации однодольных травянистых растений имеет следующий вид – $Cd_{1,3}Zn_{0,5}Pb_{0,2}Ni_{0,2}Mn_{0,2}Cu_{0,1}Cr_{0,04}Be_{0,03}V_{0,01}Co_{0,01}Sr_{0,004}$, а для двудольных – $Cd_{1,0}Sr_{0,06}Zn_{0,4}Pb_{0,2}Cu_{0,1}Ni_{0,1}Mn_{0,1}Cr_{0,02}Be_{0,02}V_{0,01}Co_{0,01}$.

В любой экосистеме наиболее значимыми из параметров фитоценоза считаются параметры древостоя. В ходе исследования было рассчитано, что фитомасса древостоя *Pinus sylvestris* L. составляет 175,84 т/га; фитомасса надземной части дерева, включая фитомассу ствола, ветвей, коры, хвои – 246,18 т/га. Способность природной среды к восстановлению своих характеристик, определяется скоростью ассимиляции и ее оценка может быть, как качественной, так и количественной. В данной работе применен социально-экономико-экологический подход, подразумевающий ассимиляционную емкость территорий как одну из категории экологических функций. Определение ассимиляционного потенциала основывается на выявлении косвенных показателей антропогенной нагрузки, в частности уровень накопления тяжелых металлов древостоем, характеризующим экологическую ситуацию в сосновых борах. Количество химических элементов, находящихся в составе массы зрелого фитоценоза характеризуется емкостью биологического поглощения. При этом роль регуляторного звена принадлежит ассимилирующим органам, в частности хвое, определяющей рост и развитие других органов растения. От величины годичного роста хвои, длина хвои может достигать от 2-5 см, зависит и величина биогенного поглощения металлов. В годы, отличающиеся повышенным ростом хвои до 7-8 см за один вегетационный период, величина биогенной аккумуляции металлов хоть и незначительно, но возрастает. Иными словами, под влиянием определенных факторов внешней среды в конкретный момент времени изменяется химический состав не только отдельных органов и тканей растений, но и фитоценоза в целом. Данные о содержании тяжелых металлов в *Pinus sylvestris* L. легли в основу расчета их биогеохимического круговорота древостоем. При расчете использовали данные Л.Е. Родина и Н.И. Базилевич [12]. Расчёты показали, что суммарная масса тяжелых металлов (Cu, Zn, Pb, Cd, Co, Cr, Ni, V, Be, Sr, Mn), вовлеченных в био-

геохимический круговорот с учетом индекса разложения фитомассы (в т/га) составляет 6,1185 для фитомассы надземной части дерева и 5,860 для фитомассы древостоя.

Содержание и степень подвижности тяжелых металлов в растениях тесно связаны с особенностями рельефа и климата, свойствами почвообразующих пород и почв [9]. Базовым критерием, указывающим на естественный состав элементов фитоценоза, служит содержание химических элементов на фоновых территориях. В ходе исследования выявлено, боровые пески, несмотря на то, что значительная часть сосновых боров находится в пределах населенных пунктов и испытывает на себе негативное антропогенное воздействие, по уровню содержания тяжелых металлов можно отнести к фоновым территориям. Для выявления участия растительности в формировании микроэлементного состава боровых песков сосновых боров, сопоставив данные о содержании металлов в золе растений и почвообразующих породах (древнеаллювиальные пески и супеси) средней полосы Восточного Казахстана [10], было установлено, что в золе растений относительно почвообразующих пород содержится в 10,4; 30,7; 6,1 и 1,9 раза больше меди, цинка, марганца и кобальта, соответственно. Следовательно, в условиях боровых песков имеются предпосылки для аккумуляции данных металлов в верхних горизонтах почвы, благодаря растениям. Доказано, что травянистые растения даже в условиях незагрязненных почв накапливают тяжелые металлы в высоких концентрациях. Причем валовое содержание металлов в почве не является главным источником данных элементов для растений, основное поглощение металлов идет за счет их подвижных, более доступных для растений форм, а также за счет их поступления из атмосферы.

В ходе исследования закономерностей накопления тяжелых металлов растениями сосновых боров, выявлено, что существует определенная зависимость в их накоплении растениями от их жизненной формы. Исследования показали, что металлоаккумуляционная способность растений в зависимости от принадлежности к различным жизненным формам неодинакова. В фитомассе деревьев выше концентрации Zn и Cd, чем в кустарниках и травах. В фитомассе травянистых растений концентрации Cu, Pb, Cr, Ni, Be, Mn, Co и Sr выше, чем в кустарниках и деревьях. В порядке увеличения концентраций металлов, изученные формы растений образуют следующие ряды: по содержанию Cu, Pb, Cr, Ni, Be, Mn – кустарники – деревья – травы; по содержанию Zn – травы – кустарники – деревья; по содержанию Cd – кустарники – травы – деревья; по содержанию Co, Sr – деревья – кустарники – травы. Отличия связаны с уровнем организации анатомо-морфологической структуры и физиолого-биохимических функций растений, степенью адаптации их к условиям среды, характером корневых систем, глубиной проникновения корней в почву и различным объемом почвы, из которого растение усваивает тяжелые металлы.

Таким образом, исследование химического состава растений показало, что для фоновых боровых песков сосновых боров большее значение имеет ландшафтно-геохимические условия миграции металлов и связанные с ними биогеохимическая специализация растений по семействам и классам. Количество металлов и формы их соединений в растениях сосновых боров определяются физико-химическими свойствами элементов, их физиологической ролью в метаболических процессах, биологическими особенностями растений, а также содержанием тяжелых металлов в почвообразующих породах, в боровых песках и атмосфере.

Литература

1. Архипов, В. А. Пожары в ленточных борах Прииртышья, их причины и последствия // Вестник сельхоз. науки Казахстана. – Алматы: Бастау, 2006. – № 3. – С. 27–30.

2. Вернадский, В. И. Химическое строение биосферы земли и ее окружения. – М., 1965.
3. Горшков В. В., Ставрова Н. И. Динамика возобновления сосны обыкновенной при восстановлении бореальных сосновых лесов после пожаров // Ботан. журн. – 2002. – Т. 87. – № 2. – С. 62–78.
4. Елпатьевский П. В., Аржанова В. С. Поглощение химических элементов древесной растительностью в различных эколого-геохимических условиях // География и природные ресурсы. – 1985. – № 3. – С. 117–125.
5. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989.
6. Колходжаев М. К., Котин Н. И., Соколов А. А. Почвы Семипалатинской области. – Алма-Ата: Наука, 1968.
7. Куценогий К. П., Чанкина О. В., Ковальская Г. А., Савченко Т. И., Иванова А. В., Тарасов П. А. Постпирогенные изменения элементного состава лесных горючих материалов и почв в сосновых лесах Средней Сибири // Сиб. экол. журн. – 2003. – № 6. – С. 735–742.
8. Лукина Н. В., Никонов В. В. Поглощение азротехногенных загрязнителей растениями сосняков на северо-западе Кольского полуострова // Лесоведение. – 1993. – № 6. – С. 34–41.
9. Панин М. С. Миграция тяжелых металлов и пути поступления их в растения // Аккумуляция тяжелых металлов растениями Семипалатинского Прииртышья, 1999. – С. 23–30.
10. Панин М. С. Формы соединений тяжелых металлов в почвах средней полосы Восточного Казахстана (фоновый уровень). – Семипалатинск: ГУ «Семей», 1999.
11. Парамонов Е. Г., Ишутин Я. Н. Крупные лесные пожары в Алтайском крае. – Барнаул: ПГП «Дельта», 1999.
12. Родин Л. Е., Базилевич Н. И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. – М.-Л.: Наука, 1965.
13. Устемиров К. Ж. Лесокультурная оценка гарей в Прииртышье и разработка мер по улучшению условий их обсеменения с целью восстановления сосновых насаждений: Автореф. дис. ... канд. сельскохозяйств. наук: 06.03.01. – Алматы, 2010.
14. Baker D. E., Chensin L. Chemical monitoring of soil for environmental quality animal and health // *Advances in Agronomy*. – 1975. – Vol. 27. – P. 306–366.
15. Cottenie A. Dhaese A., Camerlynck R. Plant quality response to the uptake of polluting elements // *Qual. Plantarum*. – 1976. – Vol. 26. – № 3. – P. 93–319.
16. Verloo V. Cottenie. A., Landschoot G. Analytical and biological criteria with regard to soil pollution // *Laudwirtschaftliche Forschung. Kongressband*. S. H. 39, 1982. – S. 394–403.

BIOGEOCHEMICAL CONDITIONS OF FORMATION PLANT OF SEMIPALATINSK IRTYSH PINE FOREST

A. R. Sibirkina

Physicochemical properties and the physiological role of metals in metabolic processes, plant species, as well as the content of heavy metals in soil-forming rocks, in boron sands and the atmosphere are a determining factor in the accumulation of heavy metals in pine plants.

Keywords: Semipalatinsk Irtysh, heavy metals, ribbon pine forests, bor sands.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДЕЙСТВИЯ СЕЛЕНА И ЙОДА В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – РАСТЕНИЕ» В УСЛОВИЯХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

А. В. Синдирева¹, О. В. Степанова², Е. Г. Кекина³

¹*Тюменский государственный университет,*

г. Тюмень, Россия, e-mail: sindireva72@mail.ru

²*Сибирский государственный автомобильно-дорожный университет,*

г. Омск, Россия

³*Российская медицинская академия*

непрерывного профессионального образования,

г. Москва, Россия

Многие регионы России имеют статус дефицитных по содержанию селена и йода в организме животных и человека, что объясняется низким содержанием этих элементов в объектах окружающей среды. В связи с этим, необходима научная разработка мероприятий по увеличению содержания селена и йода в продуктах питания, в частности, в растениеводческой продукции. Впервые проведена работа по изучению действия данных элементов в системе почва-растение в условиях южной лесостепи Омской области. Дано научно-теоретическое обоснование целесообразности применения селена и йода в виде микроудобрений с целью обогащения данными микроэлементами растениеводческой продукции.

Ключевые слова: йод, селен, лугово-черноземная почва, яровая мягкая пшеница.

Введение

Одной из самых острых проблем является дефицит доступных для растений форм микроэлементов в почве и, соответственно, влияние этого фактора на урожайность и качество сельскохозяйственных культур. Кроме того, избыток, недостаток или дисбаланс микроэлементов в системе почва-растение- животное (человек) негативно сказывается на здоровье населения, живущего в данном регионе. Многие регионы России, в частности, Омская область, имеют статус дефицитных по содержанию селена и йода, что объясняется низким содержанием этих элементов в почве. Поэтому применение селен- и йодсодержащих соединений для обогащения сельскохозяйственных культур представляет научный и практический интерес. На сегодняшний день существуют различные методы применения микроудобрений, которые могут использоваться для повышения продуктивности культурных растений и качества урожая, для увеличения содержания в них микроэлемента йода и селена, что в свою очередь приведет к улучшению микроэлементного статуса региона. Пшеница является одной из главных продовольственных культур России, поэтому повышение ее продуктивности – одна из важнейших задач современной агрохимической науки. В этой связи исследования по изучению обогащения зерновых культур микроэлементами на лугово-черноземных почвах Западной Сибири имеют особую актуальность [7]. В то же время обогащение пищевых продуктов недостающими макро- и микроэлементами – это серьезное вмешательство в традиционно сложившуюся структуру питания человека. Поэтому осуществлять его можно только с учетом научно обоснованных и проверенных практикой принципов [10]. Исходя из выше сказанного, цель нашего исследования – оценка действия селена и йода в системе почва-растение и разработка научно обоснованных приемов обогащения данными микроэлементами растениеводческой продукции в условиях южной лесостепи Западной Сибири. В данной статье представлен прогноз накопления йода и селена в системе почва-растение при антропогенном их применении и дана экологическая оценка их содержания.

Методы

Объектами исследований являлись: лугово-черноземная почва южной лесостепи Омской области, зерновая культура - яровая мягкая пшеница сорта Памяти Азиева.

Полевые опыты были заложены в 2013-2015 гг. по следующей схеме: контроль, фон $N_{30}P_{60}$; фон + опрыскивание раствором KI с концентрациями йода 0,005, 0,01, 0,02%; фон + основное внесение в почву KI в дозах йода 9, 12, 15 кг/га; фон + опрыскивание раствором Na_2SeO_3 с концентрациями селена 0,005, 0,01, 0,02%; фон + основное внесение в почву Na_2SeO_3 в дозах селена 9, 12, 15 кг/га.

Расчет доз макро- и микроэлементов проводили согласно исследованиям Ермохина Ю.И. В опытах использовался районированный сорт-стандарт яровой мягкой пшеницы Памяти Азиева. Йод в форме иодида калия, селен в форме селенита натрия в виде сухих солей вносился вручную в пахотный слой перед посевом. Опрыскивание проводилось перед фазой колошения. Растительные образцы отбирали в фазы колошения и полной спелости для определения биометрических показателей и химического состава растений. Селен в почве и зерне определяли флуорометрическим, йод – вольтамперометрическими методами (ММУ 31-07/04 «Томбаналит») во в ФГНБУ «Федеральный научный центр овощеводства» (г. Москва).

Учеты и наблюдения проводили по методике Б. А. Доспехова.

Результаты исследований

Накопление йода в тканях растений находится в прямой зависимости от наличия его в почве. Подвижность йода в почве определяется: общим содержанием элемента, pH среды, содержанием и состоянием органического вещества (Ковальский В.В., 1974). По данным Г. А. Конарбаевой [4], в группе зональных почв юга Западной Сибири, йодом наиболее богаты черноземы с содержанием йода в пределах 1,21 - 6,4 мг/кг. В почвах северных территорий Западной Сибири, содержание йода колеблется от следовых до 1 мг/кг [4].

По данным А. И. Сысо [9], почвы юга Западной Сибири содержат в среднем 4 мг/кг йода, наши данные также соответствуют этому. В среднем за годы исследований содержание йода в лугово-черноземной почве составляло $4,4 \pm 0,6$ мг/кг. Установлено, что содержание этого микроэлемента в почве (у, мг/кг) увеличивается прямо пропорционально дозе вносимого элемента (х, кг/га) (уравнение 1). Согласно данному уравнению, установлен коэффициент «b» интенсивности действия йода. 1 кг/га внесенного микроэлемента увеличивает содержание йода в среднем в 1,74 раза.

$$y = 1,74 + 17,35x; r = 0,95 \quad (1)$$

Согласно данным В. В. Ковальского [3], пороговые концентрации йода в почвах таковы: меньше 2-5 мг/кг – недостаточное, 5-40 мг/кг – норма, больше 40 мг/кг – избыточное. Таким образом, почва без дополнительного внесения микроэлемента содержит недостаточное количество йода.

На аккумуляцию селена, в т.ч. и в условиях Западной Сибири, влияют те же факторы, что и на другие элементы. Почвы в основном наследуют уровень содержания Se от почвообразующих пород. При распределении селена в ландшафте большую роль играет растительность. Существует определенная связь содержания селена с почвенной зональностью [8].

С помощью статистического метода анализа исследуемой системы «почва-удобрение» были построены математические модели, отображающие зависимости содержания валового (у, мг/кг) селена в почве от его применения (х, кг/га).

$$y = 0,44x + 1,6; r = 0,95 \quad (2)$$

С помощью уравнений регрессионного типа с коэффициентами «b» интенсивности действия 1 кг селена удобрений на содержание валового Se ($b=0,44$ мг/кг) можно прогнозировать содержание селена в почве в результате его антропогенного применения.

В условиях нашего опыта содержание селена составляло в среднем за года исследования $0,46 \pm 0,05$ мг/кг в почве без применения селенсодержащих удобрений. При применении наибольшей дозы уровень микроэлемента составил $5,52 \pm 0,9$ мг/кг.

Микроэлементы необходимы для нормального развития растений, однако потребность их выражается в небольших количествах, без которых растения могут погибнуть или будут плохо развиваться. Это связано с тем, что они входят в состав ферментов, витаминов, гормонов и влияют на их активность.

Формирование урожая, качество растениеводческой продукции зависят от химического состава растений. Поэтому крайне важно исследование влияния микроэлементов на элементный состав растений. С экологических позиций интерес представляет оценка влияния йода и селена на накопление данных микроэлементов в органах растений.

На рис. 1 представлено содержание йода и селена в зерне яровой мягкой пшеницы в зависимости от доз и способов применения микроудобрений.

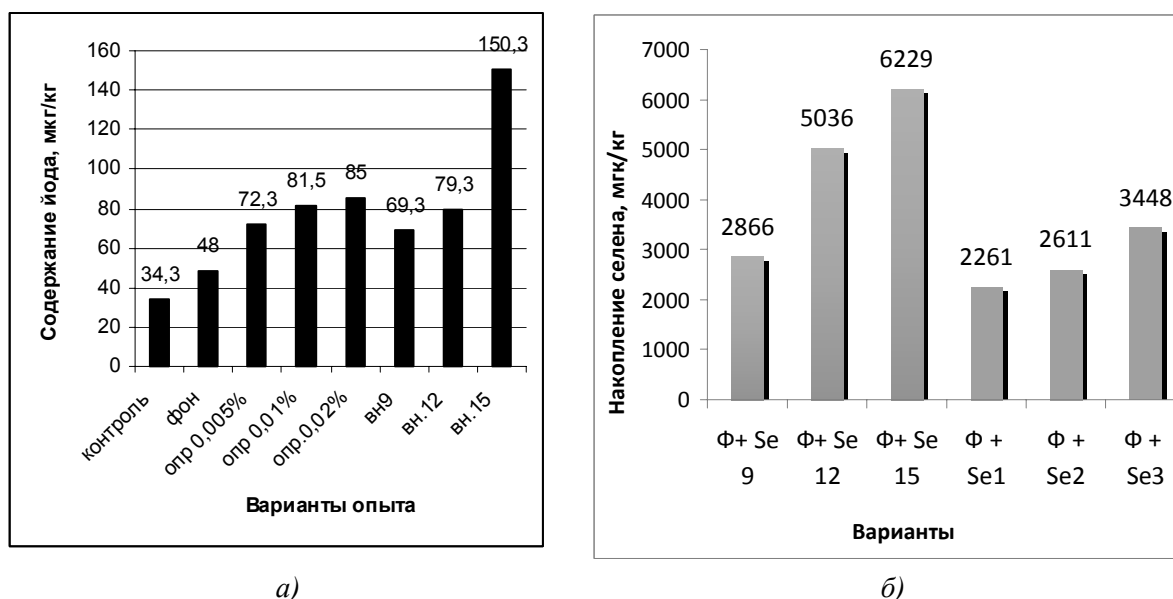


Рис. 1. Изменение концентраций йода и селена в зерновках яровой мягкой пшеницы:
 а) содержание йода в зерне яровой мягкой пшеницы;
 б) содержание селена в зерне яровой мягкой пшеницы

По литературным данным, среднее содержание йода в зерновых культурах составляет 56 мкг/кг [12], 5-38 мкг/кг [1]. В исследованиях А.И. Сысо [9], содержание йода в зерне пшеницы для Западной Сибири составляет 0,2 мг/кг. В наших опытах содержание йода в контрольных образцах зерна составляет 34,3 мкг/кг что, соответственно, говорит о дефиците йода. Стандартные нормативы по ГОСТу на содержание йода в пищевой продукции отсутствуют. Содержание йода в растениях в настоящее время в России оценивается следующим образом: в растительных кормах, согласно В. В. Ковальскому [3], верхней пороговой концентрацией микроэлемента можно считать $>0,8-1,2$ мг/кг (800-1200 мкг/кг). Поэтому, ориентируясь на существующие критерии, можно сделать вывод, что накопление йода в продукции, полученной в ходе наших опытов, можно считать экологически безопасными. Данные показывают, что такие способы обогащения йодом, как внесение и опрыскивание в изучаемых дозах являются наиболее безопасными с экологической точки зрения. Изученные дозы также не способствуют его накоплению в растениях в дозах, опасных для животных и человека.

В связи недостатком доступного селена в почвах многих регионов России актуальным является вопрос дефицита этого микроэлемента в растениеводческой продукции. Большинство исследователей приходит к мнению, что оптимальным уровнем со-

держания селена в растениях является 0,1 мг/кг сухого вещества, который считается безопасным для животных. Ряд авторов полагает, что нормальной концентрацией селена в листьях можно считать 0,01–2,0, токсичной 5–30 мг/кг. При одном и том же содержании в почве селен поступает больше всего в крестоцветные, бобовые, а затем – в зерновые культуры [5].

Наши исследования показали, что дополнительное обогащение селеном растений способствует накоплению этого элемента в зерне яровой мягкой пшеницы и достижению его оптимальных уровней согласно установленных градаций. В то же время особую озабоченность вызывают зерно, выращенные при основном внесении селена в дозе свыше 12 кг/га.

Представляется интересным определить взаимосвязь накопления йода, селена в зерне в зависимости от способа его внесения (табл. 1), что позволит прогнозировать его накопление в условиях его антропогенного поступления.

Таблица 1

Уравнения взаимосвязи содержания йода (у, мкг/кг), селена (у, мг/кг) в зерне яровой мягкой пшеницы от дозы его поступления

Элемент	Опрыскивание		Внесение	
	уравнение	коэффициент «b», мкг	Уравнение	коэффициент «b», мг
Йод	$y = 2225,7x + 48,8$ ($r = 0,82$)	2225,7	$y = 6,6x + 23,9$ ($r = 0,88$)	6,6
Селен	$y = 144,5x + 0,87$ ($r = 0,81$)	144,5	$y = 0,401x - 0,015$ ($r = 0,97$)	0,401

Полученные количественные характеристики «b» растений позволяют прогнозировать содержание йода в растениях зерновых культур по формуле :

$$C_{\text{мг/кг}} = C_{\text{ф}} + D \cdot b,$$

где C и $C_{\text{ф}}$ – содержание йода до внесения в почву ($C_{\text{ф}}$) и после (C), мг/кг; D – доза внесенного микроэлемента, кг/га; b – коэффициент интенсивности действия йода.

Заключение

Таким образом, установленные закономерности действия микроэлементов в системе почва-растение и разработанные на их основе нормативные показатели содержания йода и селена в компонентах трофических цепей являются научной основой для формирования комплекса мероприятий, направленных на оптимизацию элементного статуса объектов окружающей среды, и в конечном итоге, человека.

Литература

1. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях / Пер. с англ. – М.: Мир, 1989.
2. Кашин В. К. Биогеохимия, физиология и агрохимия йода. – Л.: Наука, 1987.
3. Ковальский В. В. Биологическая роль йода. – М.: Колос, 1972. – С. 3–32.
4. Конарбаева Г. А. Бром и йод в почвах г. Новосибирска // Агрохимия. – 2012. – № 7. – С. 62–67.
5. Серегина И. И., Ниловская Н. Т. Биологическая роль селена в растениях // Агрохимия. – 2002. – № 10. – С. 76–85.

6. Синдирева А. В. Критерии и параметры действия микроэлементов в системе «почва – растение – животное»: Дис. ... д-ра биол. наук. – Омск, 2012.
7. Синдирева А. В., Степанова О. В., Гилязова И. Б. Оценка действия йода в системе почва-растение // Всемирный день охраны окружающей среды (Экологические чтения – 2017): Материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Омск: Литера, 2017. – С. 253–257.
8. Сучков Б. П. Гигиеническое значение селена как микроэлемента: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – Киев, 1980.
9. Сысо А. И., Ильин В. Б. Эколого-агрохимическая оценка содержания микроэлементов в почвах и растительной продукции на юге Западной Сибири // Проблемы агрохимии и экологии. – 2008. – № 2. – С. 33–36.
10. Тутельян В. А., Спиричев В. Б., Суханов Б. П., Кудашева В. А. Микронутриенты в питании здорового и больного человека // М.: Колос, 2002.
11. Синдирева А. В., Курдуманова О. И., Степанова О. В., Гилязова И. Б. Экологическая оценка различных способов применения йодида калия под зерновые культуры // Вестник Красноярского гос. аграрного ун-та. – 2017. – № 2 (125). – С. 134–141.
12. Fordyce F. M. Database of the Iodine Content to Food and Diets Populated with Data from Published Literature // Commissioned Report CR/03/84N. – Nottingham: British Geological Survey, 2003.

ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE ACTION OF SELENIUM AND IODINE IN THE SYSTEM SOIL-PLANT IN CONDITIONS OF WESTERN SIBERIA

A. V. Sindereva, O. V. Stepanova, E. G. Kekina

Many regions of Russia have the status of deficit in the content of selenium and iodine in animals and humans, due to the low content of these elements in the environment. In this regard, it is necessary to develop scientific measures to increase the content of selenium and iodine in food products, in particular, in plant products. The effect of selenium and iodine in the soil-plant system in Western Siberia is poorly studied. For the first time the work on the study of the action of these elements in the soil-plant system in the southern forest-steppe of the Omsk region. The scientific and theoretical substantiation of the expediency of the use of selenium and iodine in the form of micronutrients in order to improve the quality of spring wheat grain and enrichment with these trace elements is given.

Keywords: iodine, selenium, meadow-black soil, spring soft wheat.

АККУМУЛЯЦИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ДИКОРАСТУЩИМИ ТРАВЯНИСТЫМИ ЛЕКАРСТВЕННЫМИ РАСТЕНИЯМИ ЮГА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Т. И. Сиромля

*Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, г. Новосибирск, Россия,
e-mail: tatiana@issa.nsc.ru*

Высокая внутривидовая вариабельность элементного химического состава дикорастущих травянистых лекарственных растений является причиной того, что среди 16 исследованных видов (11 семейств), произрастающих как на фоновых, так и на антропогенно преобразованных территориях, а также в условиях различных экотопов, стати-

стически значимые отличия в содержании химических элементов выявлены лишь для *Plantago major* L. Более высокое количество ряда исследованных ХЭ в *Artemisia sieversiana* Willd. и *Urtica cannabina* L. связано с их повышенной запыленностью из-за специфических анатомо-морфологических особенностей. Концентрация некоторых химических элементов повышается в растительном покрове техногенно загрязненных территорий, причем в основном в подземной части растений.

Ключевые слова: химические элементы, лекарственные растения, экологическая гигиеническая оценка, юг Западной Сибири.

Введение

На юге Западной Сибири давно и плодотворно ведутся исследования, касающиеся элементного химического состава почв и растительности, но основное внимание при этом уделяется агроценозам и сельскохозяйственным растениям. При изучении лекарственных растений (ЛР) обычно анализируется качественный и количественный состав различных групп биологически активных веществ, а содержание химических элементов (ХЭ) определяется значительно реже. Отмечается, что антропогенное воздействие может отказывать как негативное [2], так и положительное [9] влияние на экологическое состояние ЛР. В связи с этим целью данного исследования стало изучение вопросов накопления и распределения ХЭ в дикорастущих травянистых лекарственных растениях юга Западной Сибири на фоновых и антропогенно преобразованных территориях и оценка их эколого-биогеохимического статуса.

Методы

Объектами исследования были 16 видов растений (11 ботанических семейств): *Achillea millefolium* L., *Artemisia sieversiana* Willd., *Berteroa incana* (L.) DC, *Carum carvi* L., *Chamerion angustifolium* L., *Chelidonium majus* L., *Euphorbia virgata* Waldst. et. Kit., *Hypericum perforatum* L., *Leucanthemum vulgare* Lam., *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC, *Origanum vulgare* L., *Phlomis tuberosa* L., *Plantago major* L., *Sisymbrium loeselii* L., *Taraxacum officinale* Wigg. s.l., *Urtica cannabina* L. Пробы надземных и подземных частей растений отбирали в фазу цветения на фоновых и антропогенно преобразованных территориях по общепринятым стандартным методикам и в соответствии с требованиями Государственной Фармакопеи [1].

Элементный химический состав растений определяли после сухого озоления методом атомно-эмиссионного спектрометрического анализа. Концентрацию As и Hg устанавливали по ГОСТ Р 51766-2001 и ГОСТ Р 53183-2008. Все анализы выполнены в трех аналитических повторностях, данные приведены в пересчете на абсолютно сухое вещество. В качестве стандартов использованы образцы листьев березы (ЛБ-1) ГСО 8923-2007 и элодии канадской (ЭК-1) ГСО 8921-2007. Полученные результаты определения ХЭ в стандартах укладывались в их аттестованные значения.

При статистической обработке экспериментальных данных (пакет программ STATISTICA 6.1) нормальность распределения исследуемых ХЭ оценивалась по критериям Уилка-Шapiro, проверка гипотез о равенстве дисперсий в нормально распределенных выборках проводилась по критериям Кохрена. Для оценки статистической значимости различий проводился непараметрический дисперсионный анализ по методу Краскела-Уоллиса. Критический уровень значимости p принимался равным 0,05.

Результаты

В связи с высокой вариабельностью элементного химического состава надземных частей, у исследованных видов не было обнаружено статистически значимых отличий между растениями фоновых и антропогенно преобразованных территорий. Содержание

отдельных ХЭ повышалось в растительном покрове техногенно загрязненных территорий – в зоне воздействия Новосибирского оловокомбината содержание Sn составляло 0,1-0,4 и 2-28 мг/кг в надземной и подземной части растений соответственно, а концентрация As в корнях и корневищах могла достигать 12 мг/кг [6]. При этом на остальных исследованных участках Sn находилось лишь в подземных частях растений в количестве 0,3-1,1 мг/кг, а As не обнаруживался. Концентрация Hg была ниже предела обнаружения во всех случаях.

Явно выраженные концентрирующие свойства по сравнению с другими видами проявились у *P. major* по отношению к Ca, Ba и Sr – растения накапливают 17000-43000, 100-300 и 100-400 мг/кг соответственно. До настоящего времени в литературе у *P. major* аккумуляционный потенциал отмечался для Sr [4, 7, 9].

Более высокое содержание целого ряда исследованных ХЭ обнаружено в *A. sieversiana* и *U. cannabina* [5] – видах с характерными специфическими анатомо-морфологическими особенностями, которые способствуют повышению уровня запыленности растений. Увеличение содержания ряда ХЭ в более запыленных пробах уже отмечалось нами как для травянистых [3], так и для древесных [8] растений.

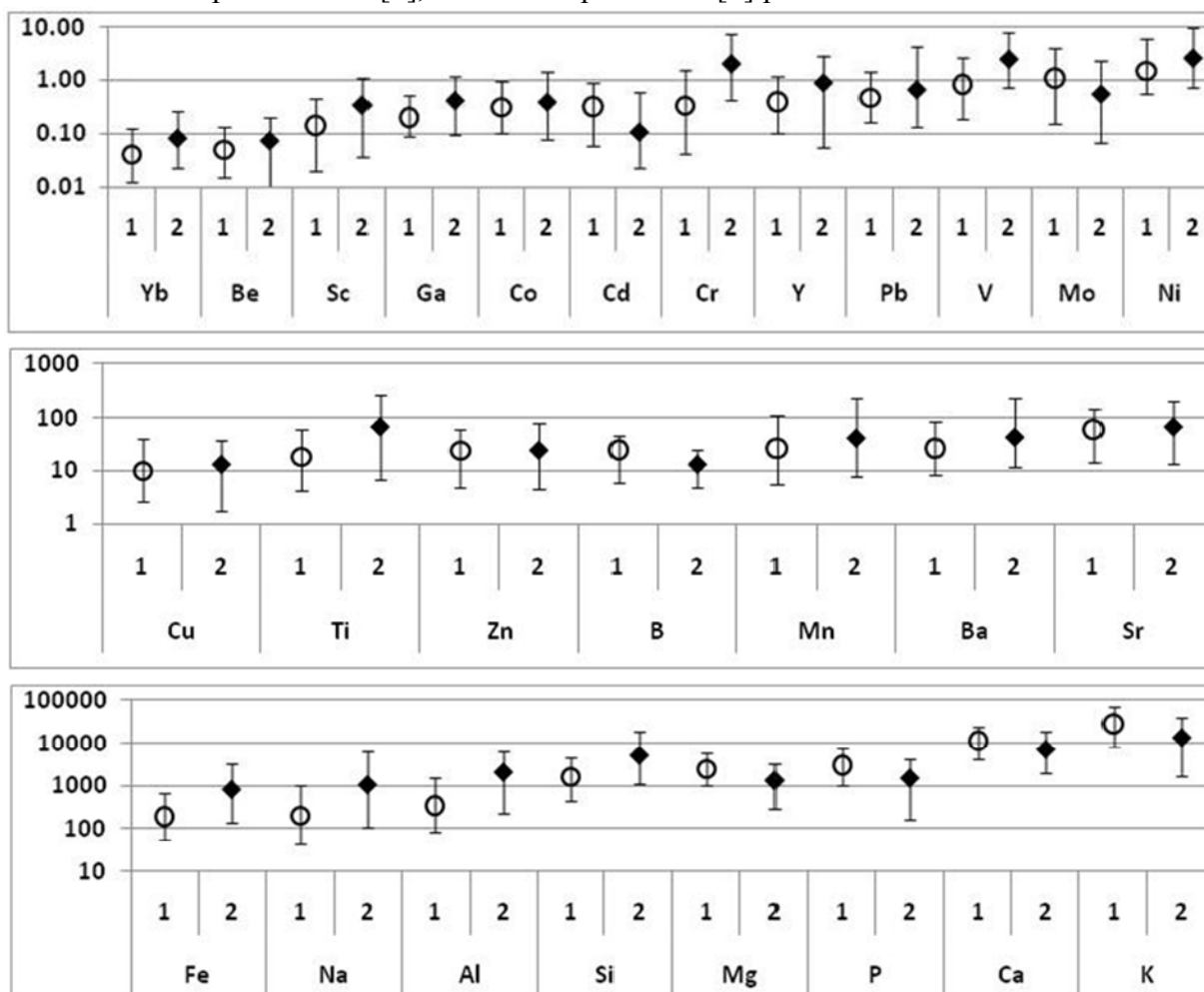


Рис. 1. Содержание ХЭ в дикорастущих травянистых лекарственных растениях юга Западной Сибири, мг/кг воздушно-сухого вещества (медианы и диапазоны варьирования; 1, белый круг – надземная часть; 2, черный ромб – подземная часть)

Статистически значимые отличия в элементном химическом составе подземных частей растений выявлены лишь для *P. major*, что объясняется различными типами корневых систем – мочковатой у *P. major* и стержневой у всех остальных исследованных ви-

дов растений. Повышенное содержание в корнях *P. major* большинства исследованных ХЭ может быть связано с физиологическими особенностями строения и функционирования мочковатой корневой системы, а также ее расположением в верхнем почвенном горизонте, более обогащенном ХЭ по сравнению с нижележащими (особенно в условиях антропогенного воздействия). Однако более существенным может оказаться тот факт, что общая площадь поверхности мелких корней существенно выше, чем у крупного стержневого корня, поэтому при отмывании на них может остаться больше мелкодисперсных почвенных частиц; это подтверждает сравнение общей зольности корней и корневищ растений – около 14 % у *P. major* и 6–8 % у остальных исследованных видов.

Требованиям ГФ и СанПиН 2.3.2.1078-01 (для БАД на растительной основе) по содержанию ХЭ соответствуют практически все исследованные образцы, кроме подземных частей растений, отобранных в районе влияния Оловокомбината (см. выше) и отдельных проб надземной части *H. perforatum*, содержащих до 1,7 мг/кг Cd. Данный вид относится к гипераккумуляторам Cd [4], хотя в регионе встречаются пробы и с относительно низкой концентрацией этого элемента – 0,4–0,5 мг/кг (вероятно, это связано с невысоким содержанием и относительно слабой подвижностью Cd в почвах).

На рис. 1 представлены обобщенные данные по содержанию ХЭ в исследованных видах дикорастущих травянистых лекарственных растений юга Западной Сибири – за исключением вышеописанных случаев.

Таким образом, в растениях региона очень низкое содержание Be, Yb; низкое и пониженное – Co, Ga, Sc, Cd, Cr, Mo, Ni, Pb, V, Y, Zr; среднее и повышенное – B, Ba, Cu, Mn, Ti, Zn, Fe, Na, Sr; высокое и очень высокое – Al, Mg, P, Si, Ca, K.

Литература

1. Гос. фармакопея Российской Федерации. – XIV изд. – Т. II. – М.: ФЭМБ, 2018.
2. Гравель И. В., Шойхет Я. Н., Яковлев Г. П., Самылина И. А. Фармакогнозия. Экоотоксиканты в лекарственном растительном сырье и фитопрепаратах. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2012.
3. Загурская Ю. В., Сиромля Т. И. Элементный химический состав *Leonurus quinquelobatus* на юге Западной Сибири // Материалы междунар. науч. конф. «Роль ботанических садов и дендрариев в сохранении, изучении и устойчивом использовании разнообразия растительного мира». – Минск: Медисонт, 2017. – Ч. 2. – С. 53–56.
4. Ловкова М. Я., Рабинович А. М., Пономарева С. М. и др. Почему растения лечат. – М.: Ленанд, 2014.
5. Сиромля Т. И. Влияние аэрогенного загрязнения на элементный химический состав растений // Сб. материалов Всерос. науч. конф. с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН «Почвы в биосфере». – Новосибирск, 2018. – С. 377–381.
6. Сиромля Т. И. Экологическая оценка воздействия на почвы и растение Новосибирского оловянного комбината // Здоровые почвы – гарант устойчивого развития: Сб. материалов науч.-практ. конф. с международным участием. – Курск, 2018. – С. 123–126.
7. Galal T. M., Shehata H. S. Bioaccumulation and translocation of heavy metals by *Plantago major* L. grown in contaminated soils under the effect of traffic pollution // Ecological Indicators. – 2015. – Vol. 48. – P. 244–251.
8. Zagurskaya Yu. V., Siromlya T. I., Kotsupiy O. V. et al. Physiological and biochemical characteristics of *Populus tremula* leaves in anthropogenic disturbed habitats // BIO Web Conf.: IV(VI) th All-Russia Scientific-Practical Conference “Prospects of Development and Challenges of Modern Botany” (Novosibirsk, Russia, October 8–12, 2018). – 2018. – Vol. 11. 00050.
9. Zheljazkov V. D., Jeliaskova E. A., Kovacheva N., Dzhurmanski A. Metal uptake by medicinal plant species grown in soils contaminated by a smelter // Envir. and Experim. Botany. – 2008. – Vol. 64. – № 3. – P. 207–216.

CHEMICAL ELEMENTS ACUMULATION BY WILD HERB MEDICAL PLANTS OF WESTERN SIBERIA SOUTH

T. I. Siromlya

Among 16 studied species (11 families) growing both on background and anthropogenically transformed territories and those at different ecotopes, significant differences in chemical elements content only have been recorded for *Plantago major* L. It is caused by high intraspecific variability of chemical elements composition of wild herbaceous medical plants. Great amount of studied chemical elements in *Artemisia sieversiana* Willd. and *U. cannabina* L. is related to their high dustiness stipulated by specific anatomic-morphological features. Concentration of some chemical elements increases in vegetative cover of industrially polluted territories, mainly in plant underground part.

Keywords: chemical elements, medical plants, ecological-hygienic estimation, Western Siberia south.

РОЛЬ ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В АККУМУЛЯЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ОЗЕР УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ

З. И. Слуковский¹, В. А. Даувальтер²

¹Институт геологии Карельского научного центра РАН,
г. Петрозаводск, Россия
e-mail: slukovsky87@gmail.com

²Институт проблем промышленной экологии Севера
Кольского научного центра РАН, г. Апатиты, Россия
e-mail: vladimir@inep.ksc.ru

В докладе приводятся первые данные о содержании различных тяжелых металлов в поверхностных слоях донных отложений малых озер города Мончегорска (Мурманская область). Отмечается, что на загрязнение водоемов сильное влияние оказывают как городская среда, так и деятельность медно-никелевого комбината, расположенного рядом с городом. Установлен очень высокий уровень накопления Cu и Ni в озерных осадках урбанизированной среды. Выявлено, что органическое вещество донных отложений двух арктических озер является важным фактором в аккумуляции изученных загрязнителей. Наиболее тесная связь с органикой озерных осадков установлена для Sb, Mo, Cu, W, Cr, V и Pb.

Ключевые слова: тяжелые металлы, органическое вещество, донные отложения озер, Мончегорск, Арктическая зона.

Введение

Мурманская область – это промышленно развитый регион России, на территории которого находятся крупные предприятия, деятельность которых связана с разработкой месторождений медно-никелевых сульфидных руд и их дальнейшей переработкой. Одно из таких предприятий находится вблизи г. Мончегорска. Здесь располагается мощная производственная площадка Кольской горно-металлургической компании, на которой перерабатывают медно-никелевый файнштейн.

Органическое вещество играет важную роль в формировании геохимических аномалий тяжелых металлов (ТМ) в различных депонирующих средах, к которым в первую очередь относятся почвы, поверхностные воды и донные отложения (ДО) водных объектов. Несмотря на большую изученность водных объектов Арктической зоны на предмет воздействия техногенеза [1, 2], информация о формах нахождения ТМ в ДО является востребованной постоянно в виду изменчивости условий водной среды, усиления или снижения уровня антропогенной нагрузки на водные объекты и различного поведения металлов, в частности по отношению к основным фазам-носителям: гидроокислам железа, карбонатным минералам и органическому веществу.

Цель данной работы – оценить степень влияния органического вещества на сорбцию тяжелых металлов в донных отложениях озер урбанизированной Арктической зоны Российской Федерации. Работа выполнена на примере двух малых озер Нормального и Комсомольского, расположенных в черте г. Мончегорска (Мурманская область) (рис. 1).

Методы

Материал для исследования был собран 27 апреля 2018 года со льда озер. Для отбора ДО использовался пробоотборник Limnos. Хранение и транспортировка образцов осуществлялась при помощи пластиковых контейнеров и бутылок и сумки-холодильника. Анализ содержания ТМ в ДО определяли масс-спектральным методом на приборе XSeries-2 ICP-MS (Thermo Fischer Scientific) в аналитическом центре Института геологии КарНЦ РАН, г. Петрозаводск. Были определены валовые концентрации металлов [4] и концентрации металлов, связанные с органическим веществом, в поверхностных слоях ДО оз. Нормальное и Комсомольское (глубина 0-5 см) [8].

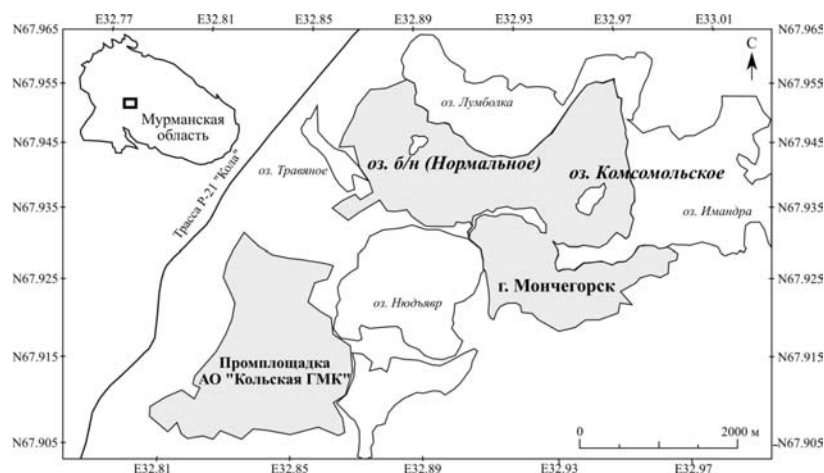


Рис. 1. Карта-схема района исследований

Результаты

Результаты исследований валовых концентраций ТМ в поверхностном слое озерных осадков урбанизированной среды г. Мончегорска выявили значительные превышения всех элементов по сравнению с фоновым уровнем для территории Мурманской области [1]. Наибольшее загрязнение отмечается по Ni, Cu, Co, Pb, Sb и Sn, для которых установлены 12-50-кратные превышения над фоном. Кроме того, изученные водоемы имеют разный уровень накопления ТМ (рис. 2). Например, оз. Нормальное, которое расположено ближе к промышленной площадке на открытой территории, более подвержено выбросам комбината. Таким образом, в ДО оз. Нормального отмечается большее накопление Ni, Cu, Co, Mo, Cd и Sn, поступающих с выбросами комбината, по

сравнению с ДО оз. Комсомольского. С другой стороны, в ДО оз. Комсомольского установлен более высокий уровень загрязнения V, Cr, Zn, Pb, Sb, W и Tl, по сравнению с оз. Нормальным, что вероятно связано с большим прямым воздействием городской среды на экосистему оз. Комсомольского.

Следует отметить, что изученные городские озера значительно меньше загрязнены ТМ по сравнению с оз. Нюдъявр, которое напрямую принимает стоки медно-никелевого комбината [3]. В озера Нормальное и Комсомольское загрязнители поступают, скорее всего, преимущественно воздушным путем или с поверхностным стоком с загрязненной территории г. Мончегорска.

Сравнение полученных данных по озерам г. Мончегорска с аналогичными исследованиями в Республике Карелии (г. Петрозаводск) показывают, что геохимическая специфика загрязненных ДО сильно зависит от специфики источников загрязнения [4]. Установлено, что содержание Cu и Ni в ДО озер Мончегорска многократно превышают концентрации этих ТМ в озерных осадках столицы Карелии. Также отмечается большая загрязненность территории г. Мончегорска Cr, Co, Cd и W. С другой стороны, ДО оз. Ламба, расположенного в черте г. Петрозаводска вблизи ТЭЦ и предприятий машиностроительного комплекса, в большей степени загрязнены V и Zn по сравнению с озерами г. Мончегорска. Отмечается примерно одинаковый уровень загрязнения малых озер городов Мончегорска и Петрозаводска свинцом, который является геохимическим агентом глобального загрязнения северных территорий России и мира [6, 7].

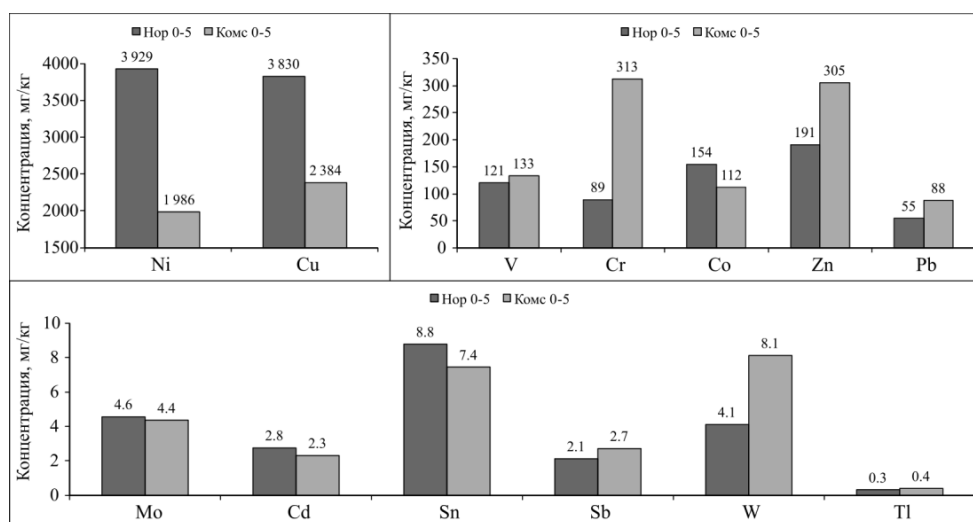


Рис. 2. Валовое содержание различных тяжелых металлов в донных отложениях озер г. Мончегорска (Нор – оз. Нормальное, Комс – оз. Комсомольское)

Анализ форм нахождения ТМ в верхнем 5-см слое ДО озер г. Мончегорска установил, что в обоих водоемах наибольшее сродство с органическим веществом имеют Sb, Mo, Cu и W (рис. 3). Однако доли концентраций этих металлов, связанных с органикой, относительно валовых концентраций для изученных водоемов имеют разные значения. Отмечается, что в осадках оз. Нормального такие ТМ как Sb, Mo, Cu, W, Cr, Pb, V и Sn металлы активнее сорбируются органикой по сравнению с отложениями оз. Комсомольского. Остальные изученные элементы (Zn, Co, Ni, Tl, Cd) имеют примерно равные доли в органической фракции ДО относительно валовых концентраций. Для этих ТМ более характерной формой нахождения после минеральной фазы является актуально подвижная форма, включающая в себя и водорастворимую фазу. Это говорит о том, что миграция Zn, Co, Ni, Tl и Cd из ДО обратно в водную среду наиболее вероятна в отличие от других исследованных металлов.

Минеральная фаза – это наиболее характерная форма нахождения в ДО озер городской среды Мончегорска для Ni, V, Cr, Sn, W и Tl (для обоих изученных озер) и для Pb, Cd, Cu и Co (только для оз. Комсомольского). Причем в случае с озерами г. Мончегорска минеральная фаза – это не только природные минералы из первичных пород, но и минеральные частицы, вылетающие из трубы комбината и представляющие продукт плавления или обжига руды, перерабатываемой на промышленном предприятии. Обычно эти частицы имеют сферическую форму и размеры от первых микрометров до 100 микрон. Они были обнаружены и снежном покрове вокруг г. Мончегорска, и в современных ДО водных объектов [3, 5].

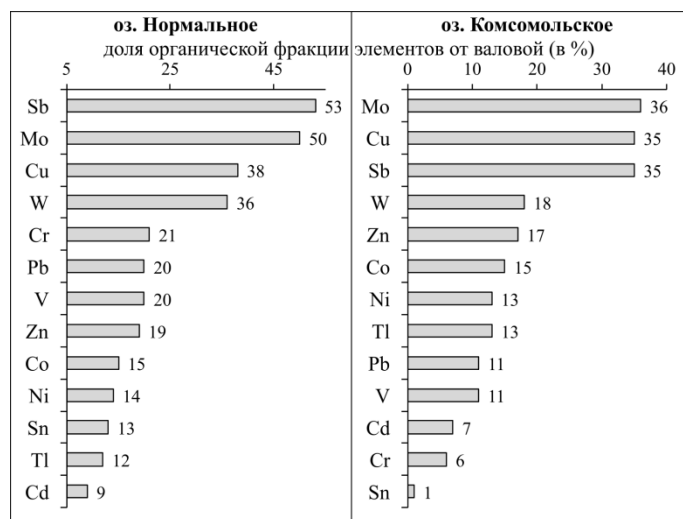


Рис. 3. Доли органических форм металлов относительно валового содержания в донных отложениях малых озер г. Мончегорска

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 18-05-00897 «а».

Литература

1. Даувальтер В. А., Кашулин Н. А., Денисов Д. Б. Тенденции изменения содержания тяжелых металлов в донных отложениях озер Севера Фенноскандии в последние столетия // Труды Карельского научного центра РАН. – 2015. – № 9. – С. 62–75.
2. Моисеенко Т. И., Даувальтер В. А., Родюшкин И. В. Геохимическая миграция элементов в субарктическом водоеме (на примере озера Имандра). – Апатиты: КНИЦ РАН, 1997.
3. Слуковский З. И., Даувальтер В. А. Морфология и состав техногенных частиц донных отложений оз. Нюдъявр, мурманская область // Записки Российского минералогического общества. – 2019. – № 3 (в печати).
4. Слуковский З. И., Ильмаст Н. В., Суховская И. В., Борвинская Е. В., Гоголев М. А. Геохимическая специфика процесса современного осадконакопления в условиях техногенеза (на примере оз. Ламба, Петрозаводск, Карелия) // Труды Карельского научного центра РАН. – 2017. – № 10. – С. 45–63.
5. Gregurek D., Melcher E., Pavlov V. A., Reimann C. Stumpfl E.F. Mineralogy and mineral chemistry of snow filter residues in the vicinity of the nickel-copper processing industry, Kola Peninsula, NW Russia // Mineralogy and Petrology. – 1999. – Vol. 65. – P. 87–111.
6. Hosono T., Alvarez K., Kuwae M. Lead isotope ratios in six lake sediment cores from Japan Archipelago: Historical record of trans-boundary pollution sources // Science of The Total Environment. – 2016. – Vol. 559. – P. 24–37.

7. Norton S. A., Dillon P. J., Evans R. D. The history of atmospheric deposition of Cd, Hg and Pb in North America: Evidence from lake and peat bog sediments // Sources, Deposition and Capony Interactions. – V. III, Acidic Precipitation. – N.Y.: Springer-Verlag, 1990. – P. 73–101.

8. Tessier A., Campbell P. G., Bisson M. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals // Analytical Chemistry. – 1979. – Vol. 51. – № 7. – P. 844–851.

THE ROLE OF ORGANIC MATTER IN ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN BOTTOM SEDIMENTS OF URBANIZED LAKES IN ARCTIC ZONE

Z. I. Slukovskii, V. A. Dauvalter

A first data of heavy metals contents in surface layers of bottom sediments of two small lakes of the city of Monchegorsk (Murmansk region) are presented. The pollution of researched lakes is related with the urban area and the smelter complex, which is located near the city. The high level of Cu and Ni accumulation in the modern sediments is revealed. The organic matter is one of the important factors of heavy metals bonding in researched sediments. In the Monchegorsk's lakes, Sb, Mo, Cu, W, Cr, V and Pb have the closest association with organic matter.

Keywords: heavy metals, organic matter, bottom sediments of lakes, Monchegorsk, Arctic zone.

ВЛИЯНИЕ ОБОГАЩЕНИЯ СЕЛЕНОМ НА ЭЛЕМЕНТНЫЙ СОСТАВ ПРОРОСТКОВ ОВОЩНЫХ БОБОВЫХ КУЛЬТУР: *VICIA FABA L., PHASEOLUS VULGARIS L., PISUM SATIVUM L.*

О. В. Ушакова, Н. А. Голубкина, А. А. Кошеваров,
А. В. Молчанова, В. А. Ушаков, А. А. Антошкин

Федеральный научный центр овощеводства,
пос. ВНИИССОК, Московская область, Россия
e-mail: ems.vniissok@mail.ru

Обогащение проростков овощных культур селеном (в частности, бобовых культур) является перспективным направлением получения функциональных продуктов питания с повышенным содержанием антиоксидантов. Впервые изучено изменение элементного состава проростков бобов, фасоли и гороха при обогащении селенатом натрия. Установлено изменение содержания железа, меди, марганца и цинка в проростках при обогащении: значительное снижение содержания указанных элементов в проростках бобов и достоверное повышение концентрации элементов в проростках фасоли, в то время как изменения в элементном составе проростков гороха были минимальными. Наибольший уровень обогащения селеном был установлен для гороха наименьший – для бобов.

Ключевые слова: проростки, бобы, горох, фасоль, обогащение селеном, элементный состав.

Введение

Известно, что проращивание семян сельскохозяйственных растений повышает биодоступность и эффективность усвоения нутриентов и поэтому имеет важное значение в улучшении качества питания человека. Установлено, что в процессе проращивания семян бобовых культур значительно возрастает содержание витамина С, белков и эффективность их усвоения, снижается уровень фитиновой кислоты и активность ингибитора трипсина [3]. Особенно перспективным представляется получение проростков бобовых культур, обогащенных селеном, отличающихся высоким содержанием биодоступных форм микроэлемента [4]. В то же время следует отметить, что до настоящего времени изменения элементного состава проростков бобовых культур в условиях обогащения селеном ранее не исследовались.

Целью настоящего исследования была оценка влияния обогащения селеном проростков семян бобов, фасоли и гороха на элементный состав проростков.

Методы

В работе использовали семена бобов сорт Белорусские, фасоли сорт Московская белая зеленостручная 556, гороха сорт Каира. Семена гороха, фасоли и бобов урожая 2017 года проращивали в камере для роста растений GC-300TLN (Корея) при средней влажности воздуха 50% и температуре 20°C в течение 8 суток, используя: а) дистиллированную воду (контроль) и в) раствор селената натрия (10 мг селената натрия в 1 л воды). Повторность 4х-кратная. Получаемые проростки промывали дистиллированной водой и высушивали до постоянной массы при 70°C. Исходные семена бобовых культур и высушенные проростки гомогенизировали и использовали для определения микроэлементов.

Содержание селена устанавливали флуорометрически [2]. Содержание железа, цинка, меди и марганца определяли методом атомно-адсорбционной спектроскопии на спектрофотометре Shimadzu AA-7000.

Статистическую обработку результатов осуществляли с использованием критерия Стьюдента.

Результаты

Оценка эффективности обогащения семян гороха овощного, бобов овощных и фасоли овощной селеном выявила, что по степени обогащения получаемого продукта (проростки) культуры расположились в следующем порядке: горох – бобы – фасоль (табл. 1). Более высокий уровень обогащения гороха по сравнению с бобами и фасолью, по-видимому, связан с большей легкостью проникновения селена через оболочку семян гороха вследствие ее малой толщины по сравнению с семенами фасоли и особенно бобов. По литературным данным [1] средние уровни накопления микроэлемента в семенах возрастают в ряду: фасоль < горох < бобы, что согласуется с полученными данными по содержанию элемента в проростках. Следует отметить, что отличительной особенностью бобовых культур от большинства других сельскохозяйственных растений является их сравнительная устойчивость к высоким концентрациям селена [5].

Использование 1 г порошка высушенных проростков семян овощного гороха, обогащенных селеном, обеспечивает поступление в организм человека до 100 % суточной потребности человека в селене. Необходимость контроля за содержанием селена в продуктах питания обусловлена узким интервалом допустимого и достаточного уровня потребления этого микроэлемента человеком, составляющим 50 – 200 мкг/день. При длительном поступлении высоких доз селена могут наблюдаться токсикозы, при уровне ниже минимального предела отмечается увеличение риска возникновения и развития кардиологических и ряда онкологических заболеваний, ослабление антиоксидантной защиты организма.

Таблица 1

Обогащение проростков бобовых культур селеном

Объект исследования	Содержание селена, мг/кг		Обогащенные проростки	
	Контроль	Обогащенные	Степень обогащения,	Содержание в 1г, % к суточной потребности
Бобы	0.263±0.021a	30.86±2.10a	117	44,1
Фасоль	0.331±0.028b	34.65±2.20a	105	49,5
Горох	0.219±0.018c	52.93±2.50b	242	75,6

Значения в столбцах с разными индексами достоверно различаются при $P < 0.05$.

Таблица 2

Содержание микроэлементов в бобовых культурах, мг/кг

Вариант	Обработка	Железо	Цинк	Медь	Марганец
Бобы	Контроль	56,82	20,88	6,73	4,29
	Se	30,04	7,67	2,24	2,87
Фасоль	Контроль	24,24	3,39	1,92	2,82
	Se	54,76	9,22	4,38	4,60
Горох	Контроль	64,20	8,68	3,29	3,55
	Se	52,71	11,99	4,94	3,44
Суточная потребность, мг*		10-18	10-15	1	5-10

* Примечание. Методические рекомендации МР 2.3.1.2432-08 о нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации от 18.12.2008 г.

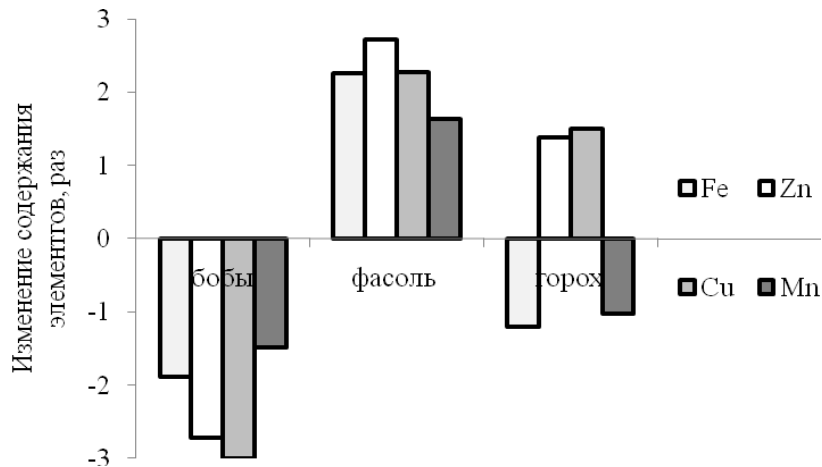


Рис. 1. Изменение содержания химических элементов при обогащении семян селеном

Определено содержание химических элементов: железа цинка меди магния, выявлено, что реакция на обогащение видоспецифична. Так обогащение проростков культуры фасоль селенатом увеличивало накопление в них железа 24,24 мг/кг без обработки и 56,82 мг/кг с обработкой селенатом и марганца 2,817 до 4,6 мг/кг. Тогда как по остальным видам различия в накоплении этих элементов недостоверны (табл. 2, рис. 1).

Закключение

Установлено, что обогащение селеном проростков бобовых культур изменяет содержание железа, меди, марганца и цинка в проростках: значительно снижает в проро-

ствах бобов и достоверно повышает в проростках фасоли, в то время как изменения в элементном составе проростков гороха были минимальными. Наибольший уровень обогащения селеном был установлен для гороха наименьший – для бобов.

Литература

1. Ушакова О. В., Голубкина Н. А., Антошкина М. С., Антошкин А. А., Ушаков В. А., Котляр И. П. Накопление селена бобовыми культурами // Доклады ТСХА: Сб. статей. – М., 2017. – Вып. 288.
2. Alfthan G (1984) A micromethod for the determination of selenium in tissues and biological fluids by single-test-tube fluorimetry. Anal Chim Acta. – 1984. – Vol. 65: 187–194.
3. Devi C. B., Kushwaha A., Kumar A. Sprouting characteristics and associated changes in nutritional composition of cowpea (*Vigna unguiculata*) // J. Food Sci. Technol. – 2015. – Vol. 52. – № 10. – P. 6821–6827. DOI: 10.1007/s13197-015-1832-1
4. Lintschinger J., Fuchs N., Moser J., Kuehnelt D., Goessler W. Selenium-enriched sprouts. A raw material for fortified cereal-based diets // J Agric Food Chem. – 2000. – Vol. 48. – № 11. – P. 5362–5368.
5. Pilon-Smith EAH Selenium in plants // U. Lüttge, W. Beyschlag (eds.), Progress in Botany. – 2015. – Vol. 76. – P. 93–103. DOI 10.1007/978-3-319-08807-5_4.

EFFECT OF SELENIUM BIOFORTIFICATION ON ELEMENTAL COMPOSITION OF LEGUME SPROUTS

**O. V. Ushakova, N. A. Golubkina, A. A. Koshevarov,
A. V. Molchanova, V.A. Ushakov, A. A. Antoshkin**

Biofortification of vegetable sprouts with selenium (legume in particular) is considered to be an important way for production of functional food with elevated levels of antioxidants. Changes in element composition of *Vicia faba* L., *Phaseolus vulgaris* L., *Pisum sativum* L. sprouts as a result of selenium biofortification is investigated for the first time. Significant changes in Fe, Mn, Zn and Cu content were revealed: pronounced increase of Fe, Cu, Mn, Zn was demonstrated in sprouts of *Vicia faba*, and significant increase of the parameters – in sprouts of *Phaseolus vulgaris*. *Pisum sativum* sprouts were characterized by the lowest changes in element composition.

Keywords: sprouts, legumes, selenium biofortification, element composition.

ЗАГРЯЗНЕНИЕ ТРАВЯНИСТЫХ РАСТЕНИЙ СЕМЕЙСТВА АСТРОВЫЕ (ASTERACEAE) Zn, Ni и Cd

В. А. Чаплыгин, С. С. Манджиева, Т. М. Минкина
Академия биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского
Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону, Россия
e-mail: tminkina@mail.ru

Установлена зависимость содержания Zn, Cd и Ni в травянистых растениях семейства Астровые (*Asteraceae*) от расстояния до источника техногенной нагрузки. Выявлены различия в накоплении металлов различными видами травянистых растений при

различных уровнях техногенного загрязнения. В растениях, произрастающих в 5 км зоне вокруг Новочеркасской ГРЭС, выявлено загрязнение всеми изучаемыми элементами. Наиболее сильными аккумуляторами тяжелых металлов являются амброзия полыннолистная и полынь австрийская.

Ключевые слова: тяжелые металлы, техногенное загрязнение, растения, аккумуляция, максимальный допустимый уровень.

Введение

Загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ) является одной из актуальнейших проблем нашего времени. Данные поллютанты распространены всюду, где присутствуют промышленные предприятия или городская инфраструктура. Концентрация ТМ в природной среде имеет тенденцию к увеличению с течением времени, поскольку они не подвержены биodeградации. По этой причине, территории, подверженные многолетнему техногенному загрязнению, являются важными объектами для исследований, направленных на изучение распределения микроэлементов в растительных сообществах. Полиметаллическое загрязнение оказывает разнообразное влияние на травянистые растения, так как различные виды растений аккумулируют в своей надземной части и корневой системе неодинаковые количества ТМ в соответствии с уровнем техногенной нагрузки и их физиологическими особенностями [4, 8]. ТМ имеют свойство в значительном количестве накапливаться в растительных тканях из почвы, воды и воздуха и по трофической цепочке переходить в организм животных, а затем – человека.

Крупнейшим в Ростовской области предприятием, загрязняющим окружающую среду ТМ является филиал ОАО «ОГК-2» «Новочеркасская» ГРЭС (НчГРЭС). На долю этого предприятия приходится 1% всех выбросов поллютантов в атмосферу в РФ, в Ростовской области – свыше 50%, в Новочеркасске – порядка 90% [7]. Негативные последствия выбросов НчГРЭС, ведущие к накоплению ТМ в почве и растениях, могут отчетливо проявиться со временем. Поэтому важны результаты многолетних мониторинговых исследований состояния растений.

Цель работы – изучение характера аккумуляции и распределения Cd, Zn и Ni в различных видах дикорастущих травянистых растений семейства Астровые (*Asteraceae*) в условиях многолетнего техногенного загрязнения.

Объекты и методы

Мониторинговые площадки были заложены на расстоянии 1–20 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. Образцы растений отбирались по преобладающему северо-западному направлению ветров на площадках мониторинга № 4, № 8, № 9, № 10 и прилегающей к данному направлению площадки № 5. Площадка № 10 расположена в 400 м от автомагистрали. За десятилетия выбросов автотранспорта в почву площадки № 10 поступило значительное количество ТМ, которые в настоящее время продолжают переходить из почвы в растения и служат дополнительным источником техногенной нагрузки. Площадка № 9 была выбрана в качестве фоновой за счёт своей большой удаленности от НчГРЭС и отсутствия дополнительных источников загрязнения.

Объектами исследования были выбраны преобладающие на площадках мониторинга травянистые растения из семейства Астровые (*Asteraceae*): амброзия полыннолистная (*Ambrosia artemisiifolia* L.), полынь австрийская (*Artemisia austriaca* Pall. ex. Wild.), тысячелистник благородный (*Achillea nobilis* L.). Отбор образцов растений проводился в трехкратной повторности ежегодно в период 2013–2018 гг. во второй декаде

июня в фазу массового цветения. Выбор периода отбора проб связан с тем, что именно к данной фазе приурочено максимальное поступление элементов в растения [3].

В образцах растений и почв определялись такие ТМ, как Cd, Zn, Ni, присутствующие в выбросах НчГРЭС [7]. Минерализацию проб растений проводили методом сухого озоления согласно ГОСТ 26657-85. Экстракция ТМ из золы осуществлялась растворением в 20%-м растворе HCl с последующим определением методом ААС [5].

Оценка загрязнения растений ТМ проводилась путем сравнения концентрации элементов в растениях с максимально допустимым уровнем (МДУ) содержания металлов в кормах сельскохозяйственных животных [1].

Результаты

Установлена связь содержания ТМ в растениях с уровнем техногенной нагрузки. По мере удаления от НчГРЭС, содержание элементов в растениях снижается до среднего содержания ТМ в травянистых растениях Ростовской области [6]. В связи с селективностью аккумуляции элементов, разные виды растений накапливают в своих органах различные количества ТМ [2], были изучены представители нескольких видов травянистых растений (табл. 1).

По содержанию ТМ в надземной части полыни австрийской (*Artemisia austriaca* Pall. ex. Wild.) в условиях максимальной техногенной нагрузки (1,2 км СЗ) выявлено превышение МДУ для грубых и сочных кормов по всем изучаемым элементам (Zn в 1,7, Ni и Cd в 2,3 раза) (табл. 1). Загрязнение ТМ присутствует на всех площадках СЗ и ССЗ направлений в пределах 5 км от источника эмиссии.

В растениях тысячелистника благородного (*Achillea nobilis* L.) МДУ для кормов превышен на площадках №№ 4, 5, 6, 7 и 10 для Cd и Ni. Максимальное загрязнение фиксируется на площадке № 5 и составляет 2,3 и 3,3 МДУ для Ni и Cd соответственно. Данное растение является наименее загрязненным изучаемыми элементами и единственным видом, для которого не установлено превышение МДУ по Zn (табл. 1).

В растениях амброзии полыннолистной (*Ambrosia artemisiifolia* L.) в условиях максимальной техногенной нагрузки наблюдается загрязнение ТМ, составляющее 2,2 МДУ для Zn, 3,7 для Ni и 4,3 для Cd (табл. 1). Загрязнение амброзии ТМ присутствует на всех площадках мониторинга. Таким образом, отмечается значительная аккумуляция Cd, Ni и Zn амброзией в условиях техногенной нагрузки.

Полученные результаты указывают на значительные отличия в содержании ТМ в надземной части и корневой системе различных видов растений. Несмотря на то, что для всех представителей семейства Астровые характерна преимущественная аккумуляция ТМ в надземной массе, полынь и амброзия в условиях техногенного загрязнения аккумулируют большее количество изучаемых металлов по сравнению с тысячелистником. Полынь накапливает наибольшее количество Cd, амброзия – Zn и Ni.

Таблица 1

**Среднее содержание тяжелых металлов
в различных видах дикорастущих травянистых растений
на площадках мониторинга, мг/кг (2013–2018 гг.)**

№ площадки	Направление и расстояние от НчГРЭС, км	Zn	Ni	Cd
Полынь австрийская				
1	1,0 СВ	45/28	4/3	0,2/0,3
2	3,0 ЮЗ	68/56	3/3	0,3/0,3
3	2,7 ЮЗ	34/29	2/4	0,2/0,1
4	1,6 СЗ	78/54	5/8	1,4/0,4

№ площадки	Направление и расстояние от НЧГРЭС, км	Zn	Ni	Cd
5	1,2 СЗ	85 /69	7/5	1,7 /0,5
6	2,0 ССЗ	51/26	4 /2	0,9 /0,4
7	1,5 С	17/22	3/2	0,3/0,3
8	5,0 СЗ	69 /38	5 /5	0,6 /1,3
9	15,0 СЗ	29/25	2/3	0,1/0,2
10	20,0 СЗ	36/27	4 /3	0,4 /0,5
Тысячелистник благородный				
1	1,0 СВ	38/26	3/5	0,3/0,3
2	3,0 ЮЗ	26/37	2/3	0,2/0,3
3	2,7 ЮЗ	24/19	2/2	0,2/0,1
4	1,6 СЗ	19/38	5 /16	1,1 /2,4
5	1,2 СЗ	49/34	7/4	1,0 /2,5
6	2,0 ССЗ	39/37	4 /9	0,9 /0,5
7	1,5 С	28/34	4/8	0,4/0,6
8	5,0 СЗ	25/21	3/4	0,3/0,2
9	15,0 СЗ	32/23	2/3	0,2/0,1
10	20,0 СЗ	33/27	4 /5	0,4 /0,3
Амброзия полыннолистная				
1	1,0 СВ	83 /50	6 /4	0,4 /0,3
2	3,0 ЮЗ	68 /63	3/2	0,5 /1,4
3	2,7 ЮЗ	62 /43	2/2	0,4 /0,3
4	1,6 СЗ	75 /51	8 /6	1,0 /0,8
5	1,2 СЗ	113 /32	11 /7	1,3 /1,1
6	2,0 ССЗ	79 /41	7/4	0,6 /0,4
7	1,5 С	50/31	4 /2	0,2/0,4
8	5,0 СЗ	85 /57	4 /2	0,3/0,1
9	15,0 СЗ	57 /44	4 /4	0,2/0,1
10	20,0 СЗ	76 /45	3/4	0,5 /0,4
МДУ (Временные максимально допустимые, 1991)		50,0	3,0	0,3

Примечание: числитель – в надземной части, знаменатель – в корневой части, полужирным шрифтом выделено превышение МДУ для кормовых трав.

Заключение

Таким образом, установлена зависимость накопления ТМ в различных видах травянистых растений от уровня техногенной нагрузки на территорию. В растениях, произрастающих в пределах 5 км на северо-запад от НЧГРЭС, выявлено более высокое содержание всех исследуемых элементов и загрязнение Zn, Cd и Ni по сравнению с растениями, более удаленными от НЧГРЭС, а также произрастающими на площадках, расположенных в других направлениях. Наибольшие превышения МДУ данных ТМ приходятся на площадки северо-западного направления. Различные виды дикорастущих травянистых растений семейства Астровые отличаются по накоплению и распределению ТМ в надземной и корневой частях. Полынь австрийская (*Artemisia austriaca* Jack.) аккумулирует наибольшее среди исследуемых растений количество Cd, амброзия полыннолистная (*Ambrosia artemisiifolia* L.) – Zn и Ni.

Работа поддержана грантом в рамках Проектной части госзадания № 5.948.2017/ПЧ и грантом президента РФ МК-2818.2019.5.

Литература

1. Временные максимально допустимые уровни (МДУ) некоторых химических элементов госстипола в кормах сельскохозяйственных животных. Утвержден Главным Управлением Ветеринарии министерства сельского хозяйства РФ, 1991.
2. Демедчик В. В., Соколик А. И., Юрин В. М. Поступление меди в растения и распределение в клетках, тканях и органах // *Успехи современной биологии*. – 2001. – Том. 121. – № 2. – С. 190–197.
3. Ильин В. Б., Степанова М. Д. Тяжелые металлы – защитные возможности почв и растений – урожай // *Химические элементы в системе почва-растение*. – Новосибирск, 1982. – С. 73–92.
4. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989.
5. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. – М.: ЦИНАО, 1992.
6. Соборникова И. Г., Кизильштейн Л. Я. Медь, цинк, свинец в почвах и растениях полины г. Ростова-на-Дону и его окрестностей // *Изв. Сев.-Кав. центра выс. школы. Естест. науки*. – 1990. – № 4. – С. 3–8.
7. Экологический вестник Дона: О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2014 году. – Ростов н/Д, 2014. – С. 283.
8. Ahmad I., Akhtar M. J., Zahir Z. A., Jamil A. Effect of cadmium on seed germination and seedling growth of four wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars. // *Pakistan Journal of Botany*. – 2012. – Vol. 44. – № 5. – P. 1569–1574.
9. Minkina T. M., Mandzhieva S. S., Motuzova G. V., Chaplygin V. A., Suchkova S. N., Fedorov Yu. A., Kolesnikov S. I., Bauer T. V. Accumulation and distribution of heavy metals in plants within the technogenesis zone // *Environmental Engineering and Management Journal*. – 2014. – Vol. 13. – № 5. – P. 1307–1315.

POLLUTION OF HERBACEOUS PLANTS OF ASTERA (ASTERACEAE) FAMILY BY ZN, NI AND CD

V. A. Chaplygin, S. S. Mandzhieva, T. M. Minkina

The relationship between the distance from the technogenic emissions source and Zn, Cd and Ni content in the herbaceous plants of the Aster family (Asteraceae) was found. The differences in the elements accumulation by different plant species at high and low levels of anthropogenic stress are established. In plants growing near Novocherkassk State District Power Plant, contamination with the studied elements was revealed. The strongest accumulators of heavy metals are *Ambrosia artemisiifolia* and *Artemisia austriaca*.

Keywords: heavy metals, technogenic pollution, plants, accumulation, maximum acceptable level.

БИОГЕННАЯ АККУМУЛЯЦИЯ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ТРОФИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ ОСЕТРОВЫХ ВИДОВ РЫБ

В. А. Чаплыгин¹, Т. С. Ершова², В. Ф. Зайцев²

¹ Волжско-Каспийский филиал ФГБНУ «ВНИРО» («КаспНИРХ»),

г. Астрахань, Россия,

e-mail: wladimirchap@yandex.ru

² Астраханский государственный технический университет,

г. Астрахань, Россия

Моллюски, ракообразные, различные виды бентосных рыб являются важной составляющей частью экосистемы Каспийского моря. Особую важность они приобретают и в связи с тем, что являются кормовыми объектами для русского (*Acipenser gueldenstaedtii*) и персидского (*Acipenser persicus*) осетров. Поэтому важно знать элементный состав объектов питания этих рыб, чтобы оценить степень перехода элементов в системе: грунт – пищевые цепи – русский и персидский осетры.

Ключевые слова: Каспийское море, русский осетр, персидский осетр, микроэлементы, аккумуляция, трофические цепи.

Введение

В современных экологических условиях экосистема Каспийского моря находится в состоянии экологической напряженности [7]. Одной из основных причин такого состояния, является загрязнение компонентов экосистемы Каспийского моря тяжелыми металлами (Mn, Ni, Zn, Fe, Cd, Pb, Cu). Эти металлы имеют либо естественное происхождение, либо были привнесены речным стоком, либо поступили в процессе нефтедобычи [7]. Металлы включаются в биогеохимический цикл водной экосистемы и аккумулируются в гидробионтах различных трофических уровней [7,1,4], через которые проходит биогенная миграция тяжелых металлов [2,8]. Накапливаясь в гидробионтах в больших концентрациях, они способны вызывать токсический эффект. Моллюски, ракообразные, различные виды бычков являются важной составляющей частью экосистемы Каспийского моря. Особую важность они приобретают и в связи с тем, что являются кормовыми объектами для русского (*Acipenser gueldenstaedtii*) и персидского (*Acipenser persicus*) осетров [3,6]. Поэтому важно знать элементный состав объектов питания этих рыб, чтобы оценить степень перехода элементов в системе: грунт – пищевые цепи – русский и персидский осетры.

Цель работы заключалась в выявлении особенностей трансформации металлов в компонентах экосистемы северо-западной части Каспийского моря.

Методы

Образцы проб гидробионтов Каспийского моря были получены в результате экспедиций ФГБНУ «КаспНИРХ» в период с 2013 по 2018 гг. Определение тяжелых металлов в гидробионтах выполняли с помощью атомно-абсорбционного метода. Концентрацию ртути выражали в мг/кг сырого веса, а остальных изученных элементов выражали в мг/кг сухого веса. Полученные результаты подвергали статистической обработке.

Результаты

Среди кормовых объектов русского и персидского осетров организмами – накопителями железа являлись рачки рода *Gammarus*, меди – креветки (*Palaemon adspersus*), кобальта и марганца – крабы (*Rhithropanopeus harrisii*), цинка – вобла (*Rutilus rutilus caspicus*). Больше всего хрома выявлено у моллюсков митилястеров (*Mytilaster lineatus*).

Аккумуляторами ртути являлись все исследованные бентосные рыбы (вобла (*Rutilus rutilus caspicus*), бычок хвалынский (*Neogobius caspius*), бычок – песочник (*Neogobius fluviatilis*) и пуголовка (*Benthophilus macrocephalus*).

Таким образом, на основании проведенных исследований по сравнению с другими исследованными видами беспозвоночных раков баянус (*Balanus improvises*) является накопителем большинства элементов (свинец, кадмий, кобальт, марганец и хром). Среди рыб стоит выделить пуголовку (*Benthophilus macrocephalus*), которая аккумулирует металлы в большей степени. Организмом – концентратором кадмия и никеля является моллюск дидакна (*Didacna*).

Анализ рассчитанных коэффициентов концентрации (таблица 1) показал, что хром, марганец и железо не аккумулируется по звеньям трофической цепи экосистемы Каспийского моря.

Свинец, кобальт, кадмий, никель и медь в основном накапливаются в трофическом уровне, занимаемом бентосными беспозвоночными [8]. В тоже время отмечено, что в почках у обоих видов осетровых рыб аккумулируются кадмий и никель [8], а в печени – медь.

Таблица 1

Миграция элементов в трофической сети Каспийского моря

Микро-элемент	Рыбы	Бентос	Грунт
Pb	русский осетр ×0,23 персидский осетр×0,17 рыбы - бентофаги×0,84	бентос беспозвоночные ×3,88	грунт (усреднённые данные) ×1
Co	русский осетр ×0,06 персидский осетр×0,06 рыбы - бентофаги×0,20	бентос беспозвоночные ×2,88	грунт (усреднённые данные) ×1
Cd	русский осетр (почки×1,55) персидский осетр (почки×1,07) рыбы - бентофаги×0,58	бентос беспозвоночные ×2,14	грунт (усреднённые данные) ×1
Ni	русский осетр (почки×1,04) персидский осетр (почки×0,9) рыбы - бентофаги×0,37	бентос беспозвоночные ×1,88	грунт (усреднённые данные) ×1
Cu	русский осетр (печень×1,05) персидский осетр (печень×1,34) рыбы - бентофаги×0,46	бентос беспозвоночные ×4,35	грунт (усреднённые данные) ×1
Zn	русский осетр (печень×10,23; почки×13,28; мышцы×5,07) персидский осетр (печень×8,31; почки×11,65; мышцы×4,44) рыбы - бентофаги×11,89	бентос беспозвоночные ×6,99	грунт (усреднённые данные) ×1
Hg	русский осетр (печень×16,09; почки×12,64; мышцы×11,49) персидский осетр (печень×24,14; почки×12,64; мышцы×14,94) рыбы - бентофаги×2,99	бентос беспозвоночные ×1,11	грунт (усреднённые данные) ×1

Биогенная миграция цинка происходит последовательно в звеньях: грунт – вода - беспозвоночными бентоса – рыбы бентофаги – почки, печень и мышцы русского и персидского осетров [5].

Лучше всего выражена миграция ртути по звеньям пищевой цепи, где коэффициенты концентрации возрастают в системе: грунт – моллюск Дидакна (*Didacna*) – рыбы бентофаги – печень, почки и мышцы русского и персидского осетров [5, 8]. Стоит обратить внимание, что коэффициент концентрации ртути был рассчитан по моллюску Дидакна (*Didacna*), так как среди беспозвоночных он является его макроконцентратором [6].

С повышением занимаемого положения в трофической пирамиде у живых объектов происходило достоверное возрастание содержания металла ($r = 0,98$; $r = 0,96$) [5]. Возможно, это связано с тем, что ртуть образует очень стойкие ртутьорганические комплексы, вытесняя из биологических молекул практически все другие металлы. Это свойство ртути обуславливает необратимое возрастание ее концентрации при переходе по трофической цепи от организмов низших звеньев к высшим.

Заключение

Миграция микроэлементов в трофических цепях изучаемых видов осетровых Каспийского моря имеет следующие особенности:

- ✓ хром, марганец и железо не аккумулируется по изучаемой трофической цепи;
- ✓ накопление свинца и кобальта выше трофического уровня, занимаемого бентосными беспозвоночными не происходило;
- ✓ кадмий, никель и медь накапливались, прежде всего, бентосными организмами, при этом кадмий и никель аккумулировались в почках у обоих видов осетровых рыб, а медь накапливалась в печени русского и персидского осетров;
- ✓ биоаккумуляция цинка происходит последовательно в звеньях: грунт – вода – беспозвоночными бентоса – рыбы бентофаги – почки, печень и мышцы русского и персидского осетров;
- ✓ ртуть мигрирует по звеньям изучаемой пищевой цепи, коэффициенты накопления увеличиваются в системе: грунт – моллюск Дидакна – рыбы бентофаги – печень, почки и мышцы русского и персидского осетров.

Таким образом, в очередной раз доказано, что способность гидробионтов накапливать тяжелые металлы зависит от свойств металла, его участия в биохимических процессах, видовых особенностей, биологического состояния и характера абиотических условий обитания.

Литература

1. Виноградов А. П. Химический элементарный состав организмов моря: Моногр. – М.: Наука, 2001.
2. Остроумов С. А. Роль организмов в регуляции миграции химических элементов и перемещений вещества в экосистемах // Экология промышленного производства. – 2010. – № 3. – С. 26–31.
3. Тихонова Э. Ю. Особенности питания русского и персидского осетра в Северном Каспии // Рыбохозяйственные водоемы России – фундаментальные и прикладные исследования: материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 100-летию ГосНИОРХ. – СПб.: ГосНИОРХ, 2014. – С. 738–743.
4. Чаплыгин В. А., Ершова Т. С., Зайцев В. Ф. Содержание некоторых микроэлементов в гидробионтах каспийского моря // Юг России: экология, развитие. – 2017. – № 3.
5. Чаплыгин В. А., Ершова Т. С., Хурсанов А. С. Содержание ртути в печени русского (*Acipenser gueldenstaedtii*) и персидского (*Acipenser persicus*) осетров // Современные проблемы экологии: Тезисы докл. XIV Междунар. науч.-технич. конф.; Под общ. ред. В. М. Панарина. – Тула: Изд-во «Инновационные технологии», 2016. – С. 113.

6. Чаплыгин В. А., Танасова А. С., Ершова Т. С., Зайцев В. Ф. Исследование особенностей аккумуляции цинка и ртути гидробионтами Каспийского моря // Науч. труды Дальрыбвтуза. – 2018. – Т. 45. – № 2.

7. Чуйко Е. В., Абдусаматов А. С. Особенности миграции тяжелых металлов в экосистеме Северного Каспия / Юг России: экология, развитие. – 2013. – № 3. – С. 110–116.

8. Chaplygin V. A., Ershova T. S., Zaitsev V. F. Trace elements in the body of sturgeon in the Caspian Sea // 3rd International Symposium of Benthological Society of Asia. Vladivostok, Russian Federation. August 24–27, 2016: Abstract Book. – Vladivostok: Dalnauka, 2016. – P. 42.

BIOGENIC ACCUMULATION OF TRACE ELEMENTS IN TROPHIC CHAINS STURGEON

V. A. Chaplygin, T. S. Ershova, V. F. Zaitsev

Mollusks, crustaceans, different species of benthic fish are an important part of the ecosystem of the Caspian sea. They are of particular importance due to the fact that they are fodder objects for Russian and Persian sturgeons. Therefore, it is important to know the elemental composition of the objects of nutrition of these fish to assess the degree of transition of the elements in the system: soil – food chains – Russian and Persian sturgeon.

Keywords: Caspian sea, Russian sturgeon, Persian sturgeon, trace elements, accumulation, trophic chains.

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ БИОАККУМУЛЯЦИИ СЕЛЕНА В КУЧУРГАНСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ-ОХЛАДИТЕЛЕ МОЛДАВСКОЙ ГРЭС

С. С. Шешнищан¹, Н. А. Голубкина², М. В. Капитальчук¹

¹*Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко,
г. Тирасполь, Республика Молдова
e-mail: sheshnitsan@gmail.com*

²*Федеральный научный центр овощеводства,
пос. ВНИИССОК, Московская область, Россия
e-mail: segolubkina45@gmail.com*

Пресноводные экосистемы с замедленным водообменом и небольшой глубиной очень уязвимы к антропогенному загрязнению селеном. В экосистеме Кучурганского водохранилища-охладителя Молдавской ГРЭС обнаружено явление биомагнификации селена в пищевой цепи водного биоценоза до токсических уровней концентраций, связанное с работой электростанции.

Ключевые слова: селен, пищевая цепь, биомагнификация, токсичность, пресноводные экосистемы.

Введение

Селен известен как жизненно необходимый микроэлемент с исключительно важной антиоксидантной ролью в биосфере [1]. Одной из главных особенностей биогеохимии и экотоксикологии селена является очень узкая граница между эссенциальностью и токсичностью, что делает его потенциально опасным токсикантом, избыточные коли-

чества которого в окружающей среде могут иметь не менее серьезные экологические последствия для биоты и человека, чем его дефицит [8].

В водных экосистемах с замедленным водообменом и небольшой глубиной формируются благоприятные условия для наиболее эффективной аккумуляции селена [7]. Именно поэтому гидроэкосистемы подобного типа являются одними из самых уязвимых к антропогенному загрязнению селеном, приводящему к проявлению токсических эффектов у организмов высших трофических уровней [11]. Существует множество примеров токсического действия селена в водных биоценозах озер и водохранилищ США, Канады, Австралии, вызванного антропогенными факторами [8].

Экологический статус селена в долине Среднего и Нижнего Днестра характеризуется значительным его содержанием в воде, умеренным количеством в почвах и растениях, а также высоким содержанием микроэлемента в сыворотке крови населения [2]. В то же время в регионе присутствует потенциальный источник антропогенной эмиссии селена – Молдавская ГРЭС, где со времен постройки долгое время (вплоть до 1985 года) в качестве топлива использовался каменный уголь. Электростанция расположена на берегу Кучурганского лимана, ныне зарегулированного водоема, преобразованного в водохранилище-охладитель. Под тепловым воздействием ГРЭС сильно изменились гидрохимический и гидробиологический режимы [3].

Цель настоящей работы состояла в изучении особенностей биологического поглощения селена в пищевой цепи гидроэкосистемы Кучурганского водохранилища-охладителя Молдавской ГРЭС.

Методы

Отбор проб осуществлялся в литоральной зоне верхнего, среднего и нижнего участков водохранилища в соответствии с общепринятыми методами. Определение содержания селена в пробах воды проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе AAnalyst800 (Perkin Elmer, USA). Тщательно подготовленные пробы донных отложений, детрита, растений, животных подвергали «мокрому» озолению смесью хлорной и азотной кислот. Содержание селена определяли флуориметрическим методом [4], и в работе оно представлено в мкг/кг сухой массы.

Результаты

Лентические системы характеризуются низким содержанием кислорода и высоким содержанием углерода, что способствует формированию восстановительных условий среды. В этих условиях селен часто встречается в форме селенита, который достаточно быстро утилизируется продуцентами и постепенно восстанавливается в более биодоступные органические формы, ещё более легкоусваиваемые, чем селенат и селенит [7]. Среди образцов абиотических компонентов Кучурганского водохранилища нет превышения пороговых концентраций, однако при этом максимальная концентрация элемента в донных отложениях близка к ним (табл.).

Концентрации селена в воде и содержание его в донных отложениях считаются не самыми объективными критериями ввиду пространственно-временной гетерогенности, различий химических форм элемента в разных водных объектах, разнообразия планктонных и бентосных сообществ, а также различного пищевого поведения организмов высших трофических уровней. Более рационально использование в качестве критерия концентрации селена в тканях живых организмов, интегрирующего пути поступления элемента (вода и пища), длительность и магнитуду воздействия, химические формы, метаболические превращения и модифицирующее воздействие абиотических и биотических факторов [9].

Таблица

**Диапазоны наблюдаемых концентраций селена (мкг/кг)
в компонентах водной экосистемы Кучурганского водохранилища
в сравнении с установленными порогоми токсичности**

Компоненты экосистемы водохранилища	Порог токсичности [10]	Диапазон концентраций	% образцов с превышением порога
Вода, мкг/л	>2	0,78–1,43	–
Донные отложения	>4000	349–3937	–
Детрит		764–2773	–
Пища рыб, в т.ч.:	>3000	211–11394	41
Растения		211–8056	6
Беспозвоочные		1134–11394	35
Рыбы, в т.ч.:	>4000*	2842–11017	46
Растительоядные		2842–4010	7
Всеядные		3044–5626	8
хищные		2891–11017	31
Водоплавающие птицы			
печень	>10000**	5281–12217	50
мышцы		4157–6616	–

* – все тело; ** – для половозрелых самок.

Распределение и миграция селена в пищевой сети разных типов водных экосистем могут различаться, и они связаны не только с гидрологическими и гидрохимическими условиями, но и с особенностями преобладающих трофических связей. Так, например, в некоторых типах гидроэкосистем преобладающими являются бентосные детритные трофические цепи, в других – первичным звеном большинства пищевых цепей является фитопланктон. В обоих случаях может наблюдаться эффект биомагнизации (биологического усиления) селена [12]. На основе изучения структуры пищевой сети гидроэкосистемы водохранилища и содержания селена в разных группах гидробионтов удалось выяснить, что биоаккумуляция элемента происходит преимущественно в детритных пищевых цепях. Это является свидетельством лучшей биодоступности селена в детрите и донных отложениях, присутствующего в них преимущественно в органических формах [6]. В донных отложениях селен может депонироваться посредством иммобилизационных процессов. Пролонгированное действие селена в водной экосистеме происходит в том случае, когда в донных отложениях протекают процессы постепенной ремобилизации элемента и включения его в пищевую цепь [11], что, вероятно, имеет место в Кучурганском водохранилище.

Причиной явления биомагнизации, как правило, является биоконцентрация селена микроорганизмами – водорослями, бактериями, находящимися в основании пищевой цепи. Потенциально они способны концентрировать этот элемент на четыре – шесть порядков больше, чем его содержится в воде [5]. В условиях Кучурганского водохранилища биоконцентрация продуцентами приводит к увеличению содержания элемента в водной растительности на три порядка. Среди растений – потенциальных пищевых ресурсов рыб – только 8% проб превышают порог токсичности, в то же время для проб беспозвоочных такое превышение наблюдается в 36% проб (табл.). Подобные концентрации элемента в кормовых ресурсах рыб существенно отражаются на аккумуляции ими селена: именно хищные рыбы оказываются наиболее уязвимыми, поскольку в 31% проб мышечной ткани отмечается превышение порога токсичности в 4000 мкг/кг. Заметно меньший риск проявления токсических эффектов селена наблюдается для растительоядных и всеядных рыб. В целом, повышенный уровень концен-

траций селена свойственен хищным видам рыб (щука *Esox lucius*, окунь *Perca fluviatilis*, бычок *Neogobius fluviatilis*), а также рыбам-бентофагам (лещ *Abramis brama*). Меньшие количества элемента аккумулируют виды с преобладающей растительной пищей (белый амур *Ctenopharyngodon idella*). Эта особенность вполне адекватно отражает увеличение содержания селена с ростом трофического уровня вида в водной экосистеме.

Сходные закономерности наблюдаются у водоплавающих птиц. Так, концентрации селена в печени у всеядной кряквы *Anas platyrhynchos* значительно выше (12217 ± 89 мкг/кг), чем у лысухи *Fulica atra* (5281 ± 472 мкг/кг), рацион которой составляет преимущественно водная растительность. Существенным моментом является факт превышения установленного порога токсичности селена для яйцекладущих самок в печени кряквы (табл.), что потенциально может иметь отрицательные последствия для популяции в целом ввиду тератогенного влияния избыточных количеств элемента на эмбриональное развитие [8].

Необходимо отметить, что в экосистеме Кучурганского водохранилища имеет место пространственная дифференциация концентраций селена в компонентах гидробиоценоза. Содержание элемента в разных группах гидробионтов, населяющих верхний участок водохранилища, является в той или иной степени более высоким по сравнению представителями тех же таксонов в других участках водоема. Повышенные концентрации характерны для всех звеньев пищевой цепи – от автотрофов до организмов высших трофических уровней. Причину повышенной биоаккумуляции селена в верхнем участке водохранилища, вероятно, следует усматривать в его высокой биодоступности, обусловленной рядом природных и антропогенных факторов.

Заключение

Таким образом, антропогенные факторы, связанные с работой электростанции (в топливном балансе которой долгое время основу составлял каменный уголь), зарегулированием водоема и последующим коренным изменением гидрологического, термического, гидрохимического и гидробиологического режимов, обусловили в экосистеме Кучурганского водохранилища-охладителя: (1) биомагнификацию селена до уровней концентраций, превышающих установленные пороги токсичности для рыб и водоплавающих птиц; (2) пролонгированное действие селена в экосистеме, обусловленное поступлением элемента из донных отложений и постепенным включением его в водную пищевую цепь; (3) преобладающий путь миграции селена в водных пищевых цепях через детритные пищевые цепи; (4) пространственную дифференциацию селена с повышенным содержанием элемента в организме гидробионтов, населяющих верхний участок водохранилища.

Литература

1. Ермаков В. В. Тютиков С. Ф. Геохимическая экология животных. – М.: Наука, 2008.
2. Капитальчук И. П., Капитальчук М. В., Голубкина Н. А. Экологический статус селена в природно-антропогенных ландшафтах бассейна Днестра // Биогеохимия и биохимия микроэлементов в условиях техногенеза биосферы: Материалы VIII междунар. Биогеохимической школы. – М.: ГЕОХИ РАН, 2013. – С. 184–187.
3. Садыкин А. В., Кольвенко В. В. Природа Тирасполя и его окрестностей. – Тирасполь, 2008.
4. Alfthan G. A. Micromethod for the determination of selenium in tissues and biological fluids by single-test-tube fluorimetry // Anal Chim Acta. – 1984. – Vol. 65. – P. 187–194.
5. Baines S. B., Fisher N. S. Interspecific differences in the bioconcentration of selenite by phytoplankton and their ecological implications // Marine Ecol Progr Ser. – 2001. – Vol. 213. – P. 1–12.

6. Bogdevich O. P., Hannigan R. E., Izmailova D. N. Assessment of natural and artificial sources of selenium in the environment of Moldova Republic // Proceeding of Sixth Internat Symposium and Exhibition on Env Contaminat in Central and Eastern Europe and Commonwealth of Independent States. Prague, Czech Republic, 2003. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.prague2003.fsu.edu/content/pdf/016.pdf>
7. Bowie G. L. et al. Assessing selenium cycling and accumulation in aquatic ecosystems // Water Air Soil Pollut. – 1996. – Vol. 90. – P. 93–104.
8. Ecological Assessment of Selenium in the Aquatic Environment. P. M. Chapman, W. J. Adams, M. L. Brooks, C. G. Delos, S. N. Luoma, W. A. Maher, H. M. Ohlendorf, T. S. Presser, D. P. Shaw (eds). – Boca Raton: CRC Press, 2010.
9. Hamilton S. J. Rationale for a tissue-based selenium criterion for aquatic life // Aquatic Toxicol. – 2002. – Vol. 57. – P. 85–100.
10. Hamilton S. J. Review of selenium toxicity in the aquatic food chain // Sci Total Env. – 2004. – Vol. 326. – P. 1–31.
11. Lemly A. D. Selenium assessment in aquatic ecosystems: a guide for hazard evaluation and water quality criteria. – Springer, 2002.
12. Stewart A. R. et al. Food web pathway determines how selenium affects aquatic ecosystems: a San Francisco Bay case study // Env Sci Technol. – 2004. – Vol. 38. – P. 4519–4526.

ECOLOGICAL ASPECTS OF SELENIUM BIOACCUMULATION IN KUCHURHAN COOLING RESEVOIR OF MOLDAVIAN POWER STATION

S. S. Sheshnitsan, N. A. Golubkina, M. V. Kapitalchuk

Freshwater ecosystems with low water exchange and shallow depth are known to be highly vulnerable to anthropogenic pollution by selenium. Selenium biomagnification in food chain to toxic levels associated with power plant emission was detected in ecosystem of the Kuchurhan cooling reservoir of Moldavian power station.

Keywords: selenium, food chain, biomagnification, toxicity, freshwater ecosystems.

СТАТУС ЦИНКА В БИОГЕОХИМИЧЕСКОЙ ПИЩЕВОЙ ЦЕПИ «ПОЧВА – РАСТЕНИЯ – ЖИВОТНЫЕ» В СТЕПНЫХ ЛАНДШАФТАХ ДОЛИНЫ ДНЕСТРА

Т. Л. Шешнищан, С. С. Шешнищан

*Приднестровский государственный университет им. Т. Г. Шевченко,
г. Тирасполь, Республика Молдова
e-mail: sheshnitsan@gmail.com*

Геохимические условия аридных и полуаридных регионов являются основной причиной широкого распространения дефицита Zn у сельскохозяйственных растений, животных и человека. В степных ландшафтах долины Днестра выявлена маргинальная недостаточность цинка у сельскохозяйственных животных и низкая обеспеченность биогеохимической пищевой цепи микроэлементом.

Ключевые слова: цинк, почва, подвижность, биогеохимическая пищевая цепь.

Введение

Цинк (Zn) является эссенциальным элементом для всех живых организмов. Он участвует в модуляции структуры и функции различных белков, а также связан с рядом важнейших клеточных процессов от ферментативного катализа до регуляции [11]. По оценкам ФАО около 30% пахотных почв мира характеризуются низким уровнем содержания биодоступных форм Zn [18]. Наиболее склонны к дефициту данного элемента почвы аридных и полуаридных регионов, характеризующиеся высокой карбонатностью. Характерные геохимические условия этих территорий являются основной причиной широкого распространения дефицита Zn у сельскохозяйственных растений, животных и человека [14].

В Молдавии доля пахотных земель с очень низким и низким содержанием Zn составляет по некоторым оценкам 72,6–77,5% [6, с. 91]. Результаты исследования содержания Zn в компонентах окружающей среды Молдавии позволили Я.В. Бумбу выделить биогеохимическую провинцию с недостатком элемента, которая охватывает юго-восточные районы Молдавии [1]. Почвенный покров долины Нижнего Днестра представлен главным образом черноземными почвами – обыкновенными и карбонатными. Однако особенности этих почв (карбонатность, высокий уровень pH, низкая влагообеспеченность, насыщенность поглощающего комплекса Ca и Mg и т. д.) обуславливают низкую обеспеченность подвижными формами Zn [1, 9].

Целью данного исследования является оценка распределения Zn в биогеохимической пищевой цепи «почва-растение-животное» в эколого-геохимических условиях степного района долины Днестра.

Методы

Район исследования представляет собой террасовую равнину, расположенную в юго-восточной части Молдавии и занимающую в основном левобережную степную часть долины Нижнего Днестра. Отбор почвенных образцов производился почвенным буром на глубину 30 см. В местах взятия почвенных образцов отбирались пробы надземной части пырея ползучего, пшеницы и укосов пастбищных растений. Образцы волосяного покрова животных отобраны в пастбищный период с хвостовой части у коров черно-пестрой породы и коз пород русская белая и зааненская. Отбор проб производился у животных в возрасте от 2 до 7. Для исследования отбирался проксимальный участок длиной 5-7 см в количестве не менее 0,4 г. Очистку волос от загрязнений в соответствии с методикой [8].

Содержание углерода органических соединений в почве определялось по Тюрину, поглощенных оснований $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ – по Шаймухаметову, карбонатов – алкалиметрическим методом по Козловскому. Валовое содержание Zn в почвенных образцах определяли методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии на приборе AAnalyst800 (Perkin Elmer, США). Подвижные формы Zn извлекали в вытяжках 1 М буферного ацетатно-аммонийного раствора с pH = 4,8 (ААБ). Содержание Zn в почвенных экстрактах ААБ, а также в растениях и волосах определяли после озоления смесью сильных неорганических кислот с помощью атомно-абсорбционного спектрофотометра AA-7000 (SHIMADZU, Япония).

Результаты

Почвы долины Нижнего Днестра по валовому содержанию Zn характеризуются невысокими значениями концентраций (табл.), которые в среднем более чем в два раза ниже, чем региональный фон (71 мг/кг) [6]. Валовые запасы биогенного металла в почвах района исследований варьируют от 13,2 мг/кг в черноземах карбонатных до 63,0 мг/кг в аллювиальных луговых почвах. Результаты анализа зависимости концентраций

валового Zn от свойств почв свидетельствуют о ведущей роли гумуса ($r = 0,595$) и емкости почвенно-поглощающего комплекса ($r = 0,547$) в накоплении Zn в верхнем слое почв долины Нижнего Днестра. Это объясняет сравнительно высокое содержание металла в черноземах типичных, обусловленное их тяжелым гранулометрическим составом и повышенным содержанием органического вещества. По сравнению с другими металлами валовое количество металла в почвах значительно варьирует ($V = 36,8 \div 70,3\%$).

На долю подвижных соединений Zn, извлекаемых ААБ pH = 4,8, приходится от 0,3% в черноземе типичном до 15,6% от валового содержания в аллювиальной луговой почве. В целом, по содержанию мобильных форм металла лидируют аллювиальные почвы ($1,91 \pm 1,29$ мг/кг), а наименьшие количества подвижных форм обнаружены в черноземах обыкновенных ($0,46 \pm 0,19$ мг/кг). Следует заметить, что убывание концентрации подвижного Zn происходит одновременно со снижением содержания карбонатов, что находит свое отражение в наличии между ними корреляционной зависимости ($r_s = 0,468$).

Таблица

Содержание цинка (мг/кг) в компонентах биогеохимической пищевой цепи степных ландшафтов долины Днестра

Звено биогеохимической пищевой цепи	Нормальное содержание	Долина Нижнего Днестра		
		Медиана	25%–75%	min–max
<i>Почва</i>				
валовое содержание	30–70 [3]	25,2	16,7–48,9	13,2–63,0
подвижные формы	2,1–5,0 [3]	0,70	0,48–1,40	0,14–3,34
<i>Растения (надземная часть)</i>	30–60 [3]			
пырей ползучий		27,5	22,6–32,8	14,9–43,4
Пшеница		28,5	26,8–35,1	22,4–35,6
укося пастбищных трав		6,8	2,8–7,8	2,6–8,9
<i>Животные (волосы)</i>				
Коровы	100–150 [3, 16]	29,0	11,3–38,2	6,5–62,3
Козы	100–120 [16]	57,6	34,8–61,8	6,3–67,5

При сравнении с биогеохимическими и агрохимическими пределами нормального содержания Zn в почвах [3] можно сделать вывод о сниженном валовом содержании металла и его низкой подвижности в степных ландшафтах долины Днестра, хотя диапазоны наблюдаемых концентраций варьируют от очень низких до оптимальных значений (табл.). Стоит учитывать также, что для Zn в долине Нижнего Днестра характерна низкая интенсивность миграции в ландшафте и его слабоконтрастная дифференциация в растениях [5].

Низкая обеспеченность почв подвижным Zn отражается на накоплении его растениями. Дикорастущие и культурные злаковые растения накапливают сопоставимые количества биогенного металла (табл.), причем варьирование его концентраций наблюдается по обе стороны от нижней границы нормального содержания в 30 мг/кг. Значения коэффициентов биологического поглощения в системе «почва–растение» составляют от 0,32 до 2,58, что в отдельных случаях свидетельствует об активной биоаккумуляции элемента растительным организмом для обеспечения своих физиологических потребностей.

Содержание Zn в пастбищных травах долины Нижнего Днестра, изменяющееся в пределах от 2,6 до 8,9 мг/кг, соответствует таковому для дикорастущих злаковых трав Молдавии (3–8 мг/кг) [6], которые составляют основу травостоя в степных фитоценозах. Сравнение с нормами содержания Zn в кормах для мясного скота (30 мг/кг [15]) позволяет судить о том, что в пастбищный период обеспечение потребностей в биоген-

ном металле невозможно только за счет естественных кормов. И действительно, исследователи отмечают, что Zn является одним из наиболее дефицитных микроэлементов и его оптимальное содержание редко встречается в пастбищных травах [15].

Оценка статуса животных по Zn проведена на основе изучения элементного состава волос кисти хвоста коров и коз. В настоящее время считается, что изучение элементного состава волос сельскохозяйственных животных (коровы, козы, овцы) является одним из самых быстрых и эффективных способов получения адекватной информации при диагностике микроэлементозов, а также выявления биогеохимических провинций, что подтверждается связью концентраций химических элементов в волосяном покрове с ландшафтно-геохимическими условиями среды обитания [2, 4, 7]. Многочисленные работы зарубежных авторов указывают на тесную корреляционную связь между концентрацией Zn в волосяном покрове крупного и мелкого рогатого скота с потребляемой ими пищей [12, 17].

В целом, козы характеризуются достоверно более высоким содержанием Zn в волосах, которое превышает его концентрации в волосах хвостового пучка коров на 50% (табл.). Необходимо отметить, что содержание Zn в волосах коз достоверно не различается у разных пород и поэтому рассматривается как однородная выборка. Учитывая сходную потребность крупного и мелкого рогатого скота в микроэлементе [19], подобные различия в некоторой степени отражают особенности рациона питания и накопления металла. Сравнение с диапазонами нормального содержания Zn в волосах, которые для коров и коз практически одинаковы (табл.), свидетельствует о значительно более низком содержании металла. Вместе с тем, выявленные уровни концентраций сопоставимы с литературными данными [10] и низкий уровень содержания металла в волосах не обязательно отражает его дефицит, связанный с физиологическими нарушениями роста и развития у животных [12, 13]. В то же время, содержание Zn в волосах может свидетельствовать о маргинальной недостаточности микроэлемента у животных в долине Нижнего Днестра.

Заключение

Таким образом, оценка распределения Zn в биогеохимической пищевой цепи «почва–растения–животные» степных ландшафтов долины Днестра позволяет судить о маргинальной недостаточности этого микроэлемента, обусловленной эколого-геохимическими условиями региона.

Литература

1. Бумбу Я. В. Биогеохимия микроэлементов в растениях, почвах и природных водах Молдавии. – Кишинев: Штиинца, 1981.
2. Ермаков В. В., Тютиков С. Ф. Геохимическая экология животных. – М.: Наука, 2008.
3. Ермаков В. В., Тютиков С. Ф., Сафонов В. А. Биогеохимическая индикация микроэлементозов / Отв. ред. Т. И. Моисеенко. – М.: РАН, 2018.
4. Замана С. П. Определение химического элементного состава волосяного покрова у крупного рогатого скота // Сельскохозяйственная биология. – 2006. – № 4. – С. 121–125.
5. Капитальчук И. П., Шешницан Т. Л., Шешницан С. С., Капитальчук М. В. Миграция марганца, цинка, меди и молибдена в ландшафтно-геохимических катенах долины Нижнего Днестра // Юг России: экология, развитие. – 2018. – Том 13. – № 2. С. 96–112.
6. Кирилюк В. П. Микроэлементы в компонентах биосферы Молдовы. – Кишинев: Pontos, 2006.

7. Мирошников С. А., Завьялов О. А., Фролов А. Н. и др. Разработка метода выявления элементарозов крупного рогатого скота // Вестник мясного скотоводства. – 2016. – № 4 (96). – С. 73–78.
8. Способ подготовки пробы терминальных волос крупного рогатого скота к анализу на содержание макро- и микроэлементов // Патент России № 2304763 С2. 2007. Бюл. № 23 / С. И. Усенко, М. М. Пророк, Л. Н. Ковалева и др.
9. Тома С. И. Микроэлементы ав полеводстве Молдавии. – Кишинев: Штиинца, 1973.
10. Шешнищан Т. Л., Шешнищан С. С., Капитальчук М. В. Содержание марганца, цинка, меди и молибдена в волосах покрове сельскохозяйственных животных долины Нижнего Днестра // Юг России: экология, развитие. – 2018. – Т. 13. – № 4. – С. 166–173.
11. Andreini C., Banci L., Bertini I., Rosato A. Zinc through the three domains of life // Journal of Proteome Research. – 2006. – Vol. 5. – P. 3173–3178.
12. Combs D. K. Hair analysis as an indicator of mineral status of livestock // J. Anim. Sci. – 1987. – Vol. 65. – P. 1753–1758.
13. Deeming S. B., Weber C. W. Evaluation of hair analysis for determination of zinc status using rats // Am. J. Clin. Nutr. – 1977. – Vol. 20. – P. 21–47.
14. Fageria N. K., Dos Santos A. B., Cobucci T. Zinc nutrition of lowland rice // Communication in Soil Science and Plant Analysis. – 2011. – Vol. 42. – P. 1719–1727.
15. Nutrient Requirements of Beef Cattle: Eighth Revised Edition. – Washington, DC: The National Academies Press, 2016.
16. Puls R. Mineral Levels in Animal Health. Diagnostic Data. 2nd Edition, Sherpa International, Clearbrook, 82. 1994.
17. Scott G. The Sheepman's Production Handbook, 4th edn. Abegg Printing. 1991.
18. Sillanpaa M. Micronutrients Assessment at the Country Level. An international Study. FAO Soils Bulletin 63. 1990. P. 1–39.
19. Suttle N. F. Mineral nutrition of livestock. 4th edition. CABI, Cambridge, 2010.

ABOUT ZINC SUPPLY OF BIOGEOCHEMICAL FOOD CHAIN “SOIL-PLANT-ANIMAL” IN STEPPE LANDSCAPES OF THE DNIESTER VALLEY

T. L. Sheshnitsan, S. S. Sheshnitsan

Geochemical conditions of arid and semi-arid regions are the main reason of widespread Zn deficiency in agricultural plants, animal and human beings. Marginal Zn deficiency in farm animals and the low supply of biogeochemical food chain with a trace element were found in the steppe landscapes of the Dniester Valley.

Keywords: zinc, soil, mobility, biogeochemical food chain.

ПОГЛОЩЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ АГРОЧЕРНОЗЕМОВ ПШЕНИЦЕЙ, СОЕЙ И КОМПОНЕНТАМИ МНОГОЛЕТНЕЙ ТРАВΟΣМЕСИ НА ПЛАВСКОМ ПЛАТО

О. В. Шопина, И. Н. Семенков, Т. А. Парамонова, О. Л. Комиссарова

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова,
г. Москва, Россия

На территории Плавского плато (Тульская область) исследованы агроценозы пшеницы (*Triticum aestivum*), сои (*Glycine max*) и многолетней козлятниково-кострецовой (*Galega orientalis* и *Bromopsis inermis*) травосмеси, произрастающие на агрочернозёмах глинисто-иллювиальных для анализа миграции химических элементов в системе «почва–растение». Интенсивность поглощения элементов из агрочерноземов культурными растениями уменьшается в ряду: P > K > Ca > Mg > Zn > Cu > Mn > Sr > Fe, Pb > Al > Ti, Si, V, As, Ni, Co и Cr. Степень преобразования элементного состава ризосферного пространства агрочерноземов Плавского плато при выращивании сельскохозяйственных культур уменьшается в ряду: соя > пшеница, козлятник > кострец.

Ключевые слова: биогеохимическая специализация, агроценоз, чернозём, минеральное питание растений, потенциально токсичные элементы.

Введение

В зависимости от особенностей морфологии, филогении и физиологии растения избирательно накапливают и рассеивают элементы минерального питания (так проявляется биогеохимическая специализация) и могут быть разделены на аккумуляторные и дискриминаторные виды [1-2]. После выявления общих закономерностей биологического круговорота в контексте анализа способности растений менять химический состав почвы вблизи корней новым направлением биогеохимии стало изучение распределения веществ по зонам ризосферного пространства с выделением ближней к корням (активной) и дальней (пассивной) зоны ризосферы.

Цель работы: выявление особенностей миграции элементов в системе «почва – ризосферное пространство – сельскохозяйственные растения» в агроценозах Плавского плато.

Объекты и методы

Исследования проведены на трёх площадках с агрочерноземами глинисто-иллювиальными, занятых агроценозами пшеницы (*Triticum aestivum*), сои (*Glycine max*) и козлятниково-кострецовой (*Galega orientalis* и *Bromopsis inermis*) многолетней травосмеси с отбором 35 образцов почвы, 8 образцов ближней и дальней зон ризосферы, 16 – наземной фитомассы растений и 4 – подземной фитомассы. Монолитами ненарушенного сложения с помощью кольцевого пробоотборника с площади 300 см² отбирали образцы почв и подземной фитомассы послойно с шагом по 10 см до глубины 30 см в трехкратной повторности. Ближней считали часть ризосферы, остававшуюся на корнях извлеченного из почвы растения (так называемые бусы по корням), дальней – корнеобитаемый слой, не удерживаемый корнями (рис. 1).

На площадках пшеницы и травосмеси закладывали полнопрофильные разрезы и опробовали почву по генетическим горизонтам. Надземная фитомасса опробована методом сплошного укоса с площади 2500 см² в трехкратной повторности над местом отбора почв (рис. 1). Места отбора повторных проб почв и растений располагали на расстоянии около 5 м. Дополнительно в пределах каждой площадки отобраны наземная и корневая фитомасса для получения необходимого количества вещества для после-

дующих химических анализов. Образцы почв ризосферного пространства разделяли на фракции структурных агрегатов диаметром более 10 мм, 10–2 мм, 2–0,25 мм и 0,25 мм для дальнейшего отдельного анализа.

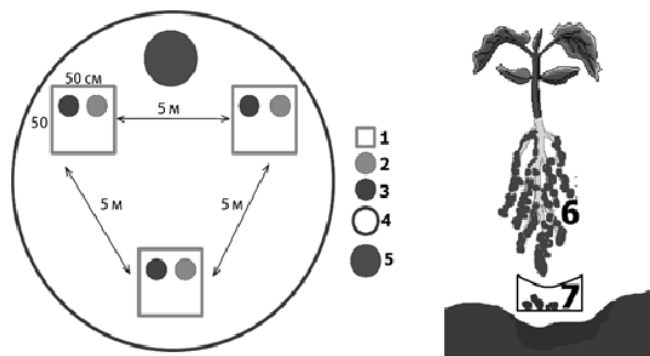


Рис. 1. Места отбора проб почв и растений:

слева – в пределах отдельно взятого агроценоза (1 – укос надземной фитомассы с пробной площади, 2 – почвы послойно кольцевым пробоотборником, 3 – корней кольцевым пробоотборником, 4 – усредненных проб надземной и подземной фитомассы, 5 – полнопрофильный разрез);
справа – опробование 6 – ближней зоны ризосферы и 7 – дальней

В Эколого-геохимическом центре географического факультета МГУ в почвах определяли рНводн на приборе «Эксперт – 01» в статических условиях (соотношение почва: вода 1:2,5); углерод органических веществ (Сорг) титриметрически по И.В. Тюрину с фенилантраниловой кислотой; гранулометрический состав – методом лазерной дифрактометрии на приборе «Fritsch Analysette 22 MicroTec Plus» в образцах, растертых пестиком с резиновым наконечником и обработанных 4% раствором $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$; элементный состав – рентген-флуоресцентным методом на приборе «Спектросан Макс – GV». В растениях зольность определена по ГОСТ 26657-85 на факультете почвоведения МГУ, элементный состав – атомно-эмиссионным методом с индуктивно-связанной плазмой на приборе «iCAP-6500, Thermo Scientific» (США) в ИПТМ РАН после мокрого озоления проб смесью 96% HNO_3 и 30% H_2O_2 в автоклавной установке по методике [5].

Результаты анализов обрабатывали в пакете «Statistica» с расчетом среднего, стандартного отклонения (σ), коэффициента вариации (Cv) и выполнением непараметрических тестов для оценки различий среднего для зависимых и независимых переменных. Активность поглощения элементов растениями из почвы оценена с помощью коэффициентов биологического поглощения (КБП) – отношения содержания в золе растения к содержанию в почве [6]. Перераспределение элемента по органам растения охарактеризовано с помощью коэффициента ОСОР (относительного содержания в органе растения) – отношение содержания элемента в органе к содержанию в мелких корнях [4]. Видовые различия накопления элементов выявляли, используя коэффициент ОСВР (относительное содержание в виде растения) – отношение содержания элемента в растении к содержанию в эталонном растении [4]. В настоящей работе в качестве эталона выбрана пшеница.

Результаты

Все изучаемые площадки расположены в схожих условиях элювиальных (пшеница и травосмесь) и трансэлювиальных (соя) ландшафтов. Значения рНводн верхних горизонтов и ризосферного пространства нейтральные – слабощелочные и составляют 5,6–6,9. Содержание Сорг отличается несущественно: $p > 0,08$. Минимальные значения характерны для площадки с соей: 4%. Площадки с пшеницей и травосмесью имеют примерно равные содержания Сорг $\approx 5\%$. Гранулометрический состав верхних 30 см

изученных черноземов однороден: $p > 0,08$ для всех фракций. Его структура схожа для всех площадок: максимальную долю (40–50%) имеет фракция крупной пыли, 20–30% – мелкая пыль и около 20% – средняя. Вклад песчаных фракций и ила невелик во всех случаях.

Верхние 30-см черноземов изученных площадок по элементному составу значительно не отличаются: $p > 0,08$ для всех элементов. По поведению в почвенном профиле элементы образуют 4 группы: с поверхностно-аккумулятивным (Ca, Mn, Zn и Sr), равномерно-элювиальным (Al, Si, Co и As), недифференцированно-равномерным распределением (Ti, Fe, K и Mg) и распределением с большой вариабельностью, или неустойчивой дифференциацией (Cu, V, Cr, Ni и Pb). По отношению к средним содержаниям элементов в земной коре [3], изученные агрочерноземы обогащены (подстрочный индекс – кларк концентрации) $Co_{1,9}$, $P_{1,6}$, $Cu_{1,6}$, $Ti_{1,4}$, $Ni_{1,4}$, $Si_{1,3}$, $As_{1,3}$ и обеднены (подстрочный индекс – кларк рассеяния) $Ca_{4,1}$, $Mg_{3,6}$, $Sr_{1,6}$ и $Fe_{1,3}$.

К элементам, накапливающимся в одном или нескольких органах всех видов растений, относятся P, K, Ca, Mg и Zn. Наибольшие значения КБП характерны для P (КБП > 5). Бобовые – соя и козлятник – наиболее интенсивно накапливают Ca и Mg (КБП > 10 и > 7 соответственно в наземной части). Растения семейства Злаковые – пшеница и коострец – слабо различаются по элементному составу. Бобовые по сравнению с пшеницей содержат больше K и Mg во всех органах (ОСБП > 2), а также Ca (> 8) и Sr (> 4) в наземной фитомассе и меньше – Si (ОСБП < 0,2) в наземных частях, а также Al, Fe, Ti и Pb (< 0,2) – в корнях. В наземной части всех изученных растений интенсивно накапливаются P (ОСОП > 1,5), K (> 3) и Mg (> 1,5), а в корнях – Fe, Al, As, V и Cr (ОСОП в наземной части всех растений < 0,1).

Статистически значимые отличия содержания элементов в ризосферной зоне по сравнению со средним содержанием в 30-см слое у пшеницы характерны для V, которого меньше в ризосферной зоне, чем в 30-см слое: $p = 0,013$; а у сои Al, Cu и Cr больше в ризосферной зоне, чем в 30-см слое: $p = 0,02$, $0,03$ и $0,02$ соответственно. Для костреца и козлятника статистически значимых различий не выявлено: $p > 0,13$ для всех элементов. Особо выделяется ризосфера сои, где в большем количестве во всех изученных агрегатных фракциях содержатся $K > Si > P > Mg$, Mn , $Cr > Al$, Ni , $Sr > Fe$, $Ca > Ti$, Co и V , что отражает наибольшее преобразование растением элементного состава гумусового горизонта изученных агрочерноземов. Значимых различий элементного состава между ближней и дальней зонами ризосферы не выявлено: $p > 0,13$ для большинства элементов. В ближней зоне ризосферы пшеницы существенно меньше (на величину 2σ) Co , Cu , Mn и Ni , чем в дальней зоне. Также у пшеницы очень сильно выделяется фракция агрегатов диаметром менее 0,25 мм, в ближней зоне ризосферы которой содержится не менее, чем на 2σ меньше $Mn < Fe$, Si , Zn , Co , Cu , $As < V$, Cr , Ni , Ti , Pb , чем в дальней зоне. В ближней зоне ризосферы костреца содержится меньше Ti. Ближняя и дальняя зоны ризосферы сои практически не различаются. В ближней зоне ризосферы козлятника меньше Cr и Mg и больше – K. Очень контрастно у козлятника выделяется фракция агрегатов диаметром 2–0,25 см. В ее ближней зоне относительно дальней содержится больше $Zn > Si > Cu > Ti > Fe$, Ni , $Pb > Mn$, $As > V$ и Sr .

Заключение

Активность поглощения элементов из агрочерноземов культурными растениями на Плавском плато уменьшается в ряду: $P > K > Ca > Mg > Zn$ (КБП > 2). К слабо поглощаемым всеми растениями элементам относятся: Ti, Fe, Al, Si, Co, As, V, Cr, Ni, Pb и Mn (КБП < 0,1). Бобовые активнее Злаковых поглощают из агрочерноземов Ca и Mg. По сравнению с пшеницей Бобовые содержат во всех органах больше K и Mg, а в наземной части – Sr и Ca. В наземной части всех растений максимально содержание

P, K и Mg, в корнях – Fe, Al, As, V и Cr, близко во всех органах содержание Cu. У Бобовых в отличие от Злаковых, наземная часть по сравнению с подземной содержит больше Mn и Ni. Степень преобразования элементного состава ризосферного пространства агрочерноземов Плавского плато уменьшается в ряду растений: соя > пшеница и козлятник > костреч. Почвы ближней зоны ризосферного пространства пшеницы обедняются во фракции агрегатов диаметром менее 0,25 мм Mn < Fe, Si, Zn, Co, Cu, As < V, Cr, Ni, Ti, Pb. В ближней зоне ризосферы козлятника увеличивается содержание Zn > Si > Cu > Ti > Fe, Ni, Pb > Mn, As > V, Sr во фракции агрегатов 2–0,25 мм. У сои и костреча различия элементного состава почв ближней и дальней зон ризосферы незначительны.

Полевые работы выполнены в рамках темы факультета Почвоведения МГУ «Биогеохимия радионуклидов и экотоксикантов», элементный состав определен в рамках проекта РНФ № 17-77-20072.

Литература

1. Авессаломова И. А. Биогеохимия ландшафтов. – М: Изд-во МГУ, 2007.
2. Баргальи Р. Биогеохимия наземных растений. – М.: Геос, 2005.
3. Виноградов А. П. Микроэлементы в жизни растений и животных. – М.: Изд-во АН СССР, 1952.
4. Ковалевский А. Л. Основные закономерности формирования химического состава растений // Биогеохимия растений: Тр. Бурят. ин-та ест. наук. – Улан-Удэ, 1969. – С. 6–28.
5. Орлова В. А. Автоклавная пробоподготовка в химическом анализе. Автореф. ... д-р хим. наук. – М.: Рос. акад. с/х наук, 2000.
6. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. – М.: Астрель-2000, 1999.

ACCUMULATION OF CHEMICAL ELEMENTS BY WHEAT, SOYABEAN, GOAT'S-RUE AND BROME GRASS FROM CHERNOZEMS IN THE PLAVA UPLAND

O. V. Shopina, I. N. Semenov, T. A. Paramonova, O. L. Komissarova

Agrocoenosys of wheat (*Triticum aestivum*), soybean (*Glycine max*), and grass mixture (*Galega orientalis* and *Bromopsis inermis*) grown on Chernozems were studied to evaluate the migration of chemical elements in the 'soil – plant' system at the Plava Upland area. The activity of the elements' transfer from Chernozems to plants decreases in the range: P > K > Ca > Mg > Zn > Cu > Mn > Sr > Fe, Pb > Al > Ti, Si, V, As, Ni, Co, Cr. The degree of transformation of the chemical composition of the Chernozem topsoil rhizosphere space decreases from soybean to wheat, galega and brome grass.

Keywords: biogeochemical specialization, agrocoenosis, Chernozems, mineral nutrients, potentially toxic elements.

ВЛИЯНИЕ КАРБОНАТА И СУЛЬФАТА НАТРИЯ НА ПРОЯВЛЕНИЯ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА В ПОБЕГАХ ТРИТИКАЛЕ

Т. Н. Евграшкина, В. В. Иванищев

Тульский государственный педагогический
университет им. Л. Н. Толстого, г. Тула, Россия,
e-mail: avdey_VV@mail.ru

В работе представлены результаты исследования по влиянию карбонатного (120 мМ) и сульфатного (120 мМ) типов засоления на биохимические показатели проявления развивающегося окислительного стресса в побегах тритикале. Полученные результаты обработаны с помощью метода кластерного анализа. Показано, что применение этого метода позволило обнаружить специфику разных видов засоления среды, которая проявлялась в изменении иерархии изученных биохимических характеристик побегов тритикале.

Ключевые слова: *Triticosecale*, побеги, карбонатное засоление, сульфатное засоление, биохимические характеристики, кластерный анализ.

Введение

Возделывание сельскохозяйственных культур на больших площадях – это необходимая составляющая обеспечения населения планеты продовольствием. Однако количество пригодных для этого земель ограничено. Антропогенное воздействие на окружающую среду и естественные процессы приводят к постепенному сокращению пахотных площадей. Поэтому возникает дилемма, которая, с одной стороны, состоит в поиске методов восстановления плодородия почвы, а с другой – в изучении устойчивости растений к этим факторам с целью выработки стратегии в селекции адаптированных форм растений к неблагоприятным факторам.

Проблема использования засоленных почв в этом аспекте является одной из актуальных в связи как с наличием площадей естественного засоления, так и вызванных применением орошаемого земледелия. Поэтому исследования в обозначенной области актуальны для многих стран мира, поскольку на долю засоленных земель приходится до 25% поверхности суши, причем площадь таких территорий постепенно возрастает [7]. Описанные проблемы касаются также Тульской области, где обнаружено превышение предельно допустимой концентрации карбонат-ионов в почвах Белёвского и Суворовского районов, связанное с поступлением солей вместе с грунтовыми водами, поступающими из горных пород с высоким содержанием известняков [8].

Разнообразие типов засоления почвы, включающее хлоридное, карбонатное, сульфатное и их сочетания, вызывает у растений индукцию разных механизмов защиты, обеспечивающих выживание организмов в таких условиях. При этом, несмотря на кажущуюся изученность влияния фактора засоления среды на культурные растения, наличие большого массива данных, до сих пор нет понимания специфики действия разных типов засоления и специфики ответных реакций растений на действие таких факторов [2].

Среди наиболее ярких ответных реакций растений можно отметить развитие окислительного стресса в виде повышения уровня активных форм кислорода и стимулирования защитных реакций в виде компонентов антиоксидантной защиты, которая включает изменение содержания низкомолекулярных метаболитов-антиоксидантов (глутатиона, аскорбиновой кислоты, пролина и др.), а также активность специфических фер-

ментов (супероксиддисмутазы, каталазы, аскорбатпероксидазы, гваяколовой пероксидазы и др.). При этом изменение перечисленных показателей часто неоднозначно, поскольку включает как увеличение, так и уменьшение их величин в ходе развития окислительного стресса [1, 6, 13].

Исследования в этом аспекте делают необходимым выбор модельного объекта, который имеет хорошую перспективу в потенциальном практическом использовании. К таким объектам можно отнести тритикале – гибрид пшеницы и ржи, который характеризуется рядом положительных характеристик (высокая биологическая продуктивность, устойчивость к факторам среды, возможность возделывания на значительных площадях в качестве зерновой, фуражной и кормовой культуры) [9]. При этом изучение механизмов противостояния растений негативным факторам важно вести на стадиях развития, которые являются достаточно чувствительными для действия факторов с тем, чтобы обнаружить первоначальные ответные реакции, не скомпенсированные другими внутренними факторами, например, накоплением хелатообразующих веществ, флавоноидов и т. п., чьё действие может маскировать первоначальные ответные реакции организма.

Кроме того, наличие очень похожих путей развития окислительного стресса и защитных реакций организма при действии совершенно разных факторов среды делает необходимым использовать попытки более глубокого анализа результатов исследования с применением расширенного спектра статистических методов анализа [4, 5].

Все это объясняет цель данной работы, которая состояла в интерпретации накопленных результатов исследования с использованием одного из статистических методов – метода кластерного анализа.

Методы

Объектом исследования являлись проростки тритикале озимого (*xTriticosecale*) сорта Трибун. Растения выращивали на питательной среде Кнопа с добавлением микроэлементов по Хогланду. По достижении фазы кущения питательную среду заменяли на аналогичную с добавлением карбоната или сульфата натрия в концентрации 120 мМ. Пробы отбирали для анализа через 12, 24, 48, 72 и 96 часов экспозиции [1]. Определение содержания пероксида водорода проводили спектрофотометрическим методом [15]. Интенсивность перекисного окисления липидов определяли по накоплению продукта окисления – малонового диальдегида (МДА) [12]. Активность аскорбатпероксидазы определяли, как описано ранее [13]. Активность гваяколовой пероксидазы определяли спектрофотометрическим методом [3]. Активность каталазы определяли по модифицированному методу [11].

Эксперименты проведены в четырех биологических повторностях. Результаты экспериментов статистически обработаны с использованием статистических программ.

Результаты

В ходе эксперимента определено изменение содержания основных маркеров окислительного стресса и изучено изменение активности различных антиоксидантных ферментов в условиях солевого стресса: каталазы, аскорбатпероксидазы, гваяколовой пероксидазы, а также содержание глутатиона и аскорбиновой кислоты.

Исследование изученных параметров побегов показало их разнообразные изменения в ходе эксперимента. При этом изменения отдельных характеристик варьировало от нескольких процентов до нескольких раз. Для обнаружения иерархических взаимосвязей между изученными показателями был использован метод кластерного анализа. Он показал, что иерархия изученных характеристик несколько различается, что позволяет нам говорить о проявлении специфики влияния разных типов засоления в представленном виде (рис.).

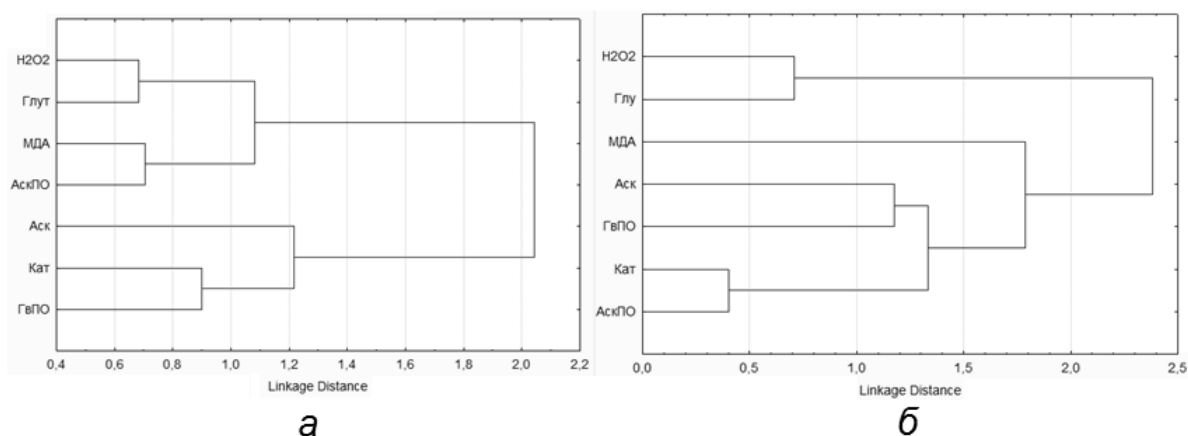


Рис. Иерархия изученных показателей стресса и антиоксидантной системы побегов тритикале озимого сорта “Трибун” в условиях карбонатного (а) и сульфатного (б) засоления среды (H₂O₂ – пероксид водорода, Глут – глутатион, МДА – малоновый диальдегид, АскПО – аскорбатпероксидаза, Аск – аскорбиновая кислота, Кат – каталаза, ГвПО – гваяколовая пероксидаза)

Рисунок показывает, что наиболее близкая взаимосвязь была обнаружена между содержанием пероксида водорода и глутатиона для обоих типов засоления. С позиций биохимии такую связь сложно объяснить. Однако в работе [14] показано, что взаимодействие этих веществ (в качестве положительного и отрицательного контроллеров окислительно-восстановительного состояния системы) может обеспечивать передачу сигнала(ов) для включения адаптивных реакций в растении арабидопсиса (*Arabidopsis thaliana*). При этом взаимосвязи между другими изученными характеристиками побегов тритикале совершенно различны. Так, если в условиях карбонатного засоления величина МДА была наиболее тесно связана с активностью только аскорбатпероксидазы, то в случае сульфатного засоления МДА включался только в кластер третьего уровня, что отражает значимость проявления активности всех изученных ферментов (аскорбатпероксидазы, гваяколовой пероксидазы и каталазы) для противостояния мембран действию развивающегося окислительного стресса в этих условиях.

Таким образом, полученные результаты помогают обнаружить специфику действия карбонатного и сульфатного типов засоления в побегах тритикале через изменение иерархии биохимических показателей, важных для противостояния растений стрессу в условиях эксперимента.

Литература

1. Евграшкина Т. Н., Иванищев В. В., Бойкова О. И., Жуков Н. Н. Проявления окислительного стресса в проростках тритикале в условиях сульфатного засоления // Бутлеровские сообщения. – 2018. – Т. 54. – №.4. – С. 128–133.
2. Жуков Н. Н., Иванищев В. В., Бойкова О. И. Физиолого-биохимические механизмы адаптации проростков тритикале при кратковременном NaCl-засоления: Моногр. – Тбилиси: МП Полиграф, 2016.
3. Иванищев В. В. Биохимический эксперимент. – Тула: Изд-во ТГПУ им. Л. Н. Толстого, 2002.
4. Иванищев В. В. О возможности приложения метода кластерного анализа к результатам физиолого-биохимических исследований растений // Известия ТулГУ. Естественные науки. – 2018. – Вып. 1. – С. 69–77.

5. Иванищев В. В. Об использовании статистических методов при изучении стресса растений и их селекции // Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія біологія. – 2018. – Вип. 3 (45). – С. 111–118.
6. Иванищев В. В., Жуков Н. Н. Проявления окислительного стресса в проростках тритикале при кратковременном действии хлорида натрия // Бутлеровские сообщения. – 2017. – Т. 52 (11). – С. 123–130.
7. Кошкин Е. И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур: Учеб. – М.: Дрофа, 2010.
8. Кудреватых И. Ю., Пильгуй Л. С. Геохимические свойства черноземов в районе завода по производству азотных удобрений, Тульская область // Известия Самарского научного центра РАН. – 2016. – № 2. – С. 119–122.
9. Ружов Ю. Л. Тритикале – первая зерновая культура, созданная человеком. – М.: Колос, 1977.
10. Синькевич М. С., Нарайкина Н. В., Трунова Т. И. Процессы, препятствующие повышению интенсивности перекисного окисления липидов у холодостойких растений при гипотермии // Физиология растений. – 2011. – Т. 58 (6). – С. 875–882.
11. Goth L. A simple method for determination of serum catalase activity and revision of reference range // Clinica Chimica Acta. – 1991. – V. 196. – P. 143–152.
12. Heath R. L., Packer L. Photoperoxidation in isolated chloroplasts: I. Kinetics and stoichiometry of fatty acid peroxidation // Arch. Biochem. Biophys. – 1998. – V. 125. – P. 189–198.
13. Hishida M., Ascencio Valle F., Fujiyama H., Orduño-Cruz A., Endo T., Larrinaga-Mayoral J. Á. Antioxidant enzyme responses to salinity stress of *Jatropha curcas* and *J. cinerea* at seedling stage // Физиология растений. – 2014. – Т. 61 (1). – С. 59–68.
14. Karpinska B., Wingsle G., Karpinski S. Antagonistic Effects of Hydrogen Peroxide and Glutathione on Acclimation to Excess Excitation Energy in *Arabidopsis* // IUBMB Life. – 2000. – V. 50. – P. 21–26.
15. Kumar G. N., Knowles N. R. Changes in Lipid Peroxidation and Lipolytic and Free-Radical Scavenging Enzyme during Aging and Sprouting of Potato (*Solanum tuberosum* L.) Seed-Tubers // Plant Physiol. – 1993. – V. 102. – P. 115.

INFLUENCE OF SODIUM CARBONATE AND SULPHATE ON OXIDATIVE STRESS MANIFESTATIONS IN TRITICALE SHOOTS

T. N. Evgrashkina, V. V. Ivanishchev

The paper presents the results of a study on the effect of carbonate (120 mM) and sulphate (120 mM) types of salinization on the biochemical indicators of the manifestation of developing oxidative stress in triticale shoots. The results obtained are processed with the cluster analysis method. It is shown that the application of this method allowed us to detect the specifics of different types of salinization of the environment, which was manifested in a change in the hierarchy of the studied biochemical characteristics of triticale shoots.

Keywords: *Triticosecale*, shoots, carbonate salinization, sulfate salinization, biochemical characteristics, cluster analysis.

ВЛИЯНИЕ ХЛОРИДА НИКЕЛЯ НА ВЗАИМОСВЯЗИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ОКИСЛИТЕЛЬНОГО СТРЕССА ПОБЕГОВ ВИКИ

В. В. Иванищев

Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого,
г. Тула, Россия,
e-mail: avdey_VV@mail.ru

В работе представлены результаты исследования по развитию окислительного стресса в побегах вики (*Vicia sativa* L.) на раннем этапе онтогенеза под влиянием различных концентраций хлорида никеля в среде. Использование статистических методов обработки результатов исследования (метода главных компонент и кластерного анализа) показало, что специфика адаптации проростков вики к возрастающей концентрации хлорида никеля в среде выражается в (1) объединении изученных физиолого-биохимических характеристик в 2-3 основные группы, (2) тесной взаимосвязи между накоплением пероксида водорода и пролина, (3) отражении величины ПОЛ, как результата взаимодействия большого числа изученных факторов (H_2O_2 , активности антиоксидантных ферментов, пролина), но не аскорбиновой кислоты.

Ключевые слова: *Vicia sativa* L., побеги, окислительный стресс, антиоксидантная система, кластерный анализ.

Введение

В группе тяжелых металлов никель занимает одно из последних мест по силе токсического действия на растительные организмы. При этом его ионы абсолютно необходимы для работы ряда ферментов, в чьи активные центры он включен [8]. Теоретические представления о существовании зон концентраций, в пределах которых реализуются разные стратегии выживания растений [13], являются важными для развития нового направления науки, которое обозначают термином гормезис [9].

Особый интерес подобные исследования представляют для растений, имеющих важное сельскохозяйственное значение, как источников кормов для животных и пищевых продуктов для человека. При этом часто не известен даже порядок концентраций такого металла, при котором его положительное необходимое присутствие сменяется негативным и даже губительным воздействием на растения. В связи с этим, несмотря на нормированные величины предельно допустимых концентраций (ПДК), ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) и т.п. для тяжелых металлов, единой шкалы их токсичности для растений в целом нет и, по-видимому, вряд ли может быть. Поэтому важно проводить изучение влияния широкого спектра концентраций хотя бы основных металлов для широко возделываемых в том или ином регионе растений [8].

С другой стороны, многочисленные исследования показали, что как и любой тяжелый металл, никель может индуцировать проявления окислительного стресса в организме через дополнительное образование активных форм кислорода с повышением перекисного окисления липидов и изменением работы антиоксидантной системы [10]. При этом в ходе адаптации в организме складывается определенная система взаимосвязей и взаимоотношений между физиолого-биохимическими параметрами, которые обеспечивают устойчивость живой системы в условиях комплекса внешних воздействий. Однако многочисленные результаты, накопленные в этой области исследований вовсе не обнаруживают сколько-нибудь глубоких обобщений, кроме простой констатации фактов об изменении тех или иных физиологических и биохимических показателей [8].

Предпринимаемые в последние годы попытки выхода на новый уровень обобщения и интерпретации экспериментального материала через использование статистиче-

ских методов (метода главных компонент – PCA и метода кластерного анализа) привносит новые элементы в понимание влияния тяжелых металлов и других факторов среды на растения [2, 6, 7].

Все выше изложенное делает актуальным проведение исследований, которые связаны с изучением особенностей действия широкого спектра концентраций тяжелых металлов на живые системы.

Методы

Растения вики (*Vicia sativa* L.) выращивали в условиях широкого диапазона концентраций (1-1000 мкМ) хлорида никеля, как описано ранее [1]. Результаты исследований по влиянию соли на физиолого-биохимические показатели побегов вики посевной взяты из работ [3, 4, 10]. Обработку и анализ нормированных данных проводили с помощью метода главных компонент и метода кластерного анализа.

Результаты

Применение метода главных компонент для обработки результатов исследования по изменению содержания пероксида водорода, перекисного окисления липидов, низкомолекулярных компонентов антиоксидантной защиты (аскорбиновой кислоты и пролина) и активности каталазы и пероксидазы показало следующую картину (рис.).

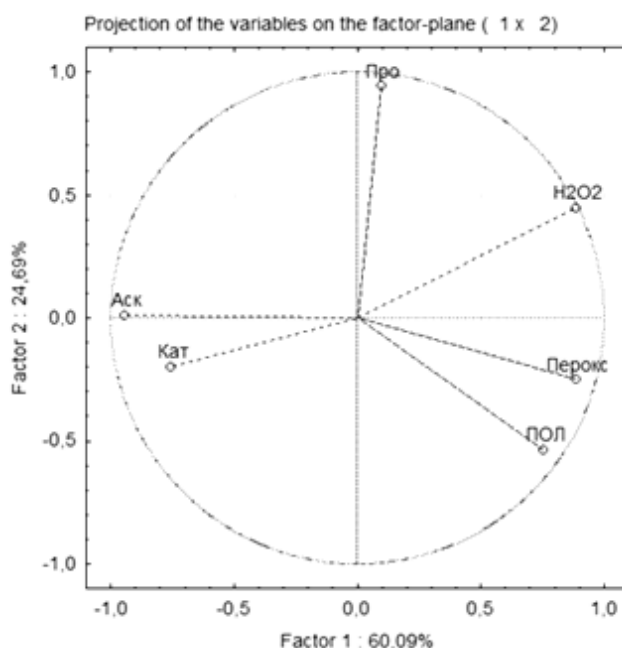


Рис. Проекция данных об изменении содержания пероксида водорода, ПОЛ, аскорбиновой кислоты (Аск), пролина (Про), активности каталазы (Кат) и пероксидазы (Перокс) на плоскость двух главных компонент

Анализ полученных результатов позволил распределить изученные характеристики в три группы: (1) включает такие показатели как содержание пероксида водорода, перекисного окисления липидов и активность пероксидазы, (2) включает содержание аскорбиновой кислоты и активность каталазы и (3) содержит только пролин.

Наиболее высокие коэффициенты корреляции обнаружены между величиной ПОЛ и активностью пероксидазы (0,82), содержанием пероксида водорода и активностью пероксидазы (0,71), активностью каталазы и содержанием аскорбиновой кислоты (0,71). Такие результаты можно интерпретировать как зависимость величины ПОЛ, в первую очередь, от активности пероксидазы, что вполне отвечает биохимическим

представлениям о защитном действии этого фермента для мембранных структур, поскольку в работе [12] показано наличие, по крайней мере, двух форм фермента.

Взаимозависимость содержания пероксида водорода и активности пероксидазы вполне объяснима, поскольку фермент использует этот субстрат в реакции с участием флавоноидов, а пероксид водорода является самой долгоживущей и подвижной активной формой кислорода [5].

Для обнаружения предполагаемых иерархических взаимосвязей между изученными характеристиками использовали метод кластерного анализа. Его применение к полученным результатам эксперимента по влиянию возрастающих концентраций хлорида никеля в среде показало наиболее близкие взаимосвязи между активностью каталазы и пероксидазы, содержанием пероксида водорода и пролина.

Обнаруженная наиболее тесная взаимосвязь между содержанием пролина и пероксида водорода в условиях возрастающих концентраций хлорида никеля в среде кажется трудно объяснимой, особенно с учетом относительно низкого коэффициента корреляции между этими показателями (0,52). Однако, изучение литературных источников показало, что такая тесная взаимосвязь вполне соответствует накопленным экспериментальным данным [11, 14].

Заключение

Таким образом, полученные результаты позволяют отметить специфику адаптации проростков вики к возрастающей концентрации хлорида никеля в среде, которая выражается в (1) объединении изученных физиолого-биохимических характеристик в 2–3 основные группы, (2) обнаружении тесной взаимосвязи между накоплением пероксида водорода и пролина, (3) отражении величины ПОЛ, как результата взаимодействия большого числа изученных факторов (H_2O_2 , активности антиоксидантных ферментов, пролина), но не аскорбиновой кислоты.

Литература

1. Абрамова Э. А., Иванищев В. В. Исследование морфогенеза проростков при прорастании семян вики в присутствии ионов никеля // Известия ТулГУ. Естественные науки. – 2012. – Вып. 2. – С. 246–252.
2. Абрамова Э. А., Иванищев В. В. Особенности прорастания семян вики в присутствии ионов никеля в среде // Известия ТулГУ. Естественные науки. – 2016. – Вып. 2–3. – С. 70–78.
3. Абрамова Э. А., Иванищев В. В. Содержание флавоноидов в проростках вики в присутствии ионов никеля // Современное состояние естественных и технических наук: Материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. (14.09.2012). – М., 2012. – С. 25–28.
4. Абрамова Э. А., Иванищев В. В. Содержание фотосинтетических пигментов и аскорбиновой кислоты в проростках вики в присутствии хлорида никеля // Научные ведомости Белгородского гос. ун-та. Сер. «Естественные науки». – 2012. – Т. 9 (128). – Вып. 19. – С. 152–155.
5. Гарифзянов А. Р., Иванищев В. В., Жуков Н. Н. Образование и физиологические реакции активных форм кислорода в клетках растений // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – Т. 2. URL: www.science-education.ru/96-4600.
6. Иванищев В. В. Исследование влияния кратковременного солевого стресса методом кластерного анализа // Бутлеровские сообщения. – 2018. – Т. 54 (4). – С. 134–139.
7. Иванищев В. В. Об использовании статистических методов при изучении стресса растений и их селекции // Вісник Харківського національного аграрного університету. Серія біологія. – 2018. – Вып. 3 (45). – С. 111–118.
8. Иванищев В. В., Минайчев В. В., Кузнецов Д. А. Проектная деятельность в школе по биологии растений: Моногр. – Саарбрюккен: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016.
9. Hormesis: A revolution in biology, toxicology and medicine / Mattson M. P., Calabrese E. J., eds. – N. Y.; Dordrecht; Heidelberg; London: Springer, 2010. DOI 10.1007/978-1-60761-495-1.

10. Ivanishchev V. V., Abramova E. A. Accumulation of nickel ions in seedlings of *Vicia sativa* L. and manifestations of oxidative stress // Environ Sci Pollut Res. – 2015. – V. 22 (10). – P. 7897–7905. DOI 10.1007/s11356-015-4173-8.
11. Kong-ngern K., Bunnag S., Theerakulpisut P. Proline, Hydrogen Peroxide, Membrane stability and Antioxidant Enzyme Activity as Potential Indicators for Salt Tolerance in Rice (*Oryza sativa* L.) // Intern. J. of Botany. – 2012. – V. 8 (2). – P. 54–65.
12. Mika A., Lüthje S. Properties of Guaiacol Peroxidase Activities Isolated from Corn Root Plasma Membranes // Plant Physiol. – 2003. – V. 132 (3). – P. 1489–1498. DOI: [10.1104/pp.103.020396].
13. Prasad M. N. V. Trace Metals. In: M. N. V. Prasad and J. Hagemeyer (Eds). Heavy metal stress in plants: from molecules to ecosystems. Springer. Berlin; N. Y., 1999. – P. 207–249.
14. TayebiMeigooni A., Awang Y., Mahmood M., Selamat A., Wahab Z. Leaf water status, proline content, lipid peroxidation and accumulation of hydrogen peroxide in salinized Chinese kale (*Brassica alboglabra*) // Journal of Food Agriculture and Environment. – 2012. – V. 10 (2). – P. 371–374.

THE EFFECT OF NICKEL CHLORIDE ON THE RELATIONSHIPS BETWEEN OXIDATIVE STRESS INDICATORS IN VETCH SHOOTS

V. V. Ivanishchev

The paper presents the results of a study on the development of oxidative stress in vetch (*Vicia sativa* L.) shoots at an early stage of ontogenesis under the influence of various concentrations of nickel chloride in the medium. The application of statistical methods for processing the results of the study (the method of principal components analysis and cluster analysis) showed that the specifics of vetch shoots adaptation to an increasing concentration of nickel chloride in the medium are expressed in (1) combining the studied physiological and biochemical characteristics into 2-3 main groups, (2) close the relationship between the accumulation of hydrogen peroxide and proline, (3) the reflection of the magnitude of POL, as a result of the interaction of a large number of studied factors (H_2O_2 , activity of antioxidant enzymes, proline), but not ascorbic acid.

Keywords: *Vicia sativa* L., shoots, oxidative stress, antioxidant system, cluster analysis.

ВЛИЯНИЕ СУЛЬФАТА ЦИНКА НА ПОКАЗАТЕЛИ БИОМАССЫ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ

В. В. Мазов, В. В. Иванищев

Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого,
г. Тула, Россия,
e-mail: avdey_VV@mail.ru

Изучено влияние присутствия в среде сульфата цинка в возрастающих концентрациях на формирование проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L.) на раннем этапе онтогенеза. Установлено, что концентрация соли, равная 0,1 мМ, оказывала стимулирующее действие на длину побега (23%), сырую и сухую массу органов проростков (49% и 53% для побегов и 30% и 50% для корней, соответственно). При этом максимальная концентрация сульфата цинка в среде, равная 10 мМ, приводила к торможению развития корневой системы и существенно снижала величину побегов (до 15% от контроля). Соотношение сырой массы побег/корень росло с увеличением содержания

сульфата цинка в среде (контроль – вода, 10^{-6} М, 10^{-4} М), в то время как соотношение сухих масс было наименьшим при минимальной концентрации сульфата цинка в среде, а при концентрации 10^{-4} М это соотношение превышало контроль менее, чем на 10%.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., побеги, корни, сульфат цинка, длина побегов, сырая и сухая масса.

Введение

Среди тяжелых металлов цинк занимает одно из последних мест по шкале токсичности в отношении растений [11]. В то же время для обеспечения жизненных процессов и явлений присутствие ионов этого металла в любом живом организме совершенно необходимо [1, 7]. Считается, что ионы цинка обеспечивают поддержание требуемого объема поглощаемой растением воды и ее транспорт [5], поддерживая правильную ориентацию макромолекул в мембранах для обеспечения функционирования транспортных систем, снижают негативные эффекты коротких периодов теплового воздействия [10] и солевого стресса [12].

Влияние на биохимические реакции и процессы включает их участие в синтезе и регуляции активности нуклеиновых кислот, метаболизме углеводов и липидов [13], синтезе аминокислоты триптофана [3], который является исходным веществом для образования одного из важнейших гормонов роста и развития – индолилуксусной кислоты (ауксина).

Обеспечение взаимодействия биохимических и физиологических процессов осуществляется также через контроль образования и нейтрализации свободных радикалов кислорода, которые способны разрушать мембранные липиды и белки. Наличие ионов цинка обеспечивает поддержание функциональной и структурной целостности мембран [3].

Более тонкие механизмы включают участие ионов цинка в работе сигнальной системы клетки с участием митоген-активируемых протеинкиназ [8]. Показано также, что цинк вовлечен в окислительную стресс-индуцируемую экспрессию генов, кодирующих антиоксидантные защитные ферменты, такие как аскорбатпероксидаза и глутатионредуктаза, удаляющие избыточные количества пероксида водорода [4].

Среди наиболее очевидных функций цинка в живых системах следует отметить необходимость его ионов в образовании активных центров ряда внутриклеточных ферментов, таких как дегидрогеназы, альдолазы, изомеразы, трансфосфорилазы, РНК- и ДНК-полимеразы [9], в том числе, связанных с процессами поддержания кислотности среды, синтеза белков и выработки энергии.

Однако, повышенные концентрации цинка в среде вызывают в растениях и других организмах ряд негативных процессов [1], несмотря на то, что на внутриклеточном уровне он может переводиться в недоступную форму путем образования комплексов с органическими лигандами или фосфором [3].

В то же время изучение широкого спектра концентраций тяжелых металлов представляют основополагающий интерес для развития одного из новых направлений в науке, которое обозначают термином гормезис, и которое занимается пристальным изучением особенного действия низких и высоких доз фактора (здесь – содержания вещества в среде) на живые системы [6].

Поэтому цель работы состояла в изучении влияния значительно различающихся концентраций ионов цинка (в виде соли сульфата) на процесс формирования проростков пшеницы на ранней стадии онтогенеза.

Методы

Объектом исследования являлись побеги и корни пшеницы яровой (*Triticum aestivum* L.). Выращивание растений проводили в виде водной культуры. Контрольный вариант выращивали на дистиллированной воде. Опытные образцы – на растворе сульфата цинка в дистиллированной воде в концентрациях 10^{-6} ; 10^{-4} ; 10^{-2} М.

По 20 семян пшеницы промывали и помещали в сосуды объемом 0,2 л, наливали воду или раствор соли в объеме 0,05 л и проращивали при температуре 20-22°C при естественном освещении. В ходе формирования растений растворы меняли 2 раза.

Исследования проводили на 10-дневных проростках, сформировавшихся в условиях эксперимента. Определяли длину побега, а также их сырую и сухую массу, а также сырую и сухую массу корней.

Эксперименты проведены в трех биологических повторностях. Статистическую обработку полученных результатов проводили с помощью программы Excel. Уровень значимости результатов соответствует $P=0,05$.

Результаты

Изучение изменений длины побегов пшеницы в зависимости от возрастающей концентрации соли в среде показало, что с ростом концентрации прибавка составила 8% и 23% против контроля при минимальной и средней концентрациях, соответственно, в то время как при максимальной концентрации сульфата цинка в среде длина побегов была примерно в 6-7 раз ниже в сравнении с контролем. Аналогичные эффекты показаны и другими авторами для разных растений [1, 2, 7]. Среди возможных механизмов действия высокой концентрации ионов цинка в среде можно отметить, например, нарушение деления и растяжения клеток, водного обмена, фотосинтеза и др., что в совокупности вызывает негативный эффект [7].

Изучение изменений в величине сырой биомассы проростков показало, что с ростом концентрации сульфата цинка (до 10^{-4} М) в среде, обнаруживался стимулирующий эффект, который составил для побегов 18% и 49% при концентрациях 10^{-6} М и 10^{-4} М, соответственно. Для сырой массы корней повышение составило 10% и 31% при соответствующих концентрациях соли в среде. При этом ингибирование развития побега при максимальной концентрации сульфата цинка (10^{-2} М) составило 62%, в то время как формирования корневой системы проростков пшеницы вообще не наблюдали.

Определение сухой массы органов проростков показало, что для побегов рост этого показателя составил 14% и 114% для минимальной и средней концентрациях соли в среде, а при концентрации 10^{-2} М ингибирование оказалось равным 43% от контроля. У корней стимуляция сухой массы составила 67% и 100% при 10^{-6} М и 10^{-4} М сульфата цинка в среде, соответственно.

Сравнение полученных результатов с данными других авторов показывает, что стимулирующие эффекты получены для концентрации соли в достаточно широком диапазоне 0,005-0,05 мМ, с последующим снижением показателей при более высоких концентрациях соли в среде [1, 2, 7].

Определение соотношения сырой массы побег/корень показало следующую картину (рис.).

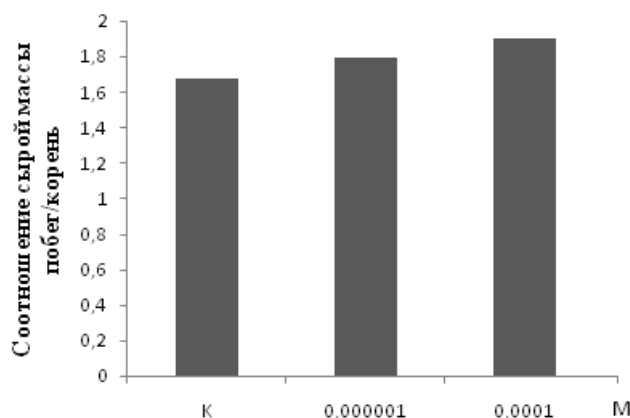


Рис. Величина соотношения сырая масса побег/корень в зависимости от концентрации сульфата цинка в среде (К – контроль)

Такие результаты говорят о том, что присутствие цинка в большей степени способствует накоплению сырой биомассы побегов, чем корней. Однако изучение соотношения сухой массы побег/корень показало обратную картину для концентрации 10^{-6} М сульфата цинка в среде.

Заключение

Таким образом, показано, что увеличение концентрации сульфата цинка в среде приводило к изменению показателей биомассы органов проростков пшеницы в условиях эксперимента. Отмечено стимулирующее (10^{-6} , 10^{-4} М) и ингибирующее (10^{-2} М) действие соли на изученные показатели проростков. При этом различное соотношение величин сырая масса побег/корень и сухая масса побег/корень говорят о существенном влиянии ионов цинка на водообеспеченность растений в условиях эксперимента.

Литература

1. Иванищев В. В., Минайчев В. В., Кузнецов Д. А. Проектная деятельность в школе по биологии растений: Моногр. – Саарбрюккен: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2016.
2. Минайчев В. В., Кузнецов Д. А., Сиголаева Т. Е., Иванищев В. В. Влияние ионов цинка и никеля на формирование проростков *Pisum sativum* L. // Известия ТулГУ. Естественные науки. – 2015. – Вып. 3. – С. 292–304.
3. Alloway B. J. Zinc in Soils and Crop Nutrition // Publ. of International Zinc Association. URL: http://www.iza.com/Documents/Communications/Publications/ALLOWAY_PRINT.pdf. 2004.
4. Cakmak I. Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species // New Phytol. – 2000. – V. 146. – P. 185–205.
5. Disante K. B., Fuentes D., Cortina J. Response to drought of Zn-stressed *Quercus suber* L. seedlings // Env. Exp. Bot. – 2010. – V. 70. – P. 96–103.
6. Hormesis: A revolution in biology, toxicology and medicine / Mattson M. P., Calabrese E. J., eds. – N. Y.; Dordrecht; Heidelberg; London: Springer, 2010. DOI 10.1007/978-1-60761-495-1.
7. Hussain D., Haydon M. J., Wang Y., et al. P-type ATPase heavy metal transporters with roles in essential zinc homeostasis in *Arabidopsis* // Plant Cell. – 2004. – V. 16. – P. 1327–1339.
8. Lin C. W., Chang H. B., Huang H. J. Zinc induces mitogen-activated protein kinase activation mediated by reactive oxygen species in rice roots // Plant Physiol. & Biochem. – 2005. – V. 43. – P. 963–968.
9. López-Millán A. F., Ellis D. R., Grusak M. A. Effect of zinc and manganese supply on the activities of superoxide dismutase and carbonic anhydrase in *Medicago truncatula* wild type and *raz* mutant plants // Plant Sci. – 2005. – V. 168. – P. 1015–1022.
10. Peck A. W., McDonald G. K. Adequate zinc nutrition alleviates the adverse effects of heat stress in bread wheat // Plant Soil. – 2010. – V. 337. – P. 355–374.
11. Pranas B., Cepanko V. Accumulation of heavy metals in short-rotation willow. EKOLOGIJA. – 2009. – Vol. 55(2). – P. 153–163.
12. Tavallali V., Rahemi M., Eshghi S., et al. Zinc alleviates salt stress and increases antioxidant enzyme activity in the leaves of pistachio (*Pistacia vera* L. 'Badami') seedlings // Turk. J. Agr. Forest. – 2010. – V. 34(4). – P. 349–359.
13. Tsonev T., Lidon F. J. C. Zinc in plants – An overview // Emir. J. Food Agric. – 2012. – V. 24(4). – P. 322–333.

EFFECT OF ZINC SULFATE ON THE BIOMASS PARAMETERS OF WHEAT SEEDLINGS

V. V. Mazov, V. V. Ivanishchev

The influence of the presence of zinc sulfate in increasing concentrations on the formation of wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.) at an early stage of ontogenesis was

studied. It was established that a salt concentration of 0.1 mM resulted in a stimulating effect on the shoot length (23%), wet and dry weight of the seedling organs (49% and 53% for shoots and 30% and 50% for roots, respectively). The maximum concentration of zinc sulfate in the medium, equal to 10 mM, led to inhibition of the development of the root system and significantly reduced the length of shoots (up to 15% of the control). The dry weight ratio of shoot / root increased with an increase in the content of zinc sulfate in the medium (control - water, 10^{-6} M, 10^{-4} M), while the ratio of dry masses was the smallest at the minimum concentration of zinc sulfate in the medium, and at 10^{-4} M this ratio exceeded the control by less than 10%.

Keywords: *Triticum aestivum* L., shoots, roots, zinc sulfate, shoot length, wet and dry weight.

ВЛИЯНИЕ СУЛЬФАТА ЖЕЛЕЗА НА ПОКАЗАТЕЛИ БИОМАССЫ ПРОРОСТКОВ ПШЕНИЦЫ

С. В. Ручкин, В. В. Иванищев

Тульский государственный педагогический университет им. Л. Н. Толстого,
г. Тула, Россия,
e-mail: avdey_VV@mail.ru

Изучено влияние присутствия в среде широкого диапазона концентраций сульфата железа на формирование проростков пшеницы (*Triticum aestivum* L.) на раннем этапе онтогенеза. Установлено, что концентрация соли, равная 0,01 mM, оказывала стимулирующее действие на длину побега (8%) и его сырую массу (20%). Во всех остальных случаях (концентраций соли и органов) наблюдали ингибирующие эффекты. Соотношение сырой массы побег/корень было выше контрольного при концентрации сульфата железа в среде 10^{-7} M (15%) и ниже контроля при 10^{-5} M (те же 15%). Аналогичное соотношение сухой массы варьировало в значительно большей степени, что указывает на влияние сульфата железа на водообеспеченность формирующихся проростков пшеницы в условиях эксперимента.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., побеги, корни, сульфат железа, длина побегов, сырая и сухая масса.

Введение

Среди тяжелых металлов важная роль принадлежит железу [1]. Его относят к группе металлов, для которых характерна высокая степень аккумуляции в корнях, но средняя – в побегах [2]. Важная роль в главных энергетических процессах живых систем – фотосинтезе и дыхании делает этот металл незаменимым ни на какие другие ионы. При этом центральная роль железа состоит в обеспечении биохимических процессов и реакций, часто связанных с работой определенных ферментов, у которых железо включено в состав активных центров. Среди них, в первую очередь, следует отметить цитохромы [3]. Необходимость железа для синтеза хлорофилла и его важная роль для обеспечения формирования структуры и функционирования хлоропластов в еще большей степени подчеркивают значение металла для жизнеобеспечения растений [7]. В связи с этим любая нехватка ионов этого металла проявляется в виде так называемого хлороза – появления коричневых пятен и изменений формы листьев растений.

Значительное содержание железа в почвах, которому отводится четвертое место по распространенности химических элементов, вовсе не обеспечивает его доступность

для живых систем и, в первую очередь, для растений. Это связано с тем, что биологическая доступность железа во многом определяется наличием его водорастворимых форм, поскольку часто ионы этого металла образуют различные плохо растворимые комплексы в условиях, близких к нейтральным pH среды. Биодоступность железа возрастает при подкислении среды, однако, в таких условиях большинство растений (особенно значимых для человека), как правило, не растут с формированием необходимой человеку продуктивности [4].

Более того, в аэрированных почвах железо преимущественно содержится в форме Fe^{+3} , главным образом в составе окси-гидроксидных полимеров с чрезвычайно низкой растворимостью. При этом растения поглощают двухвалентное железо, переводя его в восстановленную форму при помощи специальных ферментных систем, иногда с участием микроорганизмов. Возможно, что в связи с этим железо является, скорее, микроэлементом, дефицит которого представляет собой серьезную мировую сельскохозяйственную проблему. Тридцать процентов глобальных культивируемых почв, содержащих известковые компоненты, характеризуются низкой доступностью железа, потому что железо присутствует в них в нерастворимых окисленных формах [6].

Еще одной проблемой в обеспечении растений железом является взаимодействие его ионов с ионами других химических элементов. С одной стороны, тяжелые металлы конкурируют с основными минеральными питательными веществами в ходе поглощения, тем самым нарушая минеральное питание растений. С другой стороны, после поглощения растением они могут накапливаться в растительных тканях и клеточных компартментах, что в конечном итоге нарушает протекание нормального общего метаболизма растения [4, 6, 7].

Это делает актуальным изучение влияния широкого спектра концентраций ионов железа на рост и развитие растений. В то же время, подобные исследования представляет интерес для развития одного из новых направлений в науке, которое обозначают термином гормезис, и которое занимается пристальным изучением особенного действия низких и высоких доз фактора (здесь – содержания вещества в среде) на живые системы [5].

Поэтому цель работы состояла в изучении влияния нескольких концентраций железа (в виде соли сульфата), различающихся на порядки, на процесс формирования проростков пшеницы на ранней стадии онтогенеза.

Методы

Объектом исследования являлись побеги и корни пшеницы яровой (*Triticum aestivum* L.). Выращивание растений проводили в виде водной культуры. Контрольный вариант выращивали на дистиллированной воде. Опытные образцы – на растворе соли металла – $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ в дистиллированной воде (10^{-7} ; 10^{-5} ; 10^{-3} М).

По 20 семян пшеницы промывали и помещали в сосуды объемом 0,2 л, наливали воду или раствор соли в объеме 0,05 л и проращивали при температуре 20-22°C при естественном освещении. В ходе формирования растений растворы меняли 2 раза.

Исследования проводили на 10-дневных проростках, сформировавшихся в условиях эксперимента. Определяли длину побега, а также их сырую и сухую массу, а также сырую и сухую массу корней.

Эксперименты проведены в трех биологических повторностях. Статистическую обработку полученных результатов проведена с помощью программы Excel. Уровень значимости результатов соответствует $P=0,05$.

Результаты

Изучение влияния ионов Fe^{+3} на формирование проростков пшеницы дали следующие результаты. Максимальную длину побегов наблюдали при концентрации 10^{-7}

М сульфата железа. Она оказалась выше контрольной на 8%. При иных изученных концентрациях сульфата железа в среде было обнаружено снижение длины побегов на 13% против контроля при концентрации 10^{-5} М и почти на 75% - при концентрации 10^{-3} М.

Изучение влияния присутствия сульфата железа при изученных концентрациях на формирование сырой массы побегов показало, что при минимальной концентрации соли обнаруживалось положительное влияние, которое составило примерно 20% против контрольного варианта. Однако при средней концентрации (10^{-5} М) соли происходило уже угнетение ростовых процессов, и длина побегов уменьшилась примерно на 16%. Еще более значительное ингибирование наблюдали при наибольшей в эксперименте концентрации (10^{-3} М) сульфата железа в среде, которое составило 57%.

Определение величины сухой массы побегов в условиях эксперимента показало, что она последовательно снижалась с ростом концентрации соли в среде (10^{-7} ; 10^{-5} ; 10^{-3} М). Уменьшение составило 31%, 38% и 54%, соответственно, при изученных концентрациях сульфата железа в среде. Такие результаты говорят о влиянии ионов железа на водный баланс побегов, который обеспечивал более высокую величину сырой массы побегов при минимальной концентрации соли.

Развитие корневой системы побегов пшеницы в условиях эксперимента имело иной характер. Изменения при минимальной и средней концентрациях соли в среде недостоверно не отличались от контрольного варианта, несмотря на то, что они были чуть выше и чуть ниже ($\pm 5\%$) контрольных значений. При этом максимальная концентрация (10^{-3} М) сульфата железа кардинальным образом сказывалась на этом показателе настолько, что корневая система вообще не сформировалась.

Величины сухой массы также сильно отличались от результатов, полученных для побегов пшеницы. При минимальной концентрации соли в среде снижение величины сухой массы составило 61% от контроля, в то время как при средней концентрации, напротив, наблюдали прибавку в 96%. Такие результаты также говорят о значительном влиянии присутствия сульфата железа в среде на водный баланс тканей корневой системы проростков пшеницы, что ставит дальнейшую задачу по его изучению в условиях подобного эксперимента.

Исследование соотношения сырая масса побег/корень показало, что при низкой концентрации соли металла в среде (10^{-7} М) соотношение сырых масс было самым большим, и превышало контрольный вариант на 15%, но при 10^{-5} М этот показатель оказался ниже контроля на те же 15% (рис.).

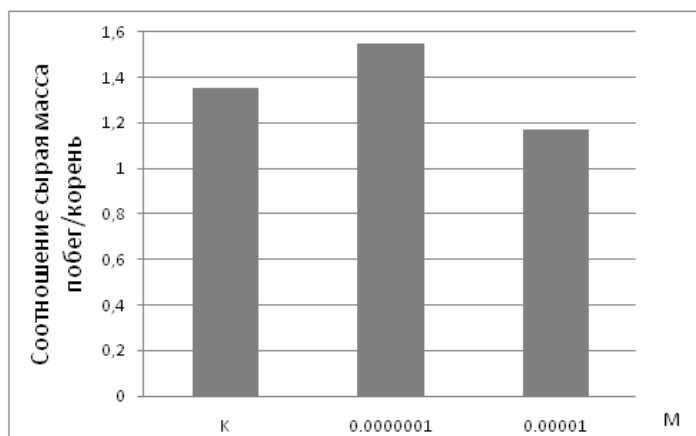


Рис. Влияние сульфата железа на соотношение сырая масса побег/корень (К – контроль)

Похожие результаты наблюдали и для соотношения величин сухой массы побег/корень, но наблюдаемые изменения были более значительными. Так, положитель-

ное влияние на соотношение оказала самая низкая концентрация соли (10^{-7} М). Увеличение составило 80% в сравнении с контролем. Такие результаты можно объяснить важностью ионов железа для анаболических процессов, которые обеспечивают образование органического вещества, особенно побегов в сравнении с корневой системой. При средней концентрации, напротив, наблюдали резкое уменьшение соотношения масс. Оно составило 68% и было ниже контроля. Такое резкое снижение показателя может говорить о том, что при концентрации соли, равной 10^{-5} М, нарушаются анаболические процессы формирования тканей проростка и в большой степени отражаются на водном балансе всего проростка пшеницы.

Заключение

Таким образом, проведенное исследование показывает, что минимальное содержание сульфата железа в среде в концентрации 10^{-7} М оказывается существенной и важной для формирования как побегов, так и корней пшеницы. При этом более высокие концентрации оказывали негативное влияние на формирование проростков, причем присутствие самой высокой концентрации соли в среде приводило к торможению ростовых процессов таким образом, что корневая система вообще не развивалась.

Литература

1. Иванищев В. В. Новые аспекты в изучении адаптации растений к воздействию металлов // Тульский экол. бюллетень. – Тула: Гриф и К, 2007. – С. 274–277.
2. Титов А. Ф., Таланова В. В., Казнина Н. М., Лайдинен Г. Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам / Институт биологии КарНЦ РАН. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007.
3. Физиология растений / Н. Д. Алексина и др. – М.: Академия, 2005.
4. Connolly E. L., Guerino M. L. Iron stress in plants // Genome Biol. – 2002. – V. 3(8): reviews1024.1–reviews1024.4.
5. Hormesis: A revolution in biology, toxicology and medicine / Mattson M. P., Calabrese E. J., eds. – N. Y., Dordrecht; Heidelberg; London: Springer, 2010. DOI 10.1007/978-1-60761-495-1.
6. Mori S. Iron acquisition by plants // Curr. Opin. Plant Biol. – 1999. – V. 2. – P. 250–253.
7. Rout G. R., Sahoo S. Role of iron in plant growth and metabolism // Reviews in Agricultural Science. – 2015. – V. 3. – P. 1–24.

INFLUENCE OF IRON SULFATE ON THE BIOMASS PARAMETERS OF WHEAT SEEDLINGS

S. V. Ruchkin, V. V. Ivanishchev

The effect of the presence in the medium of a wide range of ferrous sulfate concentrations on the formation of wheat seedlings (*Triticum aestivum* L.) at the early stage of ontogenesis was studied. It was established that a salt concentration of 0.01 mM had a stimulating effect on the shoot length (8%) and its wet weight (20%). In all other cases (concentrations of salt and organs), inhibitory effects were observed. The ratio of the fresh weight of the shoot / root was higher than the control when the concentration of ferrous sulfate in the medium was 10^{-7} M (15%) and lower than the control at 10^{-5} M (the same 15%). A similar dry weight ratio varied to a much greater extent, which indicates the effect of ferrous sulfate on the water availability of emerging wheat seedlings under the experimental conditions.

Keywords: *Triticum aestivum* L., wheat seedlings, ferrous sulfate, shoot length, wet and dry weight, relative water content.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
Раздел I. История биогеохимии. Философское наследие В. И. Вернадского и Л. Н. Толстого в преодолении экологического кризиса	7
<i>Ермаков В. В., Ковальский Ю. В.</i> Вклад В. В. Ковальского в развитие биогеохимии и геохимической экологии.....	8
<i>Янин Е. П.</i> О рукописи В. И. Вернадского «Заметки о почвах на Французской всемирной выставке 1889 года».....	15
<i>Аксенов Г. П.</i> Понятие живого вещества по В. И. Вернадскому.....	30
<i>Виноградова Л. Д.</i> По страницам дневников академика А. П. Виноградова 1936 года	42
<i>Капитальчук М. В.</i> Биоцентризм и антропоцентризм в философском наследии В. И. Вернадского и Л. Н. Толстого	54
<i>Остроумов С. А.</i> О роли биоты и биогенного вещества в биосфере. Четвертый биогеохимический принцип.....	61
<i>Абхаирова Э. Э.</i> Философия В. И. Вернадского и Л. Н. Толстого как основа формирования экологического сознания.....	64
Раздел II. Биогенная аккумуляция и трансформации природных и антропогенных химических соединений.....	67
<i>Азаренко Ю. А., Приходько В. Е.</i> Геохимические особенности древних и современных почв как геоархив для реконструкции климата.....	68
<i>Амагова З. А., Голубкина Н. А., Мацадзе В. Х.</i> Селеновый статус Чеченской республики	72
<i>Безель В. С., Мухачева С. В.</i> Мелкие млекопитающие импактных регионов: роль в биогенных циклах в условиях сокращения промышленных выбросов	76
<i>Боев В. А., Боев В. В., Корнеева С. Ю., Аксенов Н. В.</i> Содержание микроэлементов в дерново-подзолистых почвах подзоны подтаежных лесов с различным видовым составом древесной растительности	80

<i>Бондаревич Е. А., Солодухина М. А., Витковский Ю. А., Михайлова Л. А.</i> Полиэлементное загрязнение почв и техноземов в условиях действия Хапчерангинского горно-обогатительного комбината (Восточное Забайкалье)	84
<i>Бондаревич Е. А., Коцюржинская Н. Н., Самойленко Г. Ю.</i> Цинк и кадмий – накопление и биотрансформация в дикорастущих растениях в условиях техногенной территории Читы	87
<i>Дудникова Т. С., Сушкова С. Н., Минкина Т. М., Антоненко Е. М., Попилешко Я. А., Барбашев А. И., Дорохова Н. А., Дерябкина И. Г.</i> Индикация ассоциации полициклических ароматических углеводородов пирогенно-угольного происхождения в почвах импактной зоны энергогенерирующего предприятия	91
<i>Ельчи니нова О. А., Кузнецова О. В., Пузанов А. В.</i> Оценка биогеохимического статуса бассейна Телецкого озера	95
<i>Ермохин Ю. И., Илюшкина О. Ю.</i> Равновесие минеральных элементов почвы и растения как объективный научный принцип закона максимума и минимума	99
<i>Жариков Г. А., Марченко А. И., Крайнова О. А., Дядищева В. П., Челтых Л. В.</i> Разработка инновационных технологий биоремедиации почвы и воды, загрязненных токсичными химическими веществами	103
<i>Гашкина Н. А.</i> Биоаккумуляция элементов в органах и тканях рыб при стабилизации антропогенной нагрузки	108
<i>Гродзинская А. А., Самчук А. И., Небесный В. Б.</i> Минеральный состав некоторых дикорастущих макромицетов	112
<i>Гуляева У. А.</i> О концентрировании стронция растениями	116
<i>Елькина Г. Я., Денева С. В., Лаптева Е. М.</i> Содержание и распределение тяжелых металлов в биогеоценозах большеземельской тундры	120
<i>Железнова О. С., Тобратов С. А.</i> Сезонная динамика тяжелых металлов в фитомассе подтаежных лесных экосистем Южной Мещеры	124
<i>Загоскина Н. В., Николаева Т. Н., Лапшин П. В., Заварзина А. Г.</i> Фенольные соединения в лишайниках и их значение для почвообразовательных процессов	128
<i>Загурская Ю. В., Сиромля Т. И.</i> Накопление и распределение химических элементов в растениях <i>Achillea millefolium</i> L. в техногенно нарушенных экотопах	131

<i>Ивашов П. В.</i> Биогеохимическая аномалия олова в южной части Дальнего Востока России.....	135
<i>Колмыкова Л. И., Коробова Е. М., Громяк И. Н.</i> Химический состав питьевых вод в районах распространения эндемических заболеваний щитовидной железы в связи с геохимическими особенностями областей их формирования.....	139
<i>Кондратьева Л. М., Шадрина О. С., Голубева Е. М., Крутикова В. О.</i> Растворение карбоната кальция <i>in vitro</i> микробными комплексами из карстовой пещеры Прощальная	143
<i>Kostecki J., Greinert A., Drab M.</i> Contamination of trees of the former copper smelter protective zone.....	147
<i>Кузнецова О. В., Ельчининова О. А.</i> Биогеохимические особенности бассейна р. Чулышман (Республика Алтай)	151
<i>Лапченко Е. В., Лапченко В. А., Голубкина Н. А.</i> Накопление макро- и микроэлементов дерматокарпоном красноватым (<i>Dermatocarpon miniatum</i> (L.) W. Mann. В) в фоновых условиях.....	156
<i>Лапченко В. А., Лапченко Е. В., Голубкина Н. А.</i> Химический и элементный состав грунтовых вод государственного природного заповедника «Карадагский»	160
<i>Легостаева Я. Б., Сивцева Н. Е.</i> Биогеохимические условия формирования системы «почва – растения» в урбоценозах на территории г. Якутска	163
<i>Леонова Г. А., Мальцев А. Е.</i> Оценка биоаккумуляционного потенциала химических элементов в макрофитных озерах разных ландшафтных зон юга Западной Сибири	168
<i>Леонова Г. А., Мальцев А. Е., Прейс Ю. И., Заякина С. Б., Бобров В. А.</i> Биоаккумуляция химических элементов компонентами антропогенно нарушенных экосистем верховых болот лесостепной зоны юга Западной Сибири.....	172
<i>Loseva L. P., Humelnicu Doina, Humelnicu Ionel, Krupskay T. K., Anyfrik S. S., Ignat Maria, Laminski-Anufryk Olga</i> Creation of a biosorbent for heavy metals as a perspective way of processing the defecate of beet sugar production	177
<i>Манджиева С. С., Минкина Т. М., Чаплыгин В. А., Бурачевская М. В., Черникова Н. П., Замулина И. В., Лобзенко И. П.</i> Оценка накопления и распределения свинца по органам ячменя ярового.....	181
<i>Миндубаев А. З., Волошина А. Д., Минзанова С. Т., Миронова Л. Г., Хаяров Х. Р., Бадеева Е. К.</i> Обезвреживание белого фосфора микробной культурой.....	185

<i>Молчанова А. В., Логвиненко Л. А., Голубкина Н. А., Шевчук О. М.</i> Аккумуляция макро- и микроэлементов различными видами лишайников.....	188
<i>Науменко Т. С., Лапченко А. В., Лапченко Е. В., Голубкина Н. А., Багрикова Н. А., Крайнюк Е. С.</i> Особенности аккумуляции некоторых химических элементов лишайниками на охраняемых природных территориях с минимальным уровнем антропогенного воздействия.....	192
<i>Опекунова М. Г., Опекунов А. Ю., Кукушкин С. Ю., Арестова И. Ю.</i> Влияние природных и антропогенных факторов на химический состав растений севера Западной Сибири	196
<i>Остроухова Е. Г., Сысо А. И.</i> Накопление химических элементов растениями цикория обыкновенного (<i>Cichorium intubus</i> L.) на юге Западной Сибири	200
<i>Пампура Т. В., Зарубина О. В.</i> Естественные и антропогенные факторы, определяющие источники и концентрации РЗЭ в атмосферных выпадениях и почвах Центрального лесного государственного природного биосферного заповедника (ЦЛГПБЗ) (Валдайская возвышенность, Россия).....	203
<i>Подлипский И. И.</i> Аккумулятивная биоиндикация в экологической оценке загрязнения окружающей среды (на примере сем. Lumbricina и сем. Carabidae, Coleoptera).....	210
<i>Сафонов А. В., Алдабаев Р. А., Попова Н. М., Болдырев К. А., Богуславский А. Е.</i> Биогеохимическое моделирование поведения урана в подземных водах с нитратным и сульфатным загрязнением	214
<i>Семенов И. Н.</i> Интенсивность биогенной аккумуляции тяжелых металлов в системе «почвы – растения» Обь-Пуровского междуречья	218
<i>Семенов И. Н.</i> Перераспределение тяжелых металлов по веткам и листьям карликовой березы и голубики (водосбор балки юго-западной части болотоземельской тундры)	222
<i>Сибгатуллина М. Ш., Валиев В. С.</i> Биогеохимия травянистых растений особо охраняемых природных территорий Республики Татарстан	226
<i>Сибиркина А. Р.</i> Биогеохимические условия формирования растительного покрова соснового бора Семипалатинского Прииртышья.....	229
<i>Синдирева А. В., Степанова О. В., Кекина Е. Г.</i> Экологическая оценка действия селена и йода в системе «почва–растение» в условиях Западной Сибири.....	233

<i>Сиромля Т. И.</i> Аккумуляция химических элементов дикорастущими травянистыми лекарственными растениями юга Западной Сибири	237
<i>Слуковский З. И., Даувальтер В. А.</i> Роль органического вещества в аккумуляции тяжелых металлов в донных отложениях озер урбанизированных территорий арктической зоны	241
<i>Ушакова О. В., Голубкина Н. А., Кошеваров А. А., Молчанова А. В., Ушаков В. А., Антошкин А. А.</i> Влияние обогащения селеном на элементный состав проростков овощных бобовых культур <i>Vicia faba L., Phaseolus vulgaris L., Pisum sativum L.</i>	245
<i>Чаплыгин В. А., Манджиева С. С., Минкина Т. М.</i> Загрязнение травянистых растений семейства Астровые (Asteraceae) Zn, Ni и Cd	248
<i>Чаплыгин В. А., Ершова Т. С., Зайцев В. Ф.</i> Биогенная аккумуляция микроэлементов в трофических цепях осетровых видов рыб	253
<i>Шешнищан С. С., Голубкина Н. А., Капитальчук М. В.</i> Экологические аспекты биоаккумуляции селена в Кучурганском водохранилище-охладителе Молдавской ГРЭС	256
<i>Шешнищан Т. Л., Шешнищан С. С.</i> Статус цинка в биогеохимической пищевой цепи «почва – растения – животные» в степных ландшафтах долины Днестра	260
<i>Шопина О. В., Семенков И. Н., Парамонова Т. А., Комиссарова О. Л.</i> Поглощение химических элементов из агрочерноземов пшеницей, соей и компонентами многолетней травосмеси на Плавском плато	265
<i>Евграшкина Т. Н., Иванищев В. В.</i> Влияние карбоната и сульфата натрия на проявления окислительного стресса в побегах тритикале	269
<i>Иванищев В. В.</i> Влияние хлорида никеля на взаимосвязи показателей окислительного стресса побегов вики	273
<i>Мазов В. В., Иванищев В. В.</i> Влияние сульфата цинка на показатели биомассы проростков пшеницы	276
<i>Ручкин С. В., Иванищев В. В.</i> Влияние сульфата железа на показатели биомассы проростков пшеницы	280

Научное издание

**БИОГЕОХИМИЯ –
НАУЧНАЯ ОСНОВА УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ
И СОХРАНЕНИЯ ЗДОРОВЬЯ ЧЕЛОВЕКА**

Труды

*XI Международной биогеохимической школы,
посвященной 120-летию со дня рождения
Виктора Владиславовича Ковальского*

В двух томах

Том 1

г. Тула, 13–15 июня 2019 г.

Подготовка оригинал-макета –
Л. В. Переломов, В. В. Ермаков

Печатается в авторской редакции.

Подписано в печать 05.06.2019. Формат 60×90/8.

Бумага офсетная. Печать трафаретная.

Усл. печ. л. 36,25. Тираж 100 экз. Заказ 19/014. «С» 1803.

Тульский государственный педагогический
университет им. Л. Н. Толстого. 300026, Тула, просп. Ленина, 125.

Отпечатано в ТГПУ им. Л. Н. Толстого.
300026, Тула, просп. Ленина, 125.