

ISSN 1561-1124

МАТЕРИАЛЫ
ПО
ИЗУЧЕНИЮ РУССКИХ ПОЧВ

ВЫПУСК 11 (38)



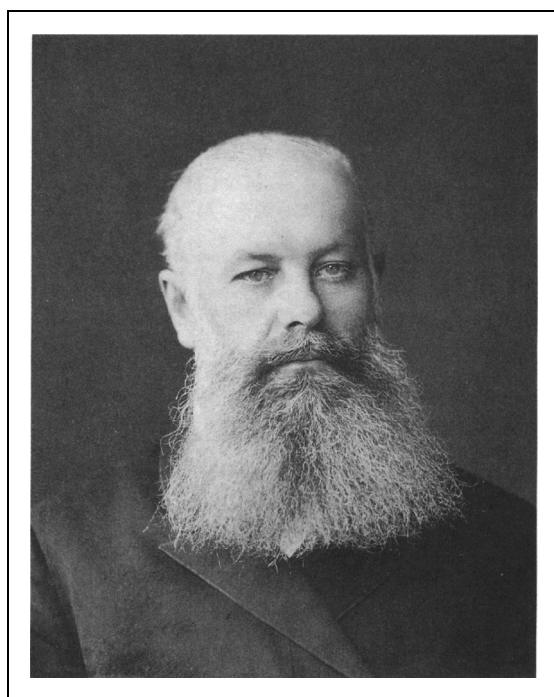
Санкт-Петербург
2018

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

МАТЕРИАЛЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ РУССКИХ ПОЧВ

ВЫПУСК 11 (38)

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



Санкт-Петербург
2018

УДК 631.4
ББК 40.3
М34

Редакционная коллегия: *Б.Ф. Апарин (председатель), К.А. Бахматова, А.М. Булышева, Д.Ю. Здобин, Г.А. Касаткина, А.В. Русаков, А.Г. Рюмин, Е.Ю. Сухачева, Н.Н. Федорова, С.Н. Чуков, А.А. Шишукова, И.В. Штангеева*

Рецензенты:

д.с.-х.н., профессор Б.В. Бабилов, Санкт-Петербургский
государственный лесотехнический университет

д.с.-х.н., член корр. РАН, профессор В.А. Рожков, Почвенный институт им.
В.В. Докучаева

Материалы по изучению русских почв. Вып. 11 (38): Сб. науч. докл. / Под ред.
М34 Б.Ф. Апарина.– СПб, 2018. – 208 с.

В очередном, одиннадцатом, выпуске «Материалы по изучению русских почв» (вып. 10 (37) вышел в декабре 2017 г.) представлены доклады участников XXI Докучаевских молодежных чтений «Почвоведение – мост между науками» (2018 г., СПб).

Материалы посвящены связующей роли почвоведения между науками. Представлены работы, рассматривающие широкий круг проблем почвоведения: генезис, география, экология, охрана, плодородие почв, рациональное использование природных ресурсов, пропаганда достижений почвоведения среди широких слоев населения.

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

ББК 40.3



Материалы опубликованы при поддержке РФФИ
грант № 18-04-20004 Г

© Санкт-Петербургский
государственный университет
© Центральный
музей почвоведения
им. В.В. Докучаева, 2018

ОБРАЗОВАНИЕ КАК ВАЖНЕЙШИЙ ЭЛЕМЕНТ НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ШКОЛЫ ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО ПОЧВОВЕДЕНИЯ СПБГУ (К 95-ЛЕТИЮ КАФЕДРЫ ПОЧВОВЕДЕНИЯ СПБГУ)

Б.Ф. Апарин^{1,2}, Г.А. Касаткина¹, Н.Н. Федорова¹, Е.Ю. Сухачева^{1,2}

¹Санкт-Петербургский государственный университет

²ФГБНУ Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева

ВВЕДЕНИЕ

В 2017 г. исполнилось 95 лет со дня преобразования кафедры агропочвоведения в кафедру экспериментального почвоведения. Кафедра была открыта в 1922 г. по инициативе профессора С.П. Кравкова. Правопреемником её является кафедра почвоведения и экологии почв. Осуществилась заветная мечта В.В. Докучаева о создании кафедры фундаментального почвоведения в Университете как основы научно-педагогической школы. За прошедшие годы кафедра прошла непростой путь становления и развития в рамках общеуниверситетских преобразований структуры учебных подразделений (табл. 1).

Таблица 1. Кафедра почвоведения в составе подразделений Университета.

Кафедра	Факультет, Институт	Годы
Экспериментального почвоведения	Физико-математический факультет	1922–1930
	Почвенно-ботанический сектор	1930–1932
	Геолого-почвенно-географический факультет	1932–1936
	Геолого-почвенный факультет	1936–1949
	Биолого-почвенный факультет	1949–1963
Почвоведения и географии почв	Биолого-почвенный факультет	1963–1998
Почвоведения и экологии почв	Биолого-почвенный факультет	1998–2013
	Факультет географии и геоэкологии	с июня 2013
	Институт наук о Земле	с декабря 2013

В формировании Докучаевской научно-педагогической школы и её важнейшего элемента – образовательной программы «Почвоведение» принимали участие выдающиеся ученые С.П. Кравков, Б.Б. Полынов, И.В. Тюрин, А.А. Завалишин (табл. 2).

Таблица 2. Заведующие кафедрами почвоведения.

Кафедра	ФИО, степень, звание	Годы заведования
Экспериментального почвоведения	С.П. Кравков (доктор агрономии, профессор)	1922–1938
	Б.Б. Полынов (д.г.-м.н., член-корреспондент АН СССР, профессор)	1939–1942
	М.Д. Рыдалевская (к.г.-м.н., доцент)	1942–1944
	И.В. Тюрин (д.г.-м.н., академик АН СССР, профессор)	1944–1952
	В.Н. Симаков (к.с.-х.н., к.г.-м.н., профессор)	1952–1963
Почвоведения и географии почв	В.Н. Симаков (к.с.-х.н., к.г.-м.н., профессор)	1963–1974
	Ю.С. Толчельников (д.г.н.)	1975–1979
	В.П. Цыпленков (к.б.н., профессор)	1980–1992
	Б.Ф. Апарин (д.с.-х.н., профессор)	1992–1998
Почвоведения и экологии почв	Б.Ф. Апарин (д.с.-х.н., профессор)	1998–2017
	А.В. Русаков (д.г.н.)	с декабря 2017

С 1925 по 1963 гг. подготовка почвоведов и научные исследования осуществлялись, наряду с кафедрой экспериментального почвоведения, на кафедре географии почв (заведующие кафедрой: С.С. Неуструев 1925–1928; Б.Б. Полынов 1929–1935; М.И. Рожанец 1935–1946; А.А. Завалишин 1947–1958; Н.Н. Соколов 1960–1962), вначале в составе разных под-

разделений, а с 1938 г. совместно на геолого-почвенном факультете. В 1963 г. обе кафедры были объединены в кафедру почвоведения и географии почв (табл. 2). Спустя 35 лет кафедра почвоведения и географии почв была переименована в кафедру почвоведения и экологии почв. Данное преобразование было вызвано тем, что основная масса выпускников кафедры после 1990 г. была востребована экологическими организациями и, вследствие этого, возникла необходимость усиления экологической составляющей в учебных планах. Изменения в названиях кафедры никогда не затрагивали ее основы – подготовки специалистов высшей квалификации в области фундаментального генетического почвоведения.

Поскольку различным аспектам истории кафедры посвящено довольно много публикаций [2, 3, 4, 5, 6], целью настоящей статьи является рассмотрение стратегии и тактики развития Докучаевской научно-педагогической школы СПбГУ и ее носителя кафедры Почвоведения с 1990 по 2017 гг.

СОБЫТИЯ, ФАКТЫ, ОБСУЖДЕНИЯ

90-е годы XX столетия известны как начало системного кризиса в социально-экономическом развитии России. Кризис затронул и сферу высшего образования. Для кафедры Почвоведения СПбГУ он был весьма ощутим. В связи с отказом государства от функции управления почвенным плодородием, значительно сократили свою деятельность Гипроводхозы и Гипроземы, являвшиеся основными работодателями для выпускников кафедры. Падение престижа науки также способствовало утрате интереса абитуриентов к специальности «Почвоведение». Как следствие этих негативных явлений, был сокращен приём студентов на почвенное отделение биолого-почвенного факультета с 50 до 25, а затем (в 1991 г.) до 20 человек.

В этот критический период кафедра сделала акцент в своей деятельности не на выживание, а на развитие. Стратегия развития кафедры заключалась в укреплении всех звеньев Докучаевской научно-педагогической школы: кадры, наука, образование, популяризация.

Кадры. Повышение уровня научной квалификации профессорско-преподавательского состава (ППС) стало приоритетной задачей в деятельности кафедры. С одной стороны, это повышало преподавательский потенциал, с другой, стимулировало расширение тематики фундаментальных исследований, способствовало активному вовлечению студентов в научный процесс и повышению авторитета кафедры в научной среде. За рассматриваемый период сотрудниками кафедры были подготовлены и защищены 7 докторских и 8 кандидатских диссертаций (табл. 3). По этому показателю кафедра заняла прочные позиции среди подразделений естественно-научного профиля СПбГУ.

Защита докторских диссертаций сотрудниками кафедры Почвоведения позволила создать в 2000 году на биолого-почвенном факультете СПбГУ специализированный Совет по защите кандидатских и докторских диссертаций по специальности ботаника, почвоведение, агрохимия.

Интеграция. Важным шагом в укреплении Докучаевской научно-педагогической школы фундаментального почвоведения (ДНПШ) стало тесное взаимодействие с Центральным музеем почвоведения им. В.В. Докучаева Российской академии сельскохозяйственных наук (ЦМП). Эта связь сложилась исторически и является неотъемлемой частью плодотворного сотрудничества на протяжении всего времени существования Музея, начиная с его открытия [7]. Коллективы Кафедры и Музея объединены общей тематикой научных работ, совместными экспедициями и публикациями. Сегодня большинство сотрудников Музея – питомцы Университета и кафедры Почвоведения. Их активное включение в 1997 г. в работу по Федеральной целевой программе «Интеграция» способствовало созданию неформального Учебно-научного центра фундаментального почвоведения СПбГУ [6, 9]. Музей является важной площадкой для формирования потенциала будущих почвоведов. Именно здесь студенты Кафедры проходят посвящение в почвоведы. В Музее на основе уникальных почвенных коллекций и художественных научно-образовательных комплексов проводятся практические занятия по курсам «Почвоведение», «Почвообразующие породы», «География почв» и выполняются ВКР.

Таблица 3. Кандидатские и докторские диссертации, защищенные преподавателями и сотрудниками кафедры с 1990 года.

ФИО автора	Тема диссертации	Год защиты
Кандидатские диссертации		
Н.Н. Федорова	Влияние органических веществ на взаимодействие глинистых минералов почв с водяным паром	1991
С.Н. Лесовая	Минералогия и микроморфология почв на локальных моренах	1993
Г.А. Касаткина	Особенности почвообразования в условиях сельгового ландшафта Карельского перешейка	1993
А.В. Русаков	Закономерности формирования почвенного покрова центра Ярославского Поволжья	1993
К.А. Бахматова	Агрогенетическая характеристика почв Приневской низменности	1997
М.А. Надпорожская	Моделирование динамики трансформации растительных остатков в почве	2000
Е.В. Абакумов	Регенерационное почвообразование в посттехногенных экосистемах карьерно-отвалных комплексов Северо-Запада России	2004
А.А. Шешукова	Особенности распределения химических элементов в почвах острова Валаам	2006
Докторские диссертации		
Э.И. Гагарина	Литологический фактор почвообразования (на примере Северо-Запада)	1995
С.Н. Чуков	Исследования физико-химических параметров органического вещества почв (по данным ЭПР и ЯМР)	1998
Н.Н. Матинян	Почвообразование на ленточных глинах озерно-ледниковых равнин Северо-Запада России	1999
С.Н. Лесовая	География и генезис почв на красноцветных почвообразующих породах Европейской территории России	2006
А.И. Попов	Органическое вещество почв агроценозов и его роль в функционировании системы почва–растение	2006
А.В. Русаков	Формирование озерно-ледниковых отложений и почв в перигляциальной зоне Центра Русской равнины в позднем неоплейстоцене и голоцене	2012
Е.В. Абакумов	Первичные почвы в природных и антропогенных экосистемах	2012

В результате совместных усилий кафедры и ЦМП создана оригинальная, не имеющая аналогов в отечественной и мировой практике, система сквозного образования в области почвоведения от уровня младшего школьного возраста (в ЦМП) до высшего образования, аспирантуры и докторантуры (в СПбГУ). В ее осуществлении принимают участие, как преподаватели кафедры, так и научные сотрудники ЦМП [4, 7, 9].

Наука. Научная деятельность кафедры до 2015 г. осуществлялась в основном в рамках плана фундаментальных научных исследований, финансировавшихся вначале из госбюджета, а позже за счет средств СПбГУ. Исследования велись с 1990 по 2015 гг. по единой научной теме коллективами ППС кафедры и научных сотрудников 2-х лабораторий: «Географии и генезиса почв» (заведующий лабораторией д.с.-х.н. Н.Н. Матинян) и «Биохимии почв» (заведующий лабораторией д.б.н. О.Г. Чертов). Научное руководство осуществлял д.с.-х.н. Б.Ф. Апарин – заведующий кафедрой. В период с 1990 по 2009 гг. научно-исследовательская работа (НИР) проводилась по теме: «Изучение закономерности функционирования системы почва–растения в наземных экосистемах Русской равнины», а с 2009 по 2015 гг. – «Исследование функциональной устойчивости почв в современных экосистемах». Главные результаты научных исследований были опубликованы в 28 монографиях, из которых 5 – коллективные (табл. 4), в 2 сборниках.

Таблица 4. Монографии, подготовленные преподавателями и сотрудниками кафедры с 1990 года.

Название	Авторы	Год издания
Почвенно-агрогеохимическая экологическая карта Северо-Запада России	Ф.Я. Сапрыкин, А.Ф. Кулачкова, Н.Н. Матинян	1991
Географические основы рационального использования почв (на двучленных породах)	Б.Ф. Апарин	1992
Почвы и почвенный покров Северо-Запада России	Э.И. Гагарина, Н.Н. Матинян, Л.С. Счастливая, Г.А. Касаткина	1995
Эволюционные модели плодородия почв	Б.Ф. Апарин	1997
Эколого-географические закономерности эволюции почв и почвенного покрова мелиорируемых земель Нечерноземья	Н.Н. Матинян, Э.И. Гагарина, Г.А. Касаткина, О.Г. Растворова	1999
Почвы Валаама	Н.Н. Матинян, И.С. Урусевская	1999
Структурно-функциональные параметры органического вещества почв в условиях антропогенного воздействия	С.Н. Чуков	2001
Особенности почвообразования на ленточных глинах озерно-ледниковых равнин Северо-Запада	Н.Н. Матинян	2003
Гуминовые вещества (свойства, строение, образование)	А.И. Попов	2004
Заповедная природа Карельского перешейка	Л.С. Счастливая, Г.А. Касаткина, А.Ю. Иванова и др. Под редакцией Г.А. Носкова	2004
Литологический фактор почвообразования (на примере Северо-Запада Русской равнины)	Э.И. Гагарина	2004
Сестрорецкие Дубки от Петра 1 до наших дней. Историческое и природоведческое исследование	О.Г. Растворова	2004
Почвообразование в посттехногенных экосистемах карьеров на Северо-Западе Русской равнины	Е.В. Абакумов, Э.И. Гагарина	2006
Теория и практика химического анализа почв	О.Г. Растворова, Н.Н. Федорова, Г.А. Касаткина, Д.П. Андреев Под редакцией Л.А. Воробьевой	2006
Структурно-функциональные параметры гумусовых веществ подзолистых и болотно-подзолистых почв	Е.Д. Лодыгин, В.А. Безносиков, С.Н. Чуков	2007
Валаамский архипелаг (геохимия горных пород, почв и донных осадков)	Е.Г. Панова, В.В. Гавриленко, Н.Н. Матинян	2007
Почвы мира. Атлас (Перевод с немецкого)	Под редакцией Б.Ф. Апарина	2007
Красная книга почв Ленинградской области	Б.Ф. Апарин, Г.А. Касаткина, Н.Н. Матинян, Е.Ю. Сухачева	2007
Русский чернозем. В.В. Докучаев	Первое иллюстрированное переиздание с научными комментариями. Отв. редактор Б.Ф. Апарин	2008
Почвы Самарской луки (разнообразие, генезис, охрана)	Е.В. Абакумов, Э.И. Гагарина	2008
Эволюция почв и почвенного покрова мелиорированных земель	Б.Ф. Апарин, Е.Ю. Сухачева	2009
Почвы Западной Антарктики	Е.В. Абакумов	2011
Почвы заповедников и национальных парков Российской Федерации	Е.В. Абакумов, Г.А. Касаткина, О.Г. Растворова, А.В. Русаков, Л.С. Счастливая, Н.Н. Федорова и др.	2012
Почвы и почвенный покров парков Петергофа	Н.Н. Матинян, К.А. Бахматова	2012
Почвы и почвенный покров Ямской степи	А.В. Русаков	2012
Почвоведение в Санкт-Петербурге. XIX–XXI вв. Биографические очерки	Коллективная монография Под редакцией Н.Н. Матинян	2013
Антропогенно-преобразованные почвы островных средневековых монастырей таежно-лесной зоны России	Н.Н. Матинян, И.С. Урусевская	2014
Почвы и почвенный покров садов и парков Фрунзенского района Санкт-Петербурга	Н.Н. Матинян, К.А. Бахматова	2015

С 2015 г. после завершения «Темплана НИР» научная деятельность стала осуществляться в рамках грантовой системы финансирования. Для коллектива кафедры это не стало неожиданностью: еще в 1997 г. был выигран первый грант РФФИ на тему: «Исследования межфазных взаимодействий в почвах лесной и лесостепной зон в целях экологического прогнозирования» (руководитель Б.Ф. Апарин). С этого времени гранты РФФИ стали существенной поддержкой НИР. Среди руководителей Грантов РФФИ были, в том числе, С.Н. Чуков, Н.Н. Матинян, А.В. Русаков, А.И. Попов, М.А. Надпорожская, Э.И. Гагарина.

Важным событием для Докучаевской научно-педагогической школы стало участие и победа во впервые объявленном конкурсе фундаментальных НИР СПбГУ в 2011 году. Тема гранта: «Экологические основы качества жизни населения в мегаполисе» (руководитель Б.Ф. Апарин) впервые объединила ученых разных специальностей (геологов, картографов, гидрологов, ботаников, биологов) под эгидой почвоведов. Одним из крупных результатов проекта стало создание коллективами СПбГУ и ЦМП (авторы: Б.Ф. Апарин, Е.Ю. Сухачева, Т.А. Андреева) первой в мире крупномасштабной (М 1:50 000) почвенной карты мегаполиса на основе разработанной составителями новой классификации городских почв. Результаты этой работы были апробированы на Международном конгрессе почвоведов (Южная Корея, 2014 г.).

В 2007 г. коллективами кафедры и ЦМП были закончены трехлетние экспедиционные работы по созданию двуязычной Красной книги почв Ленинградской области, опубликованной в том же году при поддержке Правительства Ленинградской области.

Знаменательным для почвоведения событием стало иллюстрированное переиздание в 2008 г. выдающегося труда В.В. Докучаева «Русский чернозем», дополненное обширным научным комментарием Б.Ф. Апарина, являвшегося ответственным редактором. Президиум Российской академии сельскохозяйственных наук наградил Бориса Федоровича Почетной грамотой «За лучшую работу года». Такой же награды была удостоена доцент Е.Ю. Сухачева за участие в работе по переизданию книги.

Сотрудниками кафедры разработаны новые методы и приборы для исследования почв и грунтов: А.И. Попов, О.В. Романов, Д.Ю. Здобин, И.В. Штангеева, С.Н. Чуков, Н.Н. Матинян, А.В. Шешукова, Б.Ф. Апарин, Е.Ю. Сухачева, Н.Н. Федорова, К.А. Бахматова.

В 2010 году статус ДНПШ был подтвержден на заседании Ученого Совета СПбГУ.

Научные конференции. Научно-педагогическая школа получает признание не только публикацией результатов исследований, но и созданием вокруг себя особой комфортной творческой среды, которая привлекает научное сообщество. Такая среда формируется при организации научных мероприятий. Важным событием явилось проведение в 1996 г. на базе Санкт-Петербургского университета Юбилейного II Съезда почвоведов России, посвящённого 150-летию со дня рождения В.В. Докучаева. Инициатором и организатором его проведения стали коллективы кафедры почвоведения и экологии почв и ЦМП. К этому событию сотрудники кафедры подготовили юбилейный выпуск журнала «Вестник Санкт-Петербургского университета» [2], где отразили этапы развития Докучаевского генетического почвоведения в Санкт-Петербурге и Университете. К Съезду были подготовлены 4 маршрута полевых научных экскурсий и открыта после коренной реконструкции новая почвенно-экологическая экспозиция ЦМП.

В 2004 г. коллективы Музея и Кафедры организовали и провели Международный экологический форум «Сохраним планету Земля», посвященный столетию ЦМП. Затем последовала череда научных конференций, организованных под эгидой ДНПШ.

Признанием заслуг научно-педагогического коллектива в развитии биохимических исследований явилось проведение на базе кафедры в 2005 г. – III Всероссийской и в 2010 г. – V Международной конференции «Гуминовые вещества в биосфере» (ответственный С.Н. Чуков).

Знаковым событием в жизни научной школы кафедры стала организация в декабре 2005 г. конференции «Экология Санкт-Петербурга и его окрестностей», посвященной 130-летию проекта профессора Императорского Санкт-Петербургского университета В.В. Докучаева о детальном естественноисторическом и физико-географическом исследовании Санкт-Петербурга и его окрестностей.

В марте 2006 г. организована Всероссийская научная конференция «Почвоведение и агрохимия в XXI веке». В марте 2007 г. кафедра совместно с ЦМП провели Международную научную конференцию «Пространственно-временная организация почвенного покрова: теоретические и прикладные аспекты». В феврале–марте 2008 г. кафедра также совместно с ЦМП организовали и провели Международную научно-практическую конференцию «Плодородие почв – уникальный природный ресурс – в нем будущее России».

Регулярно проводимые научные конференции значительно упрочили позиции ДНПШ в России.

Образование. С 1994 г. кафедра почвоведения впервые среди классических Университетов России, выпускающих почвоведов, начала подготовку студентов по двухуровневой системе (бакалавры и магистры) [4]. Это потребовало коренной перестройки учебных планов. Обучение студентов по направлению «Почвоведение» велось на 2 кафедрах: почвоведение и экология почв и агрохимия. Совместный опыт учебной работы обеих кафедр по двухуровневой системе подготовки специалистов получил одобрение членов УМО по почвоведению классических Университетов. С 2010 по 2015 гг. обучение студентов в системе многопрофильного бакалавриата по направлению «Почвоведение» проводилось по профилям: «Экология и биология почв. Землепользование», включающего специализации «Экология почв» и «Землепользование», «Биология почв и агрохимия». Учебный план магистратуры, рассчитанный на 2,5 года, помимо обязательных курсов, содержал широкий круг вариативных дисциплин из различных областей почвенной науки (генезис, география и эволюция почв, экология почв, химия почв, физика почв, земельный кадастр и картография почв, биология почв, агрохимия и растениеводство). Преподавателями кафедры для эффективного усвоения программ курсов подготовлены учебные и учебно-методические пособия по основным дисциплинам и летним практикам (табл. 5).

В 2015 г. на кафедре почвоведения и экологии почв Б.Ф. Апариным, при участии члена учебно-методической комиссии (УМК) Института наук о Земле С.Н. Чукова, была разработана Программа модернизации ООП «Почвоведение». Цель Программы: во-первых, повысить привлекательность и мотивацию обучения и, во-вторых, гармонизировать подготовку специалистов в области фундаментального и прикладного почвоведения с учетом востребованности выпускников различными отраслями экономики страны. Концепция модернизации основана на следующих положениях:

- основные проблемы современности, такие как: дефицит продовольствия, экологический и энергетический кризис, сохранение биоразнообразия, продовольственной безопасности, глобальное изменение климата непосредственно связаны с использованием почвенных ресурсов и их состоянием;

- экологические основы качества жизни населения в мегаполисах связаны с почвенным покровом. В городах России проживает около 70 % населения;

- прогрессивное сокращение пахотных земель на душу населения неизбежно ведет к обострению продовольственной проблемы в мире. Россия с её богатыми почвенными ресурсами будет играть всё возрастающую роль в решении как продовольственной, так и других проблем современности;

- масштабы деградации почв в стране и Море достигли критического уровня. Подготовка специалистов в области оценки состояния почвенных ресурсов России, реабилитации почв, их мелиорации, прогноза их изменения, рационального использования как основы устойчивого развития страны становится всё более актуальной.

Исходя из перечисленных положений, было разработано содержание Программы, которая была направлена на актуализацию подготовки почвоведов, способных решать как теоретические, так и практические задачи, связанные с использованием почвенных ресурсов и с учетом экологических функций почв.

Таблица 5. Учебные и учебно-методические пособия,
подготовленные преподавателями кафедры после 1990 г.

Название	Авторы	Год издания
Энергетика почвенной влаги	О.Г. Растворова, В.С. Зуев, Н.Н. Федорова	1990
Дистанционные методы исследования почв	О.М. Терешенков, Г.А. Касаткина	1992
Спектроскопические методы исследования почв	С.Н. Чуков	1992
Химический анализ почв, ч.1	О.Г. Растворова, Г.А. Касаткина, Н.Н. Федорова	1993
Химический анализ почв	О.Г. Растворова, Д.П. Андреев, Э.И. Гагарина, Г.А. Касаткина, Н.Н. Федорова	1995
Определение химического состава растительных материалов	В.П. Цыпленков, А.С. Федоров, Т.А. Банкина, Н.Н. Федорова	1997
Бонитировка почв и основы государственного земельного кадастра	Б.Ф. Апарин, А.В. Русаков, Д.С. Булгаков	2002
Методические указания по полевому описанию почв	О.Г. Растворова, Г.А. Касаткина, Н.Н. Федорова	2002
Картография почв	Б.Ф. Апарин, Г.А. Касаткина	2004
Микроморфологический метод исследования почв	Э.И. Гагарина	2004
Словарь-справочник почвенно-экологических терминов	А.И. Попов, Б.Ф. Апарин, Н.Н. Матинян, Г.А. Касаткина, Н.Н. Федорова, Э.И. Гагарина, О.Г. Растворова	2006
Динамическое моделирование процессов трансформации органического вещества почв (имитационная модель ROMUL)	О.Г. Чертов, М.А. Надпорожская и др.	2007
Почвы природных зон Русской равнины	Б.Ф. Апарин, Г.А. Касаткина, О.Г. Растворова, Н.Н. Федорова, Э.И. Гагарина, Л.С. Счастливая, А.В. Русаков, С.Н. Чуков	2008
Полевая практика по почвоведению (лесостепная зона)	О.В. Романов, Н.Н. Федорова, С.Н. Чуков	2009
Летняя учебная практика «Физика почв»	О.В. Романов, О.Г. Растворова, А.И. Попов	2009
Почвы северо-восточной части Ордовикского плато и методика их полевого изучения	Н.Н. Матинян, К.А. Бахматова	2010
Методические указания по оформлению и выполнению письменных работ и статистической обработке результатов научных исследований	Е.В. Абакумов, А.И. Попов	2010
Почвообразующие породы с элементами четвертичной геологии	Э.И. Гагарина, Е.В. Абакумов	2012
Почвенное картирование	Б.Ф. Апарин, Г.А. Касаткина, Н.Н. Матинян, А.В. Русаков, Е.В. Абакумов, Е.Ю. Сухачева, А.Г. Рюмин	2012
Почвоведение (учебник)	Б.Ф. Апарин	2013
География почв	А.С. Федоров, С.В. Горячкин, Г.А. Касаткина, Н.Н. Федорова	2013
Теория почвообразовательного процесса	Б.Ф. Апарин	2018

Программа состоит из двух основных разделов. Первый – посвящен мероприятиям по привлечению заинтересованных, мотивированных абитуриентов к поступлению на ООП «Почвоведение». Это очень непростая задача поскольку, падение спроса на высококвалифицированных специалистов наложилось на уже существовавшие проблемы. Они заключались в: отсутствии в учебных программах школ предмета «Почвоведение» и, как следствие, слабостью представления школьников о важнейшем природном ресурсе; неосведомленности (не информированности) общества о значимости почв в жизни людей и природы в целом; специфичности восприятия почвы как предмета исследования (почва «не видна»); отсутствие университетской олимпиады по почвоведению.

Мероприятия по работе с потенциальными абитуриентами включали: разработку рекламной продукции, профориентационную деятельность с участием студентов, проведение Дня открытых дверей в Институте наук о Земле, проведение научно-популярных лекций в цикле «Многоликая ГЕО», организацию школьных секций в рамках студенческих научных конференций «Докучаевские молодежные чтения» и др.

Второй раздел включал деятельность по совершенствованию и переработке учебных планов. Актуализация учебных планов бакалавриата и магистратуры проводилась в соответствии с требованиями профессиональных стандартов и концепции Программы модернизации ООП «Почвоведение». Изменения в учебный план вносились на основании его критического анализа, рекомендаций работодателей, результатов анкетирования студентов и выпускников. Программа предполагает привлечение работодателей к чтению отдельных курсов или модулей, а также внедрение сетевого образования на основании двухсторонних договоров с ВУЗами, осуществляющими подготовку почвоведов по взаимно востребованным учебным дисциплинам.

В 2016 г. на кафедре были разработаны новые рабочие программы учебных дисциплин, введена модульная структура в программы 7 курсов. Впервые в учебный план включены новые междисциплинарные курсы:

- санитарное почвоведение;
- почвенно-экологические изыскания;
- инженерное почвоведение;
- метагеномика почв;
- реабилитация залежных почв;
- прикладное конструирование почв;
- почвы города;
- биоконверсия органических отходов;
- маршевые и аквальные почвы;
- арктические почвы.

Новый модернизированный Учебный план подготовки студентов по ООП «Почвоведение» для беспрофильного бакалавриата и магистратуры был утвержден УМК Института Наук о Земле.

Результаты приема в 2017 г. показали эффективность Программы модернизации. Количество заявлений, поданных на бюджетные места, составили: в бакалавриат на 10 мест – 93 заявления, в магистратуру на 10 мест – 23, в аспирантуру на 2 места – 7 заявлений. Среди классических Университетов, готовящих специалистов-почвоведов, абитуриенты, поступившие в СПбГУ на кафедру почвоведения и экологии почв, имели самый высокий средний балл по результатам ЕГЭ.

В 2014 г. создан учебный план подготовки аспирантов по образовательной программе «Почвоведение» («Биологические науки», ответственный – С.Н. Чуков). Обучение в аспирантуре теперь представляет собой завершающее звено высшего образования. В течение 4 лет аспиранты осваивают ряд базовых и вариативных дисциплин, выполняют научно-исследовательскую работу, проходят полевыми и педагогическую практики. В конце обучения они защищают выпускную квалификационную работу.

Качество подготовки высококвалифицированных специалистов зависит от оснащения лабораторий кафедры современными приборами и оборудованием.

В последние годы, благодаря энергии старшего преподавателя А.Г. Рюмина, приобретены и применяются в учебном процессе СНН-анализатор, атомно-абсорбционный спектрофотометр, лазерный дифрактометр. Создание в Университете новых структурных единиц – Ресурсных Центров существенно расширило инструментальную базу для фундаментальных почвенных исследований.

Учебные полевые практики. Необходимым условием получения фундаментального образования в области Почвоведения является привлечение студентов к участию в научной работе и к полевым исследованиям. Прологом к этому служат полевые практики студентов.

Первая летняя полевая практика студентов-почвоведов посвящена поиску взаимосвязи почв с факторами почвообразования и основам морфогенетического анализа почвенного профиля. Бессменным руководителем этой практики является профессор Н.Н. Матинян.

В 90-е годы кафедре удалось сохранить зональную комплексную учебную практику по почвоведению, геоботанике и агрохимии, которую студенты проходили по окончании второго курса. В ходе этой практики они знакомятся с закономерностями широтной смены почвенного покрова, главными типами почв таежно-лесной, лесостепной, степной, сухостепной зон, почвами пойм и горных областей. В течение последних 10-лет руководит «зональной» практикой старший преподаватель А.Г. Рюмин.

На базе практик СПбГУ «Лес на Ворскле» заповедника «Белогорье» под руководством доцента О.В. Романова студенты в рамках практики по физике почв осваивают полевые методы определения ряда физических параметров и проведения режимных наблюдений.

После третьего курса студенты приобретают навыки почвенного и агрохимического картирования. Эта практика проводилась на различных площадках Ленинградской области [5]. В последние годы она осуществляется на учебной базе Лесотехнического университета «Лисино» и на базе практик СПбГУ заповедника «Белогорье» под руководством профессора А.В. Русакова и доцента Г.А. Касаткиной.

Докучаевские чтения. Визитной карточкой Научно-педагогической школы стали организация и ежегодное проведение с 1998 г. студенческой конференции «Докучаевские молодежные чтения» [7]. Инициатива Кафедры и ЦМП о проведении Чтений в день рождения В.В. Докучаева (1 марта) была поддержана Президиумом Центрального Совета Общества почвоведов и Ученым Советом биолого-почвенного факультета СПбГУ. К задачам Докучаевских молодежных чтений относятся: приобретение опыта публичной защиты собственных результатов научных исследований, установление научных контактов и общение среди сверстников из различных учебных заведений. Особенностью Чтений является то, что подготовка и проведение конференции осуществляются самими студентами, аспирантами и молодыми учеными Кафедры и Музея, для которых это стало элементом образовательного процесса. Оргкомитет Докучаевских молодежных чтений формируется исключительно студентами, которые приобретают уникальный опыт организации и проведения крупных научных мероприятий. Из членов кафедры в состав оргкомитета и редакционной коллегии входит старший преподаватель А.Г. Рюмин. Первая Всероссийская конференция Докучаевские молодежные чтения: «Почвы и почвенный покров современных наземных экосистем» состоялась в 1998 г. в СПбГУ. Всего за период 1998–2018 гг. была проведена 21 конференция Докучаевских молодежных чтений, в которых приняли участие более 3000 человек из 70 ВУЗов и 40 НИИ, представляющих около 50 городов России и стран ближнего и дальнего зарубежья (около 10 стран). Заявки на конференцию поступали практически со всех регионов России, в том числе, из Казани, Владивостока, Ростова-на-Дону, Сыктывкара, Новосибирска, Саратова, Воронежа, Иркутска, Томска, Перми, Грозного, Благовещенска, Таганрога, Хабаровска, Челябинска, Москвы, Санкт-Петербурга и др., а также из таких стран, как Украина, Белоруссия, Молдова, Казахстан, Узбекистан, Иран, Германия, Австрия и Польша. Это позволило оргкомитету в 2012 г. присвоить Докучаевским молодежным чтениям статус Международных. В этом статусе конференция проходит 7-й год подряд. Чтения являются самым популярным научным форумом студентов и молодых почвоведов России. Темы конференции всегда предлагаются молодежным оргкомитетом с учетом пожеланий потенциальных участников.

Они посвящены основным проблемам современного почвоведения: экологии почв, почвенного и биологического разнообразия, сохранению почвенного покрова, методологии науки, продовольственной и экологической безопасности России, современным методам изучения генезиса и эволюции почв [8]. Дискуссии и обсуждение научных результатов служат хорошим стимулом к поиску оригинальных путей решения тех или иных проблем, своего рода школой научного общения молодых специалистов. Участие в конференциях поднимает рейтинг студентов, открывает перспективы для поступления в магистратуру и аспирантуру, учитывается при назначении повышенных или именных стипендий, дает основу для написания и защиты выпускных квалификационных работ (ВКР).

Пленарное заседание Докучаевских молодежных чтений всегда проводится в Актовом зале СПбГУ, в котором В.В. Докучаев защитил свою докторскую диссертацию «Русский чернозем» в 1883 г. и где, образно говоря, родилась наука о почве.

В программу Докучаевских молодежных чтений входит обязательное посещение могилы В.В. Докучаева на Смоленском кладбище и возложение на нее цветов, а также открытие тематических выставок и проведение экскурсий в ЦМП для участников конференции.

Материалы по изучению русских почв. Важным шагом в развитии Докучаевской научно-педагогической школы стало возобновление в 1999 г. периодического издания «Материалы по изучению русских почв», которое было поддержано ректором СПбГУ Л.А. Вербицкой и Ученым советом биолого-почвенного факультета. Издание было основано В.В. Докучаевым и А.В. Советовым в 1885 г., и выходило до 1917 г. За этот период было издано 27 выпусков [5, 6]. Оригинальное название, оформление и задачи издания были сохранены. В настоящее время в «Материалах» печатаются избранные доклады конференций Докучаевские молодежные чтения, студентов и молодых ученых СПбГУ и Музея.

Международные связи. Студенческий обмен является приоритетным направлением в укреплении международных связей. Бакалавриат и магистратуру кафедры почвоведения и экологии почв успешно закончили и защитили ВКР: Йамале Жан-Арсен (Центральная Африканская республика, 2003 г.) по теме «Характеристика красноцветных почв субтропического и тропического поясов» (руководитель Г.А. Касаткина); Хасан Мухаммед Дерхам (Сирия, Дамаск, 2006 г.) по теме: «Взаимодействие тяжелых металлов (Pb, Zn) с компонентами пахотных почв сельскохозяйственной зоны Санкт-Петербурга» (руководитель Н.Н. Матинян); Махер Али Даис (Сирия, Алеппо, 2006 г.) по теме: «Закономерности распределения микроэлементов в почвах парка усадьбы «Сергиевка» (руководитель Н.Н. Матинян). На кафедре проходили стажировку студенты из Китая и Японии.

В настоящее время в аспирантуре обучается Сун Гэ (Китай) по теме: «Фитобиологические компоненты органического вещества почв» под руководством А.И. Попова.

Выпускница бакалавриата кафедры О.С. Выборнова в 2010 г. поступила в магистратуру Гамбургского Университета (Германия), затем продолжила обучение в аспирантуре и в 2017 г. успешно защитила диссертацию. Студентка бакалавриата А.Д. Мерзлякова по международному студенческому обмену в 2013 г. проходила обучение в Испании.

Популяризация почвоведения. Наука без признания общества не имеет перспектив. Не случайно, В.В. Докучаев считал популяризацию почвоведения среди широких слоев населения необходимым элементом «Программы поднятия низкого уровня сельского хозяйства России». В наши дни задача популяризации знаний о почве не только сохраняет свою актуальность, но и становится все более необходимой [9]. Важным элементом в этой системе является серия учебно-просветительских видеофильмов по почвоведению, созданных под руководством и при участии Б.Ф. Апарина и Е.Ю. Сухачевой («Почва», «Четвертое царство природы», «SOS – спасите наши почвы», «В.В. Докучаев. 150 лет со дня рождения» и «Почвы – зеркало ландшафта»), серия мультфильмов («Все хотят есть», «Путешествие дождевого червячка», «Органо-минеральная матрица» и др.).

Студенты участвуют в организации и проведении общегородских мероприятий Музея, таких как «Ночь музеев», «Детские дни в музеях города». Преподаватели и студенты Кафедры при тесном взаимодействии с сотрудниками Музея участвовали в подготовке и проведе-

нии Международного года почв 2015 и в ежегодно отмечаемом 5 декабря Всемирном дне почв. Магистром кафедры Т.К. Мусаевым в целях популяризации почвоведения разработана игра для мобильных телефонов и созданы страницы в социальных сетях.

Признание. Преподаватели и сотрудники кафедры почвоведения и экологии почв избраны в различные научные и общественные организации:

Б.Ф. Апарин – вице-президент Общества почвоведов России им. В.В. Докучаева, член редколлегии журнала «Почвоведение», член Ученого совета СПбГУ (с 1998 по 2013 гг.), академик общественной организации «Российская экологическая академия», почетный член Общества почвоведов Азербайджана и Белорусского Общества почвоведов и агрохимиков и др.;

Н.Н. Матинян – академик Европейской академии естественных наук (г. Ганновер), председатель Санкт-Петербургского отделения Общества почвоведов России им. В.В. Докучаева,

А.И. Попов – академик Российской академии естественных наук;

О.В. Романов – член Центрального совета Общества почвоведов России им. В.В. Докучаева;

Е.Ю. Сухачева – член Центрального совета Общества почвоведов России им. В.В. Докучаева, Международный консультант ФАО – координатор проведения Международного года почв 2015 в странах Евразии, Председатель рабочей группы Pillar 2 of the EASP (Eurasia) (2016);

С.Н. Чуков – член Центрального совета Общества почвоведов России им. В.В. Докучаева, член редколлегии журнала «Почвоведение», председатель комиссии «органическое вещество почв» Всероссийского Общества почвоведов им. В.В. Докучаева.

За активную работу и выдающиеся успехи в науке преподаватели кафедры получили различные награды (табл. 6)

Таблица 6. Награды, полученные преподавателями кафедры.

ФИО	Звание	Год вручения
Э.И. Гагарина	«Заслуженный эколог Российской Федерации»	2000
Г.А. Касаткина	«Почетный работник профессионального высшего образования»	2004
Б.Ф. Апарин	«Почетная Грамота министерства образования и науки РФ»	2009
Б.Ф. Апарин, Е.Ю. Сухачева, Н.Н. Матинян, Г.А. Касаткина	Лауреаты Университетской премии «За научные труды»	2010
Н.Н. Федорова	«Грамота министерства высшего образования»	2014
Б.Ф. Апарин, Е.Ю. Сухачева, Н.Н. Матинян	Лауреаты Университетской премии «За научные труды»	2015
А.И. Попов	Серебряная медаль В.И. Вернадского «За высокие научные достижения и большой вклад в развитие России»	2015
Н.Н. Матинян	Медаль Гумбольдта	2016
Е.Ю. Сухачева	Медаль «150 лет со дня рождения В.И. Вернадского» от неправительственного экологического Фонда им. В.И. Вернадского	2016
Е.Ю. Сухачева	Почетная грамота ФАНО России	2016
Б.Ф. Апарин	Орден В.И. Вернадского Неправительственного экологического Фонда им. В.И. Вернадского	2017
С.Н. Чуков	«Грамота министерства высшего образования»	2018

Состав Докучаевской научно-педагогической школы фундаментального почвоведения СПбГУ: д.с.-х.н., профессор Б.Ф. Апарин (руководитель); д.б.н. С.Н. Чуков; д.с.-х.н., профессор Н.Н. Матинян; д.с.-х.н., профессор А.И. Попов; д.б.н., профессор Э.И. Гагарина; д.г.н. С.Н. Лесовая; д.г.н. А.В. Русаков; к.б.н., доцент Г.А. Касаткина; к.б.н., доцент Н.Н. Федоро-

ва; к.б.н., доцент О.В. Романов; к.б.н. Е.Ю. Сухачева; к.с.-х.н. К.А. Бахматова; к.б.н. А.А. Шешукова; к.г.-м.н. Д.Ю. Здобин; старший преподаватель А.Г. Рюмин; н.с. И.В. Штангеева. Аспиранты Кафедры и Музея: М.К. Захарова, М.А. Торопкина, Е.В. Мингареева, Л.А. Лазарева, Е.А. Шевчук, Ю.В. Симонова, А.М. Булышева, Е.А. Пеляева.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Успешная реализация Программы модернизации ООП «Почвоведение» дала возможность перейти к разработке долгосрочной стратегии устойчивого развития современной образовательной программы.

Устойчивое развитие ООП «Почвоведение» – это такое ее развитие, которое отвечает вызовам настоящего времени, оставляя возможность для удовлетворения новых запросов в будущем. Новыми вызовами в настоящее время стали: изменение в стандарте ФГОС3++, запросы работодателей к содержанию учебных планов (УП), внедрение в УП элементов цифровой экономики («цифровое почвоведение»), прием в магистратуру выпускников других образовательных программ, необходимость широкой популяризации знаний о почве («Международная декада почв – 2025»).

Элементами образовательной программы устойчивого развития являются: повышение качества подготовки почвоведов на всех трех образовательных уровнях, поддержание высокого рейтинга приема в бакалавриат, повышение рейтинга и мотивации, поступающих в магистратуру и аспирантуру, подготовка, из числа перспективных аспирантов, кандидатов на должности преподавательского состава.

Соблюдение следующих условий – сохранение кафедры как носителя образовательной программы «Почвоведение», гармонизация учебного плана с запросами работодателей и сохранение междисциплинарного характера подготовки, а также творческое и научное взаимодействие с ЦМП им. В.В. Докучаева – все это является гарантией устойчивого развития.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Архив Санкт-Петербургского государственного университета.*
2. *Цыпленков В.П.* К истории почвоведения в Санкт-Петербургском университете // Вестн. С.-Петерб. ун-та. 1996. Сер. 3. Вып. 1. С. 11–23.
3. *Апарин Б.Ф., Матинян Н.Н., Растворова О.Г.* Памятные даты из истории Санкт-Петербургского университета. // Вестн. С.-Петерб. ун-та. 2006. Сер. 3. Вып. 1. С. 18–35.
4. *Апарин Б.Ф., Федорова Н.Н., Счастливая Л.С.* Подготовка почвоведов в Санкт-Петербургском (Ленинградском) государственном университете (история и современность) // Вестн. С.-Петерб. ун-та. 2006. Сер. 3. Вып. 1. С. 39–51.
5. *Апарин Б.Ф., Касаткина Г.А., Федорова Н.Н.* Докучаевская научно-педагогическая школа почвоведения Санкт-Петербургского (Ленинградского) университета (к 90-летию кафедры почвоведения) // Вестн. С.-Петерб. ун-та. 2012. Сер. 3. Вып. 4. С. 114–127.
6. *Апарин Б.Ф., Матинян Н.Н.* Докучаевская школа генетического почвоведения Санкт-Петербургского университета на рубеже веков. // Вестн. С.-Петерб. ун-та. 2006. Сер. 3. Вып. 1. С. 3–18.
7. *Касаткина Г.А., Федорова Н.Н., Русакова Е.А.* Участие Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева в подготовке студентов-почвоведов Санкт-Петербургского государственного университета. // Материалы по изучению русских почв. Вып. 19 (36). СПб. 2017. С. 125–127.
8. *Максимова Е.Ю., Апарин Б.Ф., Рюмин А.Г.* 20 лет Докучаевским молодежным чтениям. // Материалы по изучению русских почв. Вып. 10 (37). СПб. 2017. С. 4–12.
9. *Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю.* Экологическое образование в Центральном музее почвоведения им. В.В. Докучаева // Мат-лы по изучению русских почв. Вып. 5 (32). СПб, 2005, с. 45–53.

XXI ДОКУЧАЕВСКИЕ МОЛОДЕЖНЫЕ ЧТЕНИЯ (ОБЗОР)

А.М. Булышева¹, М.А. Лазарева²

¹Санкт-Петербургский государственный университет,

²ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева

Международная научная конференция XXI Докучаевские молодежные чтения «Почвоведение – мост между науками» была проведена с 28 февраля по 3 марта 2018 г. в Санкт-Петербургском государственном университете и в ФГБНУ Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева (ЦМП им. В.В. Докучаева).

Докучаевские молодежные чтения ежегодно проводятся с 1998 года и приурочены к 1 марта – Дню рождения основателя науки о почве В.В. Докучаева. Особенностью чтений является то, что подготовка и проведение конференции осуществляются молодежным оргкомитетом, состоящим из студентов-магистрантов, выпускников кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ и молодых сотрудников ЦМП им. В.В. Докучаева. Такой подход дает возможность молодым специалистам набраться опыта в организации и проведении научных конференций.

Целями организации мероприятия являются:

- апробация студентами, аспирантами СПбГУ и других ВУЗов, НИИ материалов собственных научных исследований;
- обмен опытом между организациями различных регионов России и стран зарубежья;
- привлечение внимания школьников к проблемам, связанным с почвами и их состоянием, их значению в обеспечении комфортной жизни человека; воспитание экологического мышления населения;
- привлечение школьников, студентов, в том числе иногородних и иностранных, к поступлению на ООП «Почвоведение» и другие программы Института наук о Земле СПбГУ в рамках профориентационной деятельности;
- сохранение авторитета СПбГУ как организатора крупного научного Форума в области почвоведения для аспирантов, студентов, молодых ученых, а также для школьников.

Очередные XXI Докучаевские молодежные чтения были посвящены связующей роли почвоведения между науками. Конференция проводилась под эгидой Санкт-Петербургского государственного университета, ФГБНУ «Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева», АНО «Фонд сохранения и развития научного наследия В.В. Докучаева», Общества почвоведов им. В.В. Докучаева, МОО «Природоохранный союз». Проведение чтений поддержано Российским фондом фундаментальных исследований (РФФИ), грант № 18-04-20004 г.

Конференция проводилась под руководством *Б.Ф. Апарина*, бессменного председателя оргкомитета, профессора кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ, научного руководителя ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева, вице-президента Общества почвоведов им. В.В. Докучаева, д.с.-х.н.

Заместителем председателя являлась *Е.Ю. Сухачева*, директор ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева, доцент кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ, к.б.н.

Организаторами были:

- *А.М. Булышева*, ответственный секретарь конференции, аспирант кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ, ведущий специалист ООО «Эко-Экспресс-Сервис».
- *М.А. Лазарева*, секретарь конференции, аспирант ФГБНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, н.с. ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева.
- *М.К. Захарова*, аспирант кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ, м.н.с. ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева.
- *Е.В. Мингареева*, аспирант Всероссийского научно-исследовательского института радиологии и агроэкологии, с.н.с. ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева.
- *Т.К. Мусаев*, магистрант кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ
- *А.Г. Рюмин*, ст. преп. кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ.
- *Ю.В. Симонова*, аспирант кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ.

На Докучаевские чтения поступило более 230 заявок от студентов, аспирантов, молодых ученых из различных регионов России (Москва, Санкт-Петербург, Пушкино, Ростов-на-Дону, Пермь, Томск, Архангельск, Иркутск, Казань, Кызыл и др.), а также из других стран (Казахстан, Белоруссия, Иран, Азербайджан, Монголия). Всего было зарегистрировано 159 участников.

Активными участниками конференции (около 40 заявок) стали школьники Санкт-Петербурга и других городов России. Всего было зарегистрировано 19 участников.

28 февраля 2018 г. в ЦМП им. В.В. Докучаева состоялись экскурсии и презентация выставок «Воплощение идеи В.В. Докучаева» (к 100-летию революции в России) и «110 лет с начала экспедиций Переселенческого управления».

Выставка «Воплощение идеи В.В. Докучаева» (к 100-летию революции в России) была посвящена программе В.В. Докучаева по выходу из кризисного состояния сельского хозяйства России и воплощению его идей в советский период истории страны и состоит из 5 взаимосвязанных тематических разделов: «Идеи В.В. Докучаева», «Образование», «Наука и популяризация знаний», «Докучаевские бастионы», «На круги своя?» Научную концепцию выставки разработал научный руководитель ЦМП им. В.В. Докучаева, профессор, д.с.-х.н. Б.Ф. Апарин. Авторы макета – сотрудники СПбГХПА им. А.Л. Штиглица, Кирилл Быстрыков и Людмила Ярошевская. Художественное оформление осуществил студент СПбГХПА им. А.Л. Штиглица Тимофей Руденко. В насыщении выставки материалами принимали участие сотрудники ЦМП им. В.В. Докучаева (аспиранты Е. Чигалейчик и М. Лазарева). В монтаже участвовал магистрант кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ Т. Мусаев.

На выставке «110 лет с начала экспедиций Переселенческого управления» (автор с.н.с. ЦМП им. В.В. Докучаева Е.А. Русакова) были представлены материалы, рассказывающие об изучении почв Азиатской России от Урала до Тихого океана и от Северного Ледовитого океана до южного Туркестана (Самаркандская, Ферганская и Сырдарьинская области) в 1908–1914 гг. Участие почвоведов в работе Переселенческого управления является блестящим образцом того, как практические потребности государства дали толчок развитию почвоведения в России.

Открытие конференции традиционно состоялось 1 марта в Актовом зале здания Двенадцати коллегий Санкт-Петербургского государственного университета.

Пленарное заседание открыл председатель оргкомитета конференции, профессор, д.с.-х.н. Б.Ф. Апарин. С приветственными словами к молодым юношам и девушкам обратились: директор Института наук о Земле СПбГУ, вице-президент Русского географического общества, д.г.н., профессор К.В. Чистяков; председатель Центрального совета МОО «Природоохранный союз», член-кор. РАЕН, академик РАЭ, профессор, д.б.н. В.М. Тарбаева.

Серию Пленарных докладов открыла доцент кафедры агроинформатики факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, с.н.с. Института географии РАН, к.б.н. О.В. Андреева с докладом «Достижение нейтрального баланса деградации земель: Российский и международный опыт».

Последующие 5 докладов были сделаны молодыми учеными, аспирантами из разных регионов России:

- *С.М. Горохова*, аспирант Пермского государственного аграрно-технологического университета им. академика Д.Н. Прянишникова (Пермь) «Магнитные сферулы в агрогенных почвах Среднего Предуралья».

- *С.Н. Сушкова*, к.б.н., с.н.с. Южного федерального университета (Ростов-на-Дону) «Качественный и количественный состав полициклических ароматических углеводов в системе почва–донные отложения зоны аэротехногенного загрязнения».

- *Д.М. Кузьмина*, магистрант Томского государственного университета (Томск) «Экологическая характеристика хасыреев южной тундры Западной Сибири разных эволюционных стадий».

- *В.М. Пискарева, Т.С. Кошовский*, студенты МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва) «Влияние локальных факторов на углеводородное состояние почв при атмогенном загрязнении».

- *С.С. Огородников*, аспирант МГУ им. М.В. Ломоносова (Москва) «Устойчивое развитие регионов России (на примере Тульской области)».

Темы для пленарных докладов были предложены членами редколлегии и оргкомитета.

Важным событием для участников конференции было посещение Смоленского кладбища и возложение цветов на могилы основателя науки о почве В.В. Докучаева, его супруги Анны Егоровны и ее матери А.И. Синклер. Молодые участники конференции подчеркнули, что идеи В.В. Докучаева о значении науки о почве в повышении эффективности сельского хозяйства России и сегодня чрезвычайно актуальны. Возложение цветов на могилу основателя науки о почве было актом памяти и преклонения перед выдающимся ученым.

В ЦМП им. В.В. Докучаева с 11:00 до 15:00 состоялось заседание школьной секции «Почва в нашей жизни» (председатель: магистрант кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ, Я.С. Ревина). Школьная секция традиционно проходит в Музее почвоведения в первый день конференции в течение последних тринадцати лет.

На заседании секции присутствовали 19 участников из Санкт-Петербурга, Петергофа, Москвы, Воронежской, Иркутской, Ярославской областей, Уфы. Всего было заслушано 13 докладов. Хочется отметить неугасающий интерес к нашей конференции у школьников Петродворцового района, которые в очередной раз преобладали среди участников из Санкт-Петербурга.

На секции обсуждались вопросы токсичности почв, ее индикации и оценки, изучения биорастительных свойств почв урбоэкосистем, улучшения качества почвогрунтов парков с целью повышения продуктивности экосистемы в целом, экологического состояния городских прудов; а также материалы исследований почв пастбищ, пашни, особо охраняемых природных территорий и результаты лабораторных экспериментов по устойчивости культур к изменению условий окружающей среды.

Вечером в ЦМП им. В.В. Докучаева состоялось заседание круглого стола на тему «Увлечательно о почве» (модератор: директор ЦМП им. В.В. Докучаева, к.б.н., Е.Ю. Сухачева; председатель: магистрант кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ, Т.К. Мусаев).

Целями заседания являлись обмен опытом популяризации почвоведения, имеющимся в учреждениях, где учатся и работают участники Докучаевских молодежных чтений, а также личным опытом.

На заседании рассматривались:

а) формы, методы, средства, субъекты, языки, каналы, способы популяризации с учетом возраста аудитории (особенно школьников);

б) вопросы роли и места социальных сетей в популяризации знаний о почве.

Участники активно делились своим опытом. Выступали с презентациями даже школьники. Также была затронута тема законодательства и нормативных документов в сфере охраны почв.

После окончания заседания для участников Круглого стола выступили молодежный ансамбль «Верни» и сотрудники кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ с мини-концертом «О чем поют почвоведы».

В этом году, помимо открытия конференции, впервые велась онлайн трансляция работы школьной секции, а также Круглого стола. Зрителями стали участники, которые не смогли участвовать лично в конференции – студенты и аспиранты кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ, студенты и сотрудники других организаций.

1, 2 и 3 марта на кафедре почвоведения и экологии почв СПбГУ состоялись заседания студенческих секций:

1. Почва – зеркало и память ландшафта.
2. Рекультивация и ремедиация почв.
3. Минеральная матрица почв и ее изменение под антропогенным воздействием.
4. Законодательство в сфере охраны и защиты почв. Нормативные требования.
5. Междисциплинарные методы в исследовании почв.

Секция «Биология почв. Невидимое в видимом» прошла 2 марта на кафедре агрохимии СПбГУ.

В студенческих секциях больше всего участников было из Москвы – 68 человек (МГУ им. М.В. Ломоносова, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Российский университет дружбы народов, Институт географии РАН, Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН). Санкт-Петербург представляли 31 участник (СПбГУ, ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева, Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, Ботанический институт им. В.Л. Комарова РАН, ФГБОУ ВПО РГПУ им. А.И. Герцена). Ростов-на-Дону – 14 участников (Южный федеральный университет, ФГБНУ Донской зональный НИИ сельского хозяйства). Пушкино – 11 участников (Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пушкинский государственный естественно-научный институт). Пермь – 8 участников (Пермский государственный аграрно-технологический университет им. академика Д.Н. Прянишникова, Пермский государственный национальный исследовательский университет). Архангельск – 5 участников (Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова). Иркутск и Томск – по 4 участника (Иркутский и Томский государственные университеты). Казань и Кызыл – по 3 участника (Казанский (Приволжский) федеральный университет, Тувинский государственный университет).

Также приехали участники из Калининграда (Калининградский государственный технический университет), Красноярска (Красноярский государственный аграрный университет), Новосибирска (Институт почвоведения и агрохимии СО РАН), Ставрополя (Ставропольский государственный аграрный университет), Сыктывкара (Институт биологии Коми НЦ Уральского отделения РАН), Минска (Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси), Актобе (Казахский национальный аграрный университет), Алматы (Казахский НИИ почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова).

Председателями студенческих секций были: аспиранты (Ю.В. Симонова, А.М. Булышева) и студенты (Е.В. Фомина, В.А. Игумнова, А.А. Воеводская, Г.Д. Холостов, Т.К. Мусев, К.А. Лукина) кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ; а также аспиранты, научные сотрудники ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева (Е.В. Мингареева, М.А. Лазарева).

Кураторами секций являлись: профессора (д.г.н., А.В. Русаков, д.с.-х.н., Н.Н. Матинян, д.б.н., С.Н. Чуков), доценты (к.с.-х.н., К.А. Бахматова, к.б.н., Н.Н. Федорова, к.б.н., О.В. Романов) и научный сотрудник И.В. Штангеева кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ; профессор, д.б.н., Н.П. Битюцкий, а также доцент, к.б.н., К.Л. Якконен кафедры агрохимии СПбГУ; ведущий научный сотрудник ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева, Е.В. Пятин.

В ходе заседания секции «Почва – зеркало и память ландшафта» (председатели: студенты В.А. Игумнова, Г.Д. Холостов; кураторы: профессор А.В. Русаков, н.с. И.В. Штангеева) был заслушан 41 доклад. На секции помимо докладчиков присутствовали и слушатели, участвовавшие в дискуссиях. География участников секции охватывала следующие города: Москва, Пушкино, Санкт-Петербург, Красноярск, Архангельск, Новосибирск, Иркутск, Томск, Ростов-на-Дону, Казань.

В обсуждениях были затронуты такие вопросы, как: загрязнение почв тяжелыми металлами; генезис серых лесных почв; использование знаний о почве в сельском хозяйстве, как путь улучшения качества урожая и сохранения баланса почв; связь атмосферных осадков с водным режимом почв; влияние рубок на почвенный покров; использование фитолитного анализа в изучении генезиса почв; характеристика гипсовых новообразований в почвах; исследование структуры почвенного покрова; география засоленных почв; особенности морфогенеза криоаридных почв, мониторинговые исследования почв; изучение физических и химических свойств, органического вещества почв.

Особенно интересным, как по мнению участников, так и оргкомитета конференции, оказался доклад Ю.В. Конопляниковой (МГУ им. М.В. Ломоносова) «Криоаридные почвы Юго-Восточного Алтая: особенности морфогенеза в ландшафтно-высотном ряду». Действительно, как известно, вопросы криоаридных почв, а так же генезиса и морфологии палеометаморфического горизонта (BPL), достаточно сложные и малоизученные. Ю.В. Конопляникова наиболее полно раскрыла данные вопросы в ходе своего доклада и дала надежду на дальнейшее плодотворное изучение этих проблем.

Наиболее ярким оказался доклад научного сотрудника ФГБУН ИПА СО РАН, Д.А. Гаврилова «Эволюция почв со сложным строением органофилия юга Западной Сибири по данным фитолитного анализа», получившего высокую оценку членами оргкомитета.

Также были выделены интересные работы А.Э. Папкиной (МГУ им. М.В. Ломоносова) «Морфологические и физико-химические свойства палеопочв, их связь с изменением климата на территории Южного Приуралья во второй половине голоцена», А.Е. Попова (ФГБНУ «ДЗНИИЭСХ») «Динамика элементов питания в черноземе обыкновенном под плодовыми культурами при внесении гуминового препарата ВЮ-Дон», В.А. Степановой (ФГБУН ИПА СО РАН) «Биоиндикационные исследования почв некоторых болот лесостепи Западной Сибири», Ю.А. Головлевой (МГУ им. М.В. Ломоносова) «Трансформация криометаморфических почв Западно-Сибирской равнины в результате потепления климата».

Все участники представили интересные, достаточно сильные и хорошо проработанные доклады. Отдельно хотелось бы отметить профессиональную подготовку докладчиков из МГУ им. М.В. Ломоносова, их четкие, лаконичные доклады и прекрасно сделанные презентации, как в техническом плане, так и в плане информативности.

В ходе заседания секции «Рекультивация и ремедиация почв» (председатель: магистрант, Т.К. Мусаев; кураторы: профессор С.Н. Чуков и доцент О.В. Романов) было заслушано 13 докладов участников из различных регионов России: Москва, Ростов-на-Дону, Санкт-Петербург, Пермь, Пущино, Кызыл; а также 1 доклад участника из Казахстана.

Обсуждались вопросы оптимизации роста и развития газонных трав, уменьшения антропогенной нагрузки, загрязнения почв (тяжелыми металлами, нефтепродуктами, углеводородами и транспортной пылью), мониторинга почв, применения сорбционной химической и фиторемедиации почв, внесения удобрений, извести.

Выделены лучшие доклады: А.А. Фроловой (ЮФУ) «Изменение морфобиометрических характеристик лука при загрязнении медью, с последующей сорбционной биоремедиацией биочаром», Л.В. Зиннатшиной (ПушГЕНИ) «Влияние натуральных сорбентов на деградацию нефти и аккумуляцию ПАУ в нефтезагрязненной серой лесной почве», Е.А. Кингсеп (МГУ им. М.В. Ломоносова) «Солевая нагрузка на придорожные газоны в окрестностях Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова».

На секции «Минеральная матрица почв и ее изменение под антропогенным воздействием» (председатели: аспирант М.А. Лазарева, студент А.А. Воеводская; кураторы: доцент К.А. Бахматова, профессор Н.Н. Матинян) было заслушано 20 докладов участников из Москвы, Архангельска, Перми, Иркутска, Пущино, Калининграда, Архангельска. В заседании участвовали 32 человека.

Рассматривались вопросы трансформации почвенных минералов, изменения почв в условиях антропогенного воздействия (загрязнение, нефтедобыча, применение удобрений, эрозия, строительство), влияния геологического фактора на состояние почв, оптимизации агротехнических приемов в адаптивно-ландшафтной системе земледелия, динамики биогенных элементов как индикаторов антропогенного воздействия.

Были выделены доклады: А.А. Воробьевой (МГУ им. М.В. Ломоносова) «Краткосрочная трансформация триоктаэдрической слюды в горизонте AEL подзолистой почвы», Н.В. Усковой (РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева) «Агроэкологическая оценка гумусового состояния и физико-химических свойств дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в длительном стационарном эксперименте», А.Д. Иовчевой (МГУ им. М.В. Ломоносова) «Редкоземельные элементы в почвах Центрально-Лесного Государственного Природного Биосферного заповедника», М.В. Хмелевой (МГУ им. М.В. Ломоносова) «Структура и водостойчивость агрегатов черноземов Курской области при разном антропогенном воздействии», Е.А. Дзюба (ПГНИУ) «Содержание тяжелых металлов в почвах карстового района нефтедобычи (Лог «Арапов ключ», Ординский район, Пермский край)», Д.В. Фомичевой (МГУ им. М.В. Ломоносова) «Динамика темпов аккумуляции твердофазного вещества почв в подчиненных ландшафтах (Тульская обл.)». Данные доклады отличались высоким уровнем профессионализма, актуальностью исследования, логичностью изложения материала, обоснованностью задач и выбора методов исследования, четкостью выводов, хорошим оформлением результатов исследования.

Особый интерес и активную дискуссию участников конференции, в связи с актуальностью и ясностью поставленной темы, вызвал доклад А.В. Каминской (ИГУ) «Эрозионные процессы на мысе Бурхан о. Ольхон (Предбайкалье)»

На секции «Законодательство в сфере охраны и защиты почв. Нормативные требования» (председатель: студент А.А. Воеводская; куратор: доцент Н.Н. Федорова) было заслушано 6 докладов. В ходе заседания секции 1 доклад был сделан участником из Перми, все остальные – участниками из Москвы.

Рассматривались вопросы эколого-экономической оценки земель, нормирования состояния окружающей среды, выявления объектов, имеющих особую ценность, охраны почв и рационального землепользования.

Как наиболее информативные и значимые в научном плане выделены доклады: И.Е. Шестакова (ПГНИУ) «Итоги работ по выявлению ценных почвенных объектов на территории Пермского края», С.С. Огородникова (МГУ им. М.В. Ломоносова) «Методики рационального землепользования для обеспечения устойчивого развития сельских территорий средней полосы России (на примере Тульской области)», Л.С. Щербаковой (МГУ им. М.В. Ломоносова) «Эколого-экономическая оценка деградации земель агрохозяйства Тульской области (на примере Тульского НИИСХ)».

На секции «Междисциплинарные методы в исследовании почв» (председатель: аспирант Ю.В. Симонова; куратор: в.н.с. Е.В. Пятина) был заслушан 21 доклад участников из Санкт-Петербурга, Москвы, Ростова-на-Дону, Казани, Томска, Сыктывкара.

Рассматривались вопросы использования различных методов в исследовании почв (рентгенофлуоресцентный и споро-пыльцевой анализы, органическое земледелие с учётом специфики агроэкологических условий, дешифрирование спутниковых снимков, ГИС-технологии), проведения лабораторных экспериментов, информационно-методического обеспечения продукционного процесса сельскохозяйственных культур, изменения свойств почв и растительности.

Выделены наиболее сильные и профессионально подготовленные доклады: Л.А. Шмелёва (МГУ им. М.В. Ломоносова) «Развитие методов почвенной картографии: история вопроса и современное состояние», А.В. Чинилина (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева) «Минералогический состав агрочернозёмов Среднерусской возвышенности и его влияние на цвет поверхности почв», Т.С. Дудниковой (ЮФУ) «Экстракция бенз(а)пирена из почв техногенно-загрязнённых территорий субарктической водой».

На секции «Биология почв. Невидимое в видимом» (председатель: студент К.А. Лукина; кураторы: профессор Н.П. Битюцкий, доцент К.Л. Якконен) было заслушано 25 докладов. В работе секции участвовали не только докладчики, но и гости конференции, а также студенты и сотрудники кафедры агрохимии СПбГУ, активно вступавшие в дискуссии. Участники были из разных регионов России: Москва, Санкт-Петербург, Ростов-на-Дону, Пушкино, Кызыл, Ставрополь, Иркутск, Рязань.

Тематика докладов была разнообразной: биологическая активность почв и влияние на неё различных факторов, трансформация органических веществ в почве, изучение почвенной биоты, действие химических веществ на растения, математическое моделирование биологических процессов в почвах, диагностика питания растений.

Все доклады соответствовали тематике секции и были представлены на высоком уровне. Особенно понравились доклады: А.Г. Зуева (МГУ им. М.В. Ломоносова) «Возрастная динамика изотопного состава (^{13}C и ^{15}N) эктомикоризных грибов», А.И. Морозовой (МГУ им. М.В. Ломоносова) «Дрожжевые грибы в тропических экосистемах», И.А. Ганичева (СПбГУ) «Диагностика обеспеченности растений азотом и железом с использованием метода импульсной флуориметрии хлорофилла», А.М. Сухачевой (МГУ им. М.В. Ломоносова) «Экофизиологические особенности кишечного сообщества диплопод», Ш.К. Донгак и А.А. Куулар (Тувинский государственный университет) «Биологическая оценка тувинских каштановых агропочв» и Н.П. Черниковой (ЮФУ) «Влияние меди на морфобиометрию и ультраструктуру клеток корня ячменя».

Отмечена тенденция к росту числа докладов на секции, посвященной проблемам биологии почв и агрохимии, с каждым годом Докучаевских молодежных чтений, что свидетельствует о возрастающем интересе студентов, аспирантов, молодых исследователей к биологическим проблемам почвоведения, современным вопросам агрохимии, земледелия и биологии почв.

Помимо секций с гласными докладами традиционно была организована стендовая секция (председатель: аспирант Е.В. Мингареева; куратор: доцент О.В. Романов). На секции было заслушано 12 докладов участников из Санкт-Петербурга, Москвы, Ростова-на-Дону, Архангельска, в том числе от иностранных участников (Казахстан, Белоруссия).

Тематика докладов была разнообразной. Рассматривались вопросы: выявления зон техногенной нагрузки с применением современных методов (ГИС-технологии и данные дистанционного зондирования), мониторинга и почвенно-экологической оценки земель, разнообразия почв городских территорий, апробации различных методов (лабораторный эксперимент, применение современных компьютерных программ) с целью улучшения гидрологических свойств почв, активности почвенных микроорганизмов и ферментов, обеспеченности почв элементами пищевого режима, необходимыми для возделывания сельскохозяйственных культур.

По итогам секции выделены наиболее сильные, информативные, хорошо поданные и оформленные доклады: А.В. Бузылева (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева) «Возможность выявления зон техногенной экологической напряженности на территории Полевой опытной станции РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева с применением ГИС-технологий и дистанционных данных», Н.Б. Захаровой (СПбГУ) «Микроорганизмы ассоциированные с миксомицетами в лесном биоценозе», Р.С. Гиневского и В.А. Лазарева (СПбПУ Петра Великого) «Искусственный «эффект помпы» в модели гистерезиса водоудерживающей способности почвы и его предотвращение».

Всего на конференции было заслушано 157 докладов, из них 6 – на Пленарном заседании, 13 – на школьной секции.

На закрытии конференции 3 марта выступили с подведением итогов: председатель оргкомитета, профессор, д.с.-х.н. Б.Ф. Апарин; ответственный секретарь, А.М. Булышева; а также председатели и кураторы секций. Был отмечен высокий методический уровень выполненных участниками исследований и актуальность затронутых тем.

Председателями и кураторами секций озвучены выделенные по результатам секционных заседаний научные выступления. Отмеченные доклады, а также пленарные сообщения были рекомендованы к опубликованию в виде статей в периодическом издании СПбГУ и ЦМП им. В.В. Докучаева «Материалы по изучению Русских почв» (выпуск 11 (38)), а их авторы награждены дипломами и памятными подарками. Впервые был организован конкурс на лучший доклад среди иностранных участников с последующим вручением диплома докладчику Ж. Саркуловой. Всем докладчикам были выданы сертификаты участников «Докучаевских молодежных чтений», дизайн которых разработан аспиранткой кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ М.К. Захаровой.

Все выступившие отметили хорошую организацию конференции и единогласно постановили:

- выразить благодарность участникам оргкомитета за организацию XXI Докучаевских молодежных чтений;
- поблагодарить Российский фонд фундаментальных исследований за финансовую поддержку конференции;
- продолжить традицию проведения ежегодных «Докучаевских молодежных чтений» и просить кафедру почвоведения и экологии почв СПбГУ и ЦМП им. В.В. Докучаева организовать XXII Докучаевские молодежные чтения в 2019 году;
- рекомендовать оргкомитету начать подготовку к следующим «Докучаевским чтениям» сразу же после окончания этой конференции.

К началу конференции были опубликованы программа и материалы XXI Докучаевских чтений. Все материалы, фото и видео с конференции размещены на сайтах: «Докучаевские молодежные чтения»: (<http://www.dokuchaevskie.ru/>), «Кафедра почвоведения и экологии

почв СПбГУ» (<http://soil.spbu.ru/>), «Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева» (<http://музей-почвоведения.рф/>), «Почвовед.рф» (<http://почвовед.рф/>); а также в группах социальной сети ВКонтакте «Молодежные Докучаевские чтения» (<https://vk.com/club2152594>) и «На Почве» (<https://vk.com/onsoil>).

В этом году аспирантом, н.с. ЦМП им. В.В. Докучаева, М.А. Лазаревой созданы группы и размещена информация о Докучаевских чтениях на новых платформах в социальных сетях: Facebook – «Докучаевские молодежные чтения» (<https://www.facebook.com/groups/299055950621291/>); Instagram – «dokuchaevskie.spb» (<https://www.instagram.com/dokuchaevskie.spb/>).

Материалы
Международной научной конференции
XXI Докучаевские молодежные чтения
«Почвоведение – мост между науками»

Пленарные доклады

28 февраля – 3 марта 2018 г.
Санкт-Петербург

ПОЧВЕННЫЕ РЕСУРСЫ РОССИИ – СОВРЕМЕННЫЕ ВЫЗОВЫ

В.С. Столбовой

Заведующий отделом Единого государственного реестра почвенных ресурсов,
ФГБНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва,
vladimir.stolbovboy@gmail.com

Переход страны на цифровую инвентаризацию почвенных ресурсов открывает возможность их многоцелевого технологического анализа. Показано, что почвенные ресурсы для экстенсивного развития сельскохозяйственного производства в России практически исчерпаны. Качество почв для производства зерновых культур оценено как среднее. Вместе с тем, почвенные ресурсы страны обладают огромными возможностями устойчивой интенсификации сельскохозяйственного производства, что в перспективе увеличения дефицита продовольствия в Мире, связанного с ростом народонаселения, приведет к усилению глобальной роли России, как производителя сельскохозяйственной продукции.

Россия обладает значительными климаторегулирующими почвенными ресурсами. Консервация пахотных земель, начатая в 90-х годов прошлого века, привела к 27-летнему накоплению в почвах около 0.8–1.2 ГтС. Это количество эквивалентно поглощению из атмосферы около 3.3–4.4 ГтС-СО₂ (углекислого газа), что составляет 20–24 % глобального накопления углерода в почвах. Накопленный в России опыт управления гумусовым состоянием почв должен быть востребован для решения вызовов, связанных с изменением климата, например, через активное участие в международной инициативе «4 промилле».

Современное повышение температуры и осадков на территории страны приводит к ежегодному накоплению около 76±32 МтС в почвах. Это эквивалентно поглощению из атмосферы почти 280 Мт С-СО₂ в год. Исследование не подтверждает гипотезу о том, что современные климатические изменения конвертируют почвы России в источник эмиссии парниковых газов.

Ключевые слова: почвенные ресурсы, качество почв, климатические изменения, углерод почв

ВВЕДЕНИЕ

Почвы поддерживают жизнь на планете. Они выполняют важнейшие экосистемные и социально-экономические функции/сервисы. Среди главных функций выступают обеспечение продуктивности сельского хозяйства, лесов и природных биоценозов, регулирование процессов обмена веществом и энергией между наземными экосистемами, атмосферой, гидросферой и литосферой, обеспечение качества поверхностных и грунтовых вод, химический состав атмосферы, поддержание биоразнообразия и др. Качество жизни населения во многом зависит от полноты и экологической допустимости использования перечисленных выше функций. Это тесно связано с уровнем наших знаний, как отдельных функций, так и их сложных системных взаимодействий.

Начавшееся в 90-х годах XX века формирование в России рынка земли, упрощенная монетизация понимания, отмеченной выше роли почв, привели к снижению внимания общества к изучению почвенных ресурсов в нашей стране. Следствием, наряду с другим, было упразднение земельно-устроительной службы, которая была одним из главных государственных потребителей почвенных данных, обслуживающих охрану и рациональное использование почвенных ресурсов. Однако, дальнейшее развитие показало, что снижение внимания общества к почвенным ресурсам было ошибочным. К такому выводу приводит наблюдающаяся активизация публичных обсуждений земельных вопросов, развитие законодательной базы регулирования использования земель и другие факты. Сейчас становится ясным, что основными движущими силами повышения востребованности знаний о почвенных ресурсах выступают внутренние запросы страны в области решения проблем национальной продовольственной и экологической безопасности, признание последних частью национальной безопасности государства. В подтверждение, отметим принятие жизненно важных государственных документов, включая доктрину продовольственной безопасности Российской Федерации, Государственную программу развития сельского хозяйства ..., программу технической и технологической модернизации, инновационного развития, программу социального развития села и устойчивого развития сельских территорий, Федеральную программу сохранения и восстановления плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения, про-

грамму развития мелиорации земель, программу мониторинга земель сельскохозяйственного назначения России и др. Очевидно, что выполнение перечисленных программ развития страны требует анализа почвенных ресурсов с тем, чтобы оценить на сколько запасы и качество почв позволяют реализовать намеченные планы.

В дополнение к национальным потребностям знаний о почвенных ресурсах существенную роль играют и внешние глобальные запросы. Это касается проблем планетарного регулирования изменений окружающей природной среды и изменения условий существования человечества, которые сформулированы в глобальных конвенциях по устойчивому развитию (РИО+20), изменению климата, биоразнообразию, опустыниванию и др. Ратифицировав эти международные соглашения, РФ взяла на себя обязательства по их выполнению. В отношении почвенных ресурсов на первое место выступают международные программы смягчения дефицита продовольствия и оценка потенциала увеличения сельскохозяйственного производства для обеспечения растущего населения планеты. Согласно прогнозам ООН, приближение к 9-миллиардной численности населения к 2050 году, приведет к развитию критического дефицита продовольствия. Перед почвенным научным сообществом это ставит вопросы о количестве, качестве и эффективности использования почвенных ресурсов. Отметим, что эти вопросы не являются новыми на глобальном уровне. Так, инвентаризации и качеству почвенных ресурсов были посвящены усилия по созданию почвенной карты Мира [25] и оценке антропогенной деградации почв [21], которая сдерживает увеличение сельскохозяйственного производства.

Относительно новым аспектом является оценка климаторегулирующего ресурса почв. В настоящее время, общепризнанна существенная роль почв в углеродном цикле планеты, формировании химического состава атмосферы, концентрации биофильных парниковых газов и др. Очевидно, что оценка климаторегулирующего потенциала почв – одна из актуальных задач изучения почвенных ресурсов страны. Действительно, занимая около 12 % почвенного фонда планеты, политика и практика углерод-сберегающих технологий использования почвенных ресурсов в России имеют не только национальное, но также огромное глобальное значение.

Целью настоящего сообщения является демонстрация результатов анализа почвенных ресурсов России в связи с решением перечисленных выше актуальных социально-экономических и геосферно-биосферных задач.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа построена на последних разработках цифровой инвентаризации почвенных ресурсов России и применения подходов целевого анализе новой базы пространственно-распределенных почвенных данных средствами современных информационных технологий.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Современный этап развития почвоведения в Море связан с прорывным внедрением цифровых технологий. Поворотным, в этом процессе, моментом для нашей страны является принятие Единого государственного реестра почвенных ресурсов России [4]. ЕГРПР выступает не только первым государственным (законодательно утвержденным) почвенным информационным ресурсом, но также знаменует переход анализа почвенных ресурсов в цифровой формат, сопоставимый с международными стандартами и форматами ведущих стран, включая Европейский Союз, США, Канаду, Австралию и др. Действительно, ЕГРПР является пространственно-распределенной (географической) базой почвенных данных, представляющих почвы и почвенный покров всей территории страны. Семантическая (описательная) часть базы данных ЕГРПР состоит из 205 названий индивидуальных почв, 95 имен почвенных комплексов, 380 наименований свойств почв и 3019 значений свойств почв, а также 607 методов изучения свойств почв. Отметим, что только морфогенетическое описание почв ЕГРПР [9] состоит из 109 показателей, включая: 27 наименований факторов почвообразования, 8 показателей описания профиля почвы, 44 показателей описания горизонтов и 30 пока-

зателей описания морфонов. Рассмотренный объем комплексного описания/характеристик почв соединен с 25711 полигонами, которые формируют пространственную геометрическую часть базы данных ЕГРПР.

В развитие международных подходов, ЕГРПР впервые предложил информационно-математическую модель описания/характеристики почв, представляющую логический ряд, в котором каждый почвенный объект (морфон, горизонт, профиль и др.) описывается ассоциированным массивом свойств почв, а почва в целом – деревом ассоциированных массивов значений свойств почв в пространстве почвенных объектов:

$$\Pi = \Sigma(V[pID][p,0,0]) + \Sigma(V[hID][p,h,0]) + \Sigma(V[eID][p,h,e]) + \Sigma(V[sID][p,h,s]),$$

где Π – почва; V – значение показателя свойства почвы; $[pID]$, $[hID]$, $[eID]$, $[sID]$ – идентификационные индексы ID показателя свойства почвы, соответствующего типа объекта (p – профиль, h – горизонт, e – морфологический элемент, s – образец); $[p,0,0]$, $[p,h,0]$, $[p,h,e]$, $[p,h,s]$ – хранимые индексы множеств почвенных объектов: профиля $\{pID \mid pID(ObjectTypeID=P)\}$, горизонта $\{hID \mid hID(ObjectTypeID=H)\}$, морфологического элемента $\{eID \mid eID(ObjectTypeID=E)\}$, образца $\{sID \mid sID(ObjectTypeID=S)\}$.

Информационно-математическая модель, как новая генерация цифровой интерпретации, позволяет устанавливать и выражать связи между объектами строения почвы и их показателями через формальные логические отношения. Точное позиционирование каждого объекта почвенных данных в цифровом формате ЕГРПР предоставляет возможность восстанавливать почвенные описания в визуально-доступной текстовой форме без потерь и искажения информации. При этом диагностика авторского описания контролируется и поддерживается полнотой метаданных, описывающих предметную область почвоведения, т.е. *УНИВЕРСУМом* космоса почв (педосферы), включающим всё множество почвенных объектов, описанных исчерпывающим разнообразием почвенных свойств.

Новая генерация цифрового представления о почве в системе пространственно-распределенных почвенных характеристик выступает основой для, демонстрирующихся ниже, расчетно-технологичных подходов практических интерпретаций.

Обновленная база данных показателей качества почв (БДПКП) России.

Вместе с тем, пространственная резолюция базы данных ЕГРПР соответствует географическому масштабу 1:2 500 000, что не всегда достаточно для практического решения отдельных целевых задач анализа земель сельскохозяйственного назначения, например, оценка качества почв, кадастровая оценка и др. В 2017 году завершено обновление базы данных ЕГРПР, направленное на его детализацию на основе включения данных IV-го тура крупномасштабных (1:10 000 и 1:25 000) почвенных обследований и более поздних данных мониторинга земель сельскохозяйственного назначения.

В общем виде структура обновленной БДПКП представлена на рис. 1. БДПКП включает все необходимые данные для определения агроклиматического потенциала почв, свойств, определяющих их качество (содержание гумуса, мощность гумусового горизонта, содержание физической глины, а также показателей негативно влияющих на плодородие почв, таких как оглеение, подтопление, эрозия, засоление, солонцеватость и др.). Общее число полученных пространственных/территориальных почвенно-оценочных единиц новой БДПКП составляет 57 678.

Почвенный фонд Российской Федерации

База данных ЕГРПР открывает новые возможности цифрового анализа географии почв. В обобщенном виде, пространственное размещение ареалов основных типов почвообразования¹ в России представляется весьма мозаичным (рис. 2). Это связано с известной эмергентностью обособления почвенных тел по отношению как к отдельным почвообразователям (температура, осадки, растительность, почвообразующие породы, рельеф и пр.), так и к их совокупному взаимодействию.

¹Согласно классификации почв В.М. Фридланда (1982), соответствует таксономическому уровню отдел.

Отсутствие строгой зонально-полосной картины географии почв предполагал и В.В. Докучаев, который писал: «уже *a priori* нужно было ожидать, что горизонтальные почвенные и естественные материковые зоны должны, там и здесь, претерпевать более или менее существенные отклонения и нарушения их идеальной правильности» [3].



Рисунок 1. Структура БДПКП. Семантическая часть включает перечень и описание объектов (прямоугольники) и их взаимосвязей (стрелки). Геометрическая часть представлена полигонами объектов. Стрелки обозначают форму связи: 1:M – одна почва ЕГРПР может встречаться во многих территориальных почвенно-оценочных единицах; 1:1 означает, что только одна агроклиматическая провинция может быть в одной территориальной почвенно-оценочной единице.



Рисунок 2. Почвы России [27].

Не останавливаясь на деталях распространения отдельных типов почвообразования отметим, что основной чертой климатических условий почвообразования на территории России¹ выступает доминирование холодного гумидного климата (табл. 1). Так анализ термических условий формирования почв России показывает, что 1406.3 млн га (89 %) площади почв страны находятся в холодной зоне, имеющей среднегодовую температуру ниже 0 °С (табл. 1). Такие температурные условия соответствуют полярному, бореальному и холодному климатам, принятым ФАО (FAO, 1993) или континентальному субарктическому (бореальному) и полярному субарктическому и арктическому типам климата по В.Н. Кёппену [19]. В пределах холодной зоны, около 1018 млн га (72 %) занимает зона со среднегодовыми температурами ниже –4.7 °С, что характерно для районов распространения вечной мерзлоты. Доля таких почв в почвенном фонде России составляет около 64 %.

Таблица 1. Структура земельного фонда и его сельскохозяйственное использование.

Типы почвообразования	Земельный фонд		Среднегодовые значения		Доля использования почв в сельском хозяйстве, %
	Млн га	%	Температура, °С	Осадки, мм	
Al-Fe-гумусовые	364.8	22	–7.2	503	н.о.
Глееземы	249.9	15	–8.4	416	н.о.
Текстурно-дифференцированные	248.6	15	–0.7	564	27
Метаморфические	212.6	13	–4.7	565	н.о.
Гумусово-аккумулятивные	163.5	10	1.8	479	66
Органогенные	116.2	7	–4.2	509	н.о.
Дерновые органо-аккумулятивные	92.4	6	–7.1	449	н.о.
Аллювиальные	54.2	3	–5.2	390	26
Маломощные слаборазвитые	34.5	2	–4.7	429	н.о.
Вулканические	14.5	1	–2.7	610	н.о.
Щелочные глинисто-дифференцированные	12.5	1	2.2	454	78
Криоземы	9.4	1	–12.1	287	н.о.
Литоземы	7.2	<1	–2.5	528	н.о.
Малогумусовые аккумулятивно-карбонатные	4.4	<1	9.1	219	83
Галоморфные	2.0	<1	–0.9	323	н.о.
Почвенный фонд, включая:	1586.7	93	н.о.*	н.о.	13
<i>холодные</i>	1406.3	89	< 0 °С	н.о.	н.о.
<i>теплые</i>	182.4	11	> 0 °С	н.о.	н.о.
Непочвенные образования	122.8	7	н.о.	н.о.	н.о.
Земельный фонд	1709.8	100	н.о.	н.о.	н.о.

*не определялось

Большая часть почв России развивается в зоне увлажнения с количеством осадков в пределах 400–600 мм в год (табл. 1). Вместе с тем, холодные термические условия снижают эвапотранспирацию и отмеченного количества атмосферных осадков хватает для формирования промывного типа водного режима почв. Такой режим увлажнения характерен для более 80 % почв страны. Следствием промывного водного режима является развитие кислых почв и отсутствие аккумуляции карбонатов и легкорастворимых солей. Другим следствием, выступает интенсивная миграция карбоновых кислот, которые образуются в результате каталитических окислительно-восстановительных реакций разложения растительных остатков.

¹ Определено на основе баз данных «Земельные ресурсы России» (Stolbovoi, McCallum, 2002).

Часть карбоксильных анионов (COO^-) этих кислот взаимодействуют с почвообразующими породами и выпадает в осадок, образуя иллювиально-гумусовые горизонты. Другая часть создает водорастворимые комплексы с выделяющимися при выветривании катионами металлов и насыщает внутренние воды. В результате, все рыхлые отложения холодногумидной зоны содержат то или иное количество органического вещества.

Холодный климат обуславливает глубокое зимнее промерзание и замедленное прогревание и оттаивание почв в весенне-летний период. Эти условия определяют формирование поверхностной корневой системы растений и, соответственно, обеспечивают поверхностное поступление и трансформацию растительных остатков. В результате практически все почвы, развивающиеся в условиях холодного климата России, имеют хорошо выраженные подстилки, представленные слаборазложившимися оторфованными растительными остатками.

Товарное сельскохозяйственное производство получило развитие на 13 % площади почвенного фонда страны. При этом резервы гумусово-аккумулятивных (черноземы, каштановые) почв используются на 66 %, что свидетельствует об их чрезмерно интенсивной эксплуатации. Фонд текстурно-дифференцированных (дерново-подзолистых) почв распаивается на 27 %, что показывает теоретически возможное расширение их использования. Однако, в настоящее время эти почвы находятся под лесами и конвертация лесов в пашню ограничена международными конвенциями. Отмечается чрезмерно интенсивное использование резервов щелочных глинисто-дифференцированных (солонцовых) и малогумусовых аккумулятивно-карбонатных (бурые полупустынные) почв, составляющее 78 % и 83 %, соответственно. Эти почвы используются под пастбища и требуют снижения пастбищной нагрузки. Анализ почвенно-климатических условий страны и современный ареал их использования показывают, что Россия, несмотря на огромный земельный фонд, имеет ограниченные ресурсы почв пригодных для экстенсификации сельскохозяйственного производства.

Качество почв сельскохозяйственных угодий

Министерство Экономического Развития (МЭР) РФ утвердило «Методические указания о проведении государственной кадастровой оценке» (Приказ МЭР РФ № 226 от 12 мая 2017 года). В части земельных участков сегмента «Сельскохозяйственное использование», отмеченные Методические указания рекомендуют (стр. 55) проводить оценку с использованием, принятого МСХ РФ в 2014 году, Единого Государственного Реестра Почвенных ресурсов России [4], а также модели расчёта нормативной урожайности сельскохозяйственной культуры:

$$U_n = 33.2 \times 1.4 \times \frac{АП}{10} \times K_1 \times K_2 \times K_3 \times K_4,$$

где U_n – нормативная урожайность зерновых культур, ц/га; $АП$ – величина местного агроклиматического потенциала для зерновых культур; 10.0 – базовое значение величины $АП$; 33.2 – нормативная урожайность (ц/га) зерновых культур на эталонной почве, полученная при применении среднего уровня зональных технологий при базовом значении $АП$ (10.0); 1.4 – коэффициент пересчета на уровень урожайности при интенсивной технологии возделывания; $K_1...K_4$ – поправочные коэффициенты на: K_1 – содержание гумуса в пахотном слое; K_2 – мощность гумусового горизонта; K_3 – содержание физической глины в пахотном слое; K_4 – негативные свойства почв.

Приведенная модель принята в основных практических руководствах по оценке земель в РФ, включая методику по классификации и пригодности земель для использования в сельском хозяйстве [7], кадастровую оценку земель сельскохозяйственного назначения [10] и другие издания.

Под термином «качество» понимается совокупность природных условий и свойств почв, обуславливающих их пригодность удовлетворять потребности производства сельскохозяйственных культур. Эмпирически установлено [8], что при сопоставимых технологиях производства качество почв для производства зерновых культур определяется совокупностью параметров, используемых в приведённой выше модели расчета. Для комплексной

оценки уровня качества почв нами предлагается использовать индекс качества, который отражает относительное средневзвешенное значение отдельных показателей в получении нормативного урожая культуры.

Анализ карты качества почв сельскохозяйственных угодий для производства зерновых культур в РФ (рис. 4) показывает, что высоким и выше среднего индексом качества (зеленые тона) характеризуются около 20 % почв сельскохозяйственных угодий страны, которым соответствует нормативная урожайность зерновых культур равная и превышающая 30 ц/га. В основном эти почвы относятся к гумусово-аккумулятивным черноземам (Белгородская, Воронежская, Курская и др. области). Относительно небольшая доля почв, имеющих индекс высокого и выше среднего качества в площади пашни страны объясняется ограниченным агроэкологическим потенциалом территории. Почвы с индексом среднего качества, соответствующие расчетной нормативной урожайности зерновых в пределах 20–30 ц/га занимают 34 % площади пашни. Эти почвы, как правило, имеют снижающие плодородие показатели дегумификации, ухудшение структуры и переуплотнения. Почвы с индексом качества среднего качества, согласно рассчитанной нормативной урожайности зерновых, доминируют в Кемеровской, Оренбургской, Самарской областях, республике Башкортостан и др. Почвы, характеризующие индекс качества ниже среднего, соответствующий нормативной урожайности зерновых 10–20 ц/га занимают 37 % пашни. Как правило, эти почвы имеют негативные показатели переувлажнения и получили развитие в Вологодской, Ивановской, Кировской областях, республике Коми и др. Почвы с низким индексом качества, имеющие расчетную нормативную урожайностью зерновых менее 10 ц/га занимают 9 % пашни. Низкая продуктивность этих почв контролируется относительно низким агроэкологическим потенциалом и развитием ряда негативных свойств, например, эрозия, легкий гранулометрический состав и др.

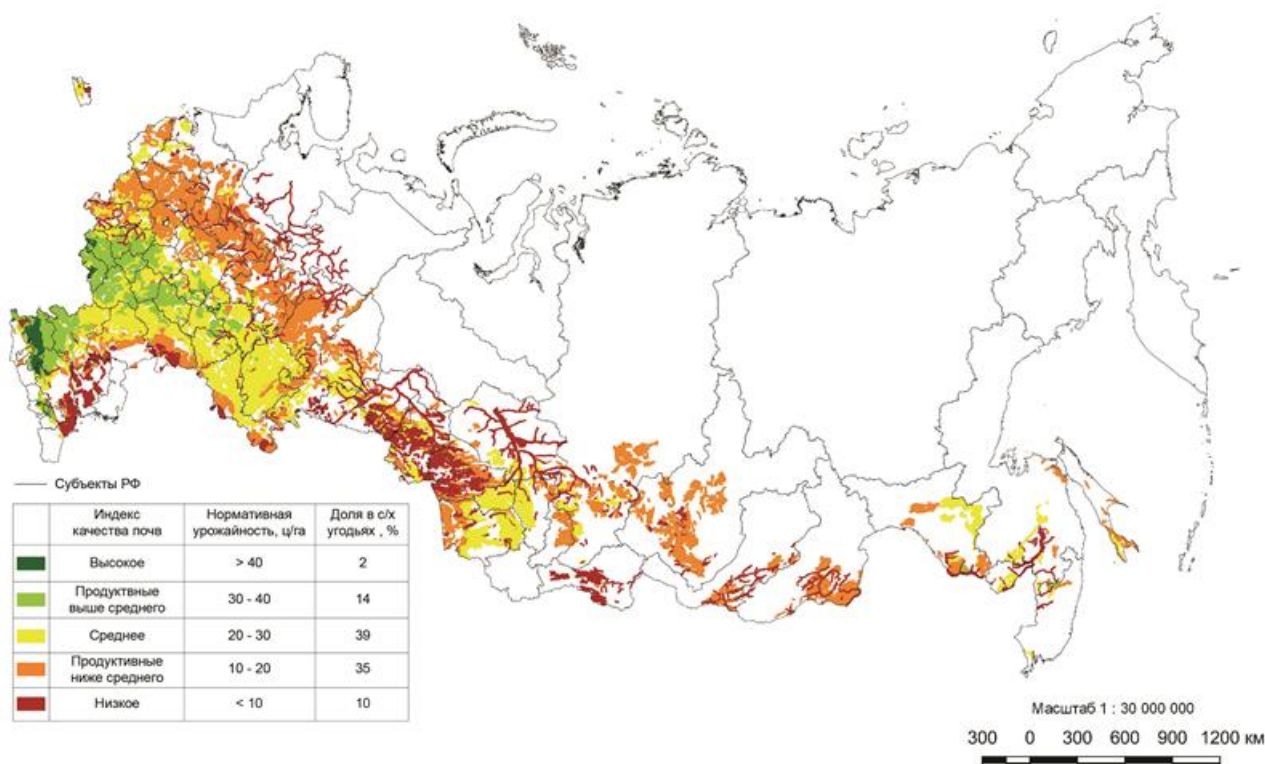


Рисунок 4. Качество почв сельскохозяйственных угодий для производства зерновых культур в РФ.

Устойчивая интенсификация сельскохозяйственного производства

Рассмотренные выше ограниченные возможности для экстенсификации использования почвенных ресурсов в РФ делают необходимым проанализировать потенциал интенсифика-

ции сельскохозяйственного производства. Такой анализ важен для выяснения роли почвенных ресурсов страны в решении проблем глобальной продовольственной безопасности.

Согласно последним прогнозам ООН, к 2050 году население мира превысит 9 млрд человек [12]. Кроме увеличения населения будет отмечаться рост доходов и изменение диеты питания в сторону увеличения потребления мясных, рыбных и молочных продуктов [17]. Последние исследования показывают, что сегодняшний уровень урожайности не будет отвечать будущему спросу на продукты питания [23]. Для удовлетворения потребности в сельскохозяйственных продуктах к 2050 году, необходимо существенное наращивание производства продовольствия в развитых странах. Очевидно, что дальнейшая интенсификация сельскохозяйственного производства может негативно сказаться на деградации почв и окружающей среды, таких как, снижение биоразнообразия, ухудшении качества поверхностных и подземных вод, а также увеличение выбросов парниковых газов.

Сельскохозяйственное производство, в котором «повышение урожая осуществляется без неблагоприятного воздействия на окружающую среду и без увеличения обрабатываемой площади», определяется как «устойчивая интенсификация, Sustainable Intensification» [30]. Исследование пахотных почв Европейского Союза показало, что потенциалом для устойчивой интенсификации сельскохозяйственного производства обладают только 47 % пашни [2]. Некоторые страны, такие как Польша, не только не обладают этим потенциалом, но в результате развития деградации почв уже сейчас должны существенно снизить площадь обрабатываемых земель.

Используя принятые за рубежом подходы и модель расчёта [2], мы проанализировали потенциал устойчивой интенсификации сельскохозяйственного производства земель сельскохозяйственного назначения России (рис. 5). Полученные результаты показывают, что более 70 % сельскохозяйственных почв России имеют отличный и хороший потенциал для устойчивой интенсификации производства зерновых культур. Средним потенциалом характеризуются 15 % пахотных почв. Эти почвы требуют проведения дополнительных экономически обоснованных и экологически допустимых мероприятий при интенсификации сельскохозяйственного производства. Выявлено также, что около 14 % пахотных почв страны не обладает потенциалом для интенсификации сельскохозяйственного производства. Увеличение агрогенной нагрузки на эти почвы будет способствовать усилению деградационных процессов и ухудшению экологической обстановки.

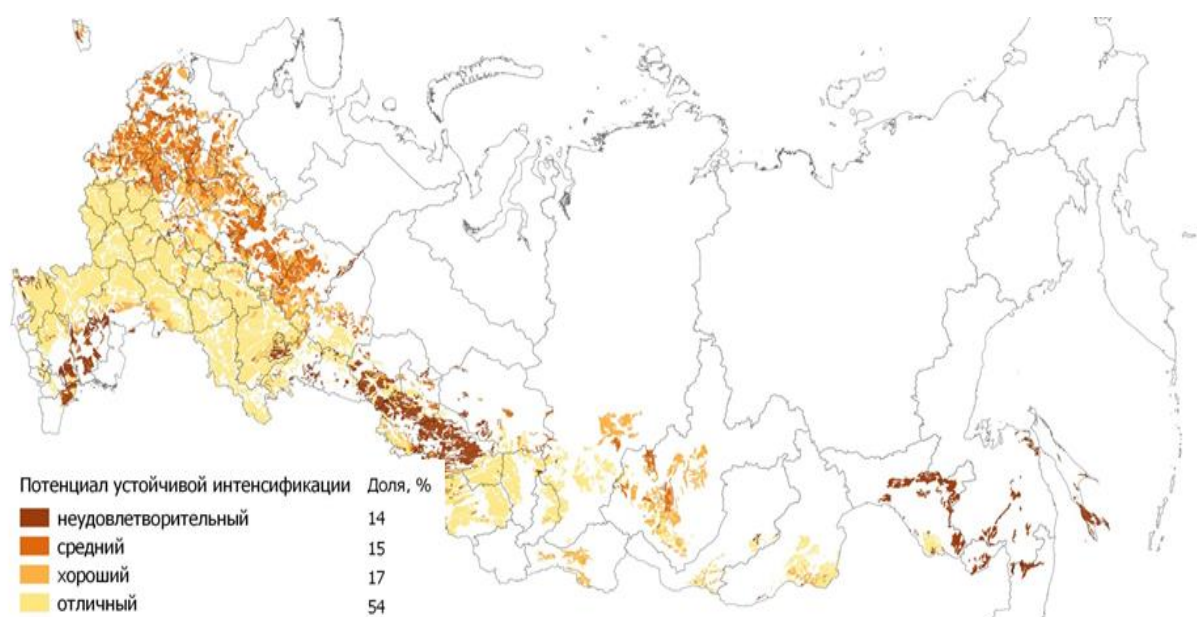


Рисунок 5. Потенциал устойчивой интенсификации производства зерновых культур в РФ.

Таким образом, почти 86 % сельскохозяйственных почв России обладает потенциалом устойчивой интенсификации сельскохозяйственного производства для получения дополнительного продовольствия, необходимого для растущего населения планеты. Очевидно, прак-

тическое решение проблемы интенсификации сельскохозяйственного производства требует мобилизации усилий ученых и практиков страны, направленной на детальную инвентаризации перспективных территорий, развитию экологически допустимых технологий сельскохозяйственного производства и пр.

Климаторегулирующие ресурсы почв РФ

Почвы регулируют обмен веществом и энергией между биосферой, атмосферой, гидросферой и литосферой, а также осуществляют контроль за балансом между биологическим и геологическим циклами углерода [1, 15]. Распад и синтез органического вещества являются одними из главных особенностей почвообразования. Многообразие метаболизмов органического вещества и развитие специфических органо-профилей почв формируют пространственно-географическую мозаику почвенного покрова. При этом концентрация почвенного органического вещества (ПОВ) и запасы последнего выступают главными индикаторами направлений (типов) почвообразования.

В последние десятилетия были выполнены многочисленные оценки глобальных запасов ПОВ. Согласно одной из наиболее часто цитируемых оценок [14], верхний 1.0 м слой почв планеты содержит около 1550 ГтС органического и 700 ГтС минерального углерода. По запасам органического вещества почвы занимают третье место среди основных планетарных резервуаров углерода, после 39 000 ГтС – мировой океан и 5000 ГтС – геологический резервуар (IPCC, 1996). Почвы содержат примерно в два раза больше органического углерода, чем атмосфера (760 ГтС) и почти в три раза больше, чем растительность (620 ГтС).

Россия занимает около 12 % почвенного покрова Мира. Поэтому, запасы ПОВ и педогенно-регулируемые потоки органического углерода в газообразной, жидкой и твердой формах имеют глобальное значение. Вместе с тем, формирование ресурсов ПОВ России связано со спецификой господствующего холодного гумидного почвообразования, которое определяет особенности углеродного цикла наземных экосистем (табл. 2). Так для большинства почв страны характерно накопление слабо разложившегося оторфованного растительного опада. Поэтому запасы ПОВ в поверхностном слое почв почти в два раза превышают среднемировые. В тоже время, холодный климат ингибирует биологическую активность, которая в 1.5 раза ниже среднемировой. Гумидный климат инициирует миграцию растворенного органического вещества и фрагментированных растительных остатков. Сток растворенного и парцеллярного органического вещества более, чем в полтора раза превышает среднемировой.

Таблица 2. Вклад России в глобальный цикл углерода.

	Россия	Доля в Мире, %
Почвенные ресурсы		
Площадь	1587 млн га	12
Запасы углерода		
0–30 см	167.3 ГтС	23
Гетеротрофная респирация		
	3.2 ГтС	8
Речной и грунтовый стоки		
	79 млн тС	20

Как отмечалось выше, большая часть почв России обнаруживает интенсивное накопление ПОВ в верхней части профиля (табл. 3). Согласно представленным в табл. 3 данным, можно подсчитать, что для большинства почв страны верхний 0.3 м слой содержит более 50 % ПОВ, накопленного в слое 2.0 м. Концентрация ПОВ в верхнем слое отдельных почв даже больше, например, в глееземах она достигает почти 70 % (17.6 кгС/м^2 в слое 0.3 м и 24.1 кгС/м^2 в слое 2.0 м). Исключение представляют вулканические и аллювиальные почвы, в которых почвообразование сосуществует с седиментогенезом. Эти почвы имеют профили с многочисленными погребенными органическими горизонтами.

Содержание минеральных карбонатов принципиально отличается от такового ПОВ (табл. 3). Большая часть почвенного фонда России не содержит карбонатов. Это свойственно почвам, развивающимся в условиях влажного климата на бескарбонатных почвообразующих породах. Минеральные карбонаты встречаются в почвах, которые формируются в условиях жаркого засушливого климата, например, галоморфные (в слое 0.3 м содержится 1.3 кгС/м²), малогумусные аккумулятивно-карбонатные (в слое 0.3 м находится 1.2 кгС/м²) и щелочные глинисто-дифференцированные (в слое 0.3 м содержат 0.3 кгС/м²) почвы.

Концентрация минеральных карбонатов в почвах полусухого климата (гумусово-аккумулятивные, дерновые органо-аккумулятивные) и криоаридного климата (криоземы) в верхнем 0.3 м слое составляет около 0.1 кгС/м². Распределение карбонатов по профилю почв носит отчетливый элювиальный характер, т.е. подтверждает интенсивное выщелачивание карбонатов.

В 2.0 м слое нативных почв России содержалось 448 ГтС органического и минерального углерода (табл. 4). Из этой величины, около 170 ГтС накоплено в 0–0.3 м слое почв, 231 ГтС в слое 0–0.5 м и 337 ГтС в слое 0–1.0 м.

Распределение запасов органического углерода по отдельным слоям почв России (табл. 4) носит аккумулятивный характер с существенным накоплением ПОВ в поверхностном слое (0.3 м) и постепенным уменьшением его содержания с глубиной. Этот органический материал, также как и любое биологически активное вещество, обладает высокой степенью чувствительности к изменениям окружающей среды, включая антропогенно-обусловленные, климатические и др. изменения.

Таблица 3. Площадь-взвешенная средняя концентрация (кгС/м²) органического и минерального углерода по слоям (м) нативных почв России (Stolbovoi, 2002a).

Типы почвообразования	Органический				Минеральный			
	0–0.3	0–0.5	0–1.0	0–2.0	0–0.3	0–0.5	0–1.0	0–2.0
Органогенные	20.9	37.2	81.3	134.1	0	0	0	0
Глееземы	17.6	22.0	23.1	24.1	0	0	0	0
Метаморфические	12.2	13.6	15.2	15.7	0	0	0.2	0.2
Гумусово-аккумулятивные	11.7	16.2	20.2	22.4	0.1	0.3	1.7	3.4
Дерновые органо-аккумулятивные	10.3	11.9	13.9	15.1	0.1	0.2	0.6	0.5
Вулканические	7.0	10.1	18.2	22.3	0	0	0	0
Текстурно-дифференцированные	7.0	9.3	10.8	11.9	0	0	0	0.1
Литоземы	6.8	н.о.	н.о.	н.о.	0	н.о.	н.о.	н.о.
Al-Fe-гумусовые	6.7	8.3	9.7	10.0	0	0	0	0
Аллювиальные	6.2	9.2	14.1	18.0	0.1	0	0.1	0
Галоморфные	5.0	7.0	9.0	10.4	1.3	0.5	4.4	9.0
Щелочные глинисто-дифференцированные	4.8	5.5	7.3	8.2	0.3	0.8	2.6	1.3
Криоземы	4.6	6.6	н.о.	н.о.	0.1	0.5	0.4	0.2
Маломощные слабо развитые	3.1	4.0	н.о.	н.о.	0	0	н.о.	н.о.
Малогумусовые-аккумулятивно-карбонатные	1.7	2.2	2.6	2.9	1.2	2.4	6.2	5.9

*н.о. – не определено

Таблица 4. Запасы органического и минерального (карбонаты) углерода в нативных почвах России (Stolbovoi, 2002a).

Слой, м	Органический		Минеральный		Всего	
	ГтС	% от 0–100	ГтС	% от 0–100	ГтС	% органического
0–0.3	167.4	56	2.2	6	169.6	99
0–0.5	221.1	74	9.9	25	231.0	96
0–1.0	297.6	100	39.4	100	337.0	88
0–2.0	373.0	125	75.0	190	448.0	83

Распределение общих запасов минерального углерода по отдельным слоям почвы носит отчетливый элювиальный характер, с небольшим количеством в поверхностном слое (0.3 м) и постепенным увеличением содержания карбонатов с глубиной. Приведенные в табл. 3 данные показывают, что карбонатность почв России наследуется от почвообразующих пород. Вторичные карбонаты, образующиеся при испарении жестких грунтовых вод, либо в процессе почвообразования, отмечаются только в аридных почвах жаркого климата, например, таких как малогумусные аккумулятивно-карбонатные. Однако последние занимают <1 % площади почвенного фонда страны.

Представленность национальных почвенных данных в глобальных коллекциях незначительна. В связи с этим, оценка вклада почв России в глобальный резервуар ПОВ делается по содержанию углерода в почвах Мира пропорционально площади страны. Согласно логике такого подхода, почвы России должны содержать около 80 ГтС в верхнем 0.3 м слое и почти 186 ГтС в слое 1.0 м (табл. 5), что соответствует 12 % доли площади России в глобальном почвенном фонде. Подсчитанные на основе национальных данных, величины запасов ПОВ страны почти в 2 раза больше. Выявленное существенное различие глобально осредненного содержания ПОВ от реальных запасов связано с рассмотренными выше региональными особенностями аккумуляции ПОВ в холодном влажном климате России, который снижает скорость разложения растительных остатков и способствует образованию мощных оторфованных подстилок в почвах.

Содержание минеральных карбонатов в глобальных осредненных оценках существенно выше данных полученных нами. Относительно пониженная карбонатность почв России объясняется гумидностью климата страны, ограниченной площадью аридных почв и небольшим распространением карбонатных почвообразующих пород.

Таблица 5. Вклад России в глобальный резервуар ПОВ.

Слой, м	Глобальный резервуар, ГтС [14]	Вклад, рассчитанный пропорционально площади		Вклад, рассчитанный на основе национальных почвенных данных	
		ГтС	% от глобального	ГтС	% от глобального
Почвенно-органическое вещество					
0–0.3	724	87.9	12	167.3	23
0–1.0	1548	185.8	12	297.5	19
Минеральные карбонаты					
0–0.3	234	28.1	12	2.3	1
0–1.0	722	88.8	12	39.4	5

Ресурсы углерода в сельскохозяйственных почвах России

Сельскохозяйственное использование выступает одним из главных факторов изменения и, следовательно, регуляторов содержания ПОВ (рис. 3). В России, как и других странах Мира [14], земледелие приводит к накоплению углерода в почвах (зеленые тона), которые до освоения не имели мощных гумусовых, например, дерново-подзолистые, подзолистые. Потери характерны для гумусово-аккумулятивных почв, которые до освоения имели мощные гумусовые горизонты (теплые желто-красные тона).

Расчеты показывают, что суммарные потери ПОВ в слое 0.3 м сельскохозяйственных почв России составили 3.1 ГтС или 16 % исходного содержания, а в слое 1.0 м составили 4.7 ГтС или 14 % исходного содержания (табл. 6).

Консервация 30–40 млн га пахотных земель в России, начатая с 1990 г, привела к восстановлению ПОВ в залежных почвах около 0.8–1.2 ГтС, что эквивалентно поглощению 2.9–4.4 ГтС-СО₂. Таким образом с учетом накопления в залежных почвах общие потери ПОВ из слоя 1.0 м на сегодня составляют около 3.1–3.5 ГтС, что составляет 1.2 % запасов нативных почв.

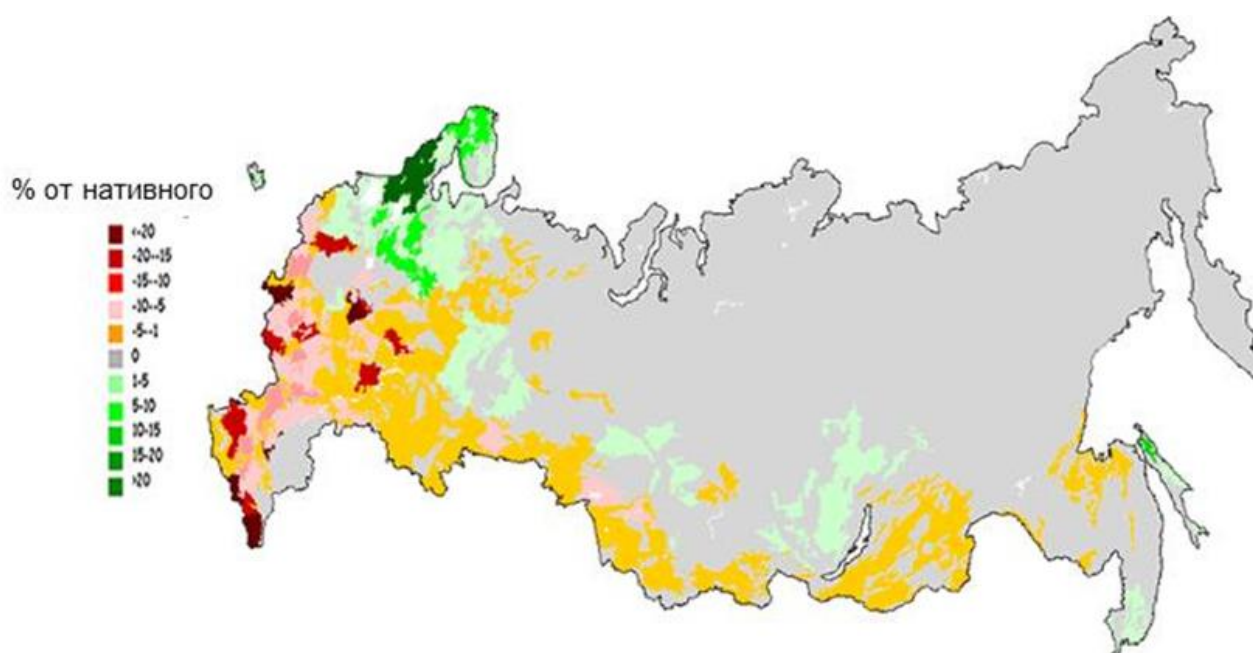


Рисунок 3. Изменение содержания углерода в почвах в результате сельскохозяйственного использования (Stolbovoi, 2002б).

Таблица 6. Запасы углерода в нативных и используемых почвах России [29].

Использование	Слой 0.3 м				Слой 1.0 м			
	Нативные, ГтС	Используемые, ГтС	Потеря, ГтС	% от нативных	Нативные, ГтС	Используемые, ГтС	Потеря, ГтС	% от нативных
Пашня	13.47	10.84	2.63	20	22.60	19.02	3.58	16
Пастбища	6.37	5.92	0.45	7	10.02	8.92	1.10	11
Всего	19.84	16.75	3.09	16	32.61	27.94	4.68	14

В последние годы широко обсуждается секвестрация углерода почвами Мира. Согласно опубликованным данным (табл. 7), глобальный объем поглощенного углерода составляет 4.9 ГтС. К сожалению, эта величина не учитывает объем секвестрации углерода залежными почвами России, который составляет почти 24 % глобальной секвестрации. Если к глобальному прибавить объем секвестрации углерода почвами России, то глобальная масса поглощенного углерода составит 6.1 ГтС, а вклад России в этот объем будет около 20 %, что более чем в полтора раза превышает долю России в площади почвенного фонда Мира (12 %). Таким образом, почвы России выступают существенным регулятором углеродного цикла в планетарном масштабе.

Таблица 7. Вклад России в глобальный объем секвестрации углерода почвами.

Глобальный объем секвестрации (net LUC, 1990–2011 гг.), ГтС [16]	Площадь консервации, млн га	Объем секвестрации, ГтС в слое 0.3 м	Неучтенная доля почв России в глобальной секвестрации, %
4.9	40	1.2	24

Международная инициатива «4 промилле» является одним из направлений вовлечения почв в работы по смягчению глобального изменения климата [20]. Суть инициативы состоит в том, что антропогенное увеличение концентрации углекислого газа (CO_2) в атмосфере может быть компенсировано секвестрованием углерода почвами в количестве 4 промилле в год. Подсчеты показывают, что цели «4 промилле» достижимы для пахотных почв России. Так, общие потери ПОВ в слое 1.0 м пахотных почв сельскохозяйственных угодий составляет около 2.4 ГтС (с учетом консервированных земель), т.е. средняя потеря ПОВ слоя 1.0 м пашни составляет около 16 тС/га. Следовательно, «4 промилле» составят около 0.03 тС/га. Эта величина может быть накоплена в одном га пахотных почв путем внесения 1 т навоза с учетом принятого для районов нечерноземья, Восточной Сибири и Дальнего Востока коэффициента гумификации 0.05. В степных районах доза внесения навоза может быть уменьшена в 1.5 раза [5], т.е. составит 0.75 т/га. Другими реалистичными мероприятиями, направленными на накопление ПОВ, могут быть повышение урожайности, увеличение в севообороте посевов трав, минимизация обработок и многое другое. В России накоплен огромный опыт управления гумусовым состоянием почв, который в настоящее время ограничен востребован для решения вызовов, связанных с изменением климата.

Современная динамика баланса углерода в почвах России

На территории России изменение климатических условий выражается в потеплении и увеличении количества осадков. По некоторым общим теориям [13, 18], увеличение среднегодовой температуры воздуха (mean atmosphere temperature, MAT) инициирует деградацию органического вещества в почвах и стимулирует эмиссию углекислого газа. В нашем исследовании такой сценарий ассоциируется с отрицательным балансом углерода в почвах. Увеличение среднегодовых осадков (mean atmosphere precipitation, MAP) способствует повышению запасов органического вещества в почвах. Такой сценарий в нашем исследовании соответствует положительному балансу углерода в почвах. Предложенная теория используется для прогноза влияния изменений климата на запасы углерода в почвах и изменение концентрации парниковых газов в атмосфере.

Действительно, определенная связь концентрации ПОВ с климатическими параметрами существует (рис. 4).

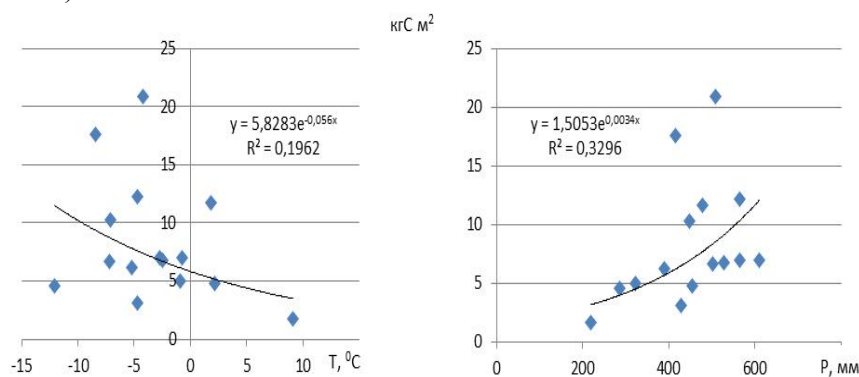


Рисунок 4. Связь концентрации углерода (кгС/м^2) в слое 0.3 м почв России с климатическими температурами (MAT, °C) и осадками (MAP, мм).

Приведенные данные (рис. 4) показывают, что концентрация ПОВ меньше в диапазоне более высоких температур и больше в диапазоне повышенной влажности. Зависимость концентрации ПОВ от температуры и осадков не линейны и аппроксимируются экспоненциальной моделью. Это подтверждает известный факт, что содержание ПОВ имеет ограничения. Согласно критерию коэффициента детерминации ($R \approx 0.2$ и $R \approx 0.3$, соответственно MAT и MAP), теснота зависимости концентрации ПОВ от температуры и осадков (качество модели) не высокая. Температура и осадки объясняют лишь 20–30 % дисперсии концентрации углерода. Почти 70–80 % дисперсии связано с другими факторами. Это наглядно видно при сравнении карт рис. 5.

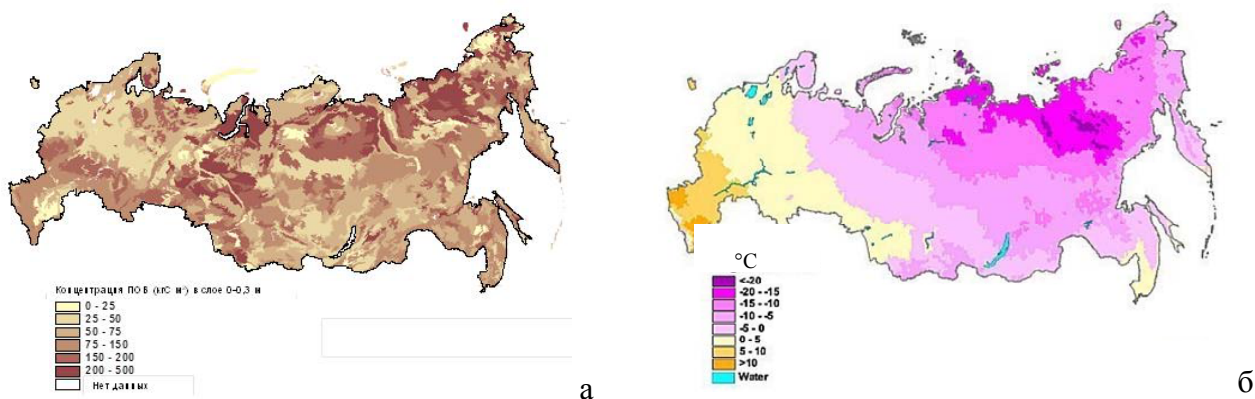


Рисунок 5. Распределение концентрации ПОВ в 0.3 м слое почв и среднегодовой температуры воздуха на территории РФ [27].

Так распределение концентрации ПОВ в верхнем 0.3 м слое (рис. 5а) носит мозаичный рисунок. В то время как, распространение среднегодовых температур имеет ясно выраженный полосчатый/зональный характер. Также следует подчеркнуть, что связь концентрации ПОВ с климатическими среднегодовыми температурами и осадками (рис. 5) отражает сложившуюся статичную картину и не описывает причинно-следственную связь между изучаемыми факторами. Таким образом, анализ показывает, что сформулированная выше теория, представляет достаточно упрощенную одномерную модель зависимости «концентрация ПОВ – температура/осадки» и должна восприниматься критически.

С еще большей осторожностью предложенная теория может распространяться на географические обобщения влияния изменений климата на резервуар углерода в почвах. Картина пространственного распределения баланса ПОВ России очень мозаична и неодинакова для разных органо-генетических горизонтов почв (рис. 6). В этой ситуации очевидно, что глобальные обобщения на основе единичных наблюдений «типичных» точек географически необоснованно. Обращает внимание, что увеличение МАТ в зоне тундры не приводит к деградации ПОВ и, связанной с этим, интенсификации эмиссии CO_2 . Напротив, происходит существенное накопление ПОВ в заболоченных торфянистых мерзлотных почвах (табл. 8). Это объясняется тем, повышение МАТ увеличивает глубину активного слоя, что сопровождается таянием льда, переувлажнением и стимулированием торфообразования. Очевидно, что цитируемая выше теория учитывает только изменение атмосферных температур и осадков и игнорирует эндогенные изменения гидрологического режима мерзлотных почв при таянии мерзлоты. Другим примером, противоречившим цитируемой теории, является накопление ПОВ в травяно-кустарниковых ценозах, которое отмечается во всех природных зонах, несмотря на увеличение МАТ. Приведенные выше примеры ясно свидетельствуют о том, что почвы, как биокосные тела, обладают сильной инерционностью в своем развитии. Исторически сложившееся многообразие почв создает разнообразие возможных траекторий их эволюции при изменении одного (климата) или нескольких факторов почвообразования. Тем самым поддерживается/модифицируется/трансформируется исторически сложившиеся дивергенция почв и почвенного покрова.

Баланс углерода в глубоко-торфяных болотах является отрицательным, что особенно характерно для органогенного горизонта О. Одной из причин может быть повышенная интенсивность НР в глубоко-торфяных болотах по сравнению с мелко-торфяными болотами. Как показано ранее [27], НР в глубоко-торфяных болотах в два раза интенсивнее, чем в мелко-торфяных болотах (290 МтС и 147 МтС, соответственно).

Баланс ПОВ бореальных лесов отрицательный (табл. 8). Отмеченная деградация в основном наблюдается в горизонте подстилки О. Повышенная минерализация подстилки сопровождается образованием гумуса в горизонте А1, усилением миграции водно-растворимого углерода и увеличением аккумуляции водорастворимого углерода в гумусово-иллювиальном горизонте Bh (табл. 8). Интересно отметить, что интенсификация минерализации лесной подстилки, сопровождается мобилизацией соединений азота и других питательных веществ, что объ-

ясняет, отмечаемый многими авторами (например, Nilsson et al, 2000) рост лесов в России. Таким образом, рост деревьев вместе с накоплением органического вещества в органо-генетических горизонтах A1 и Bh являются основными механизмами сохранения питательных веществ в элювиальных бореальных лесах (Пономарева, 1972; Столбовой, 2006).

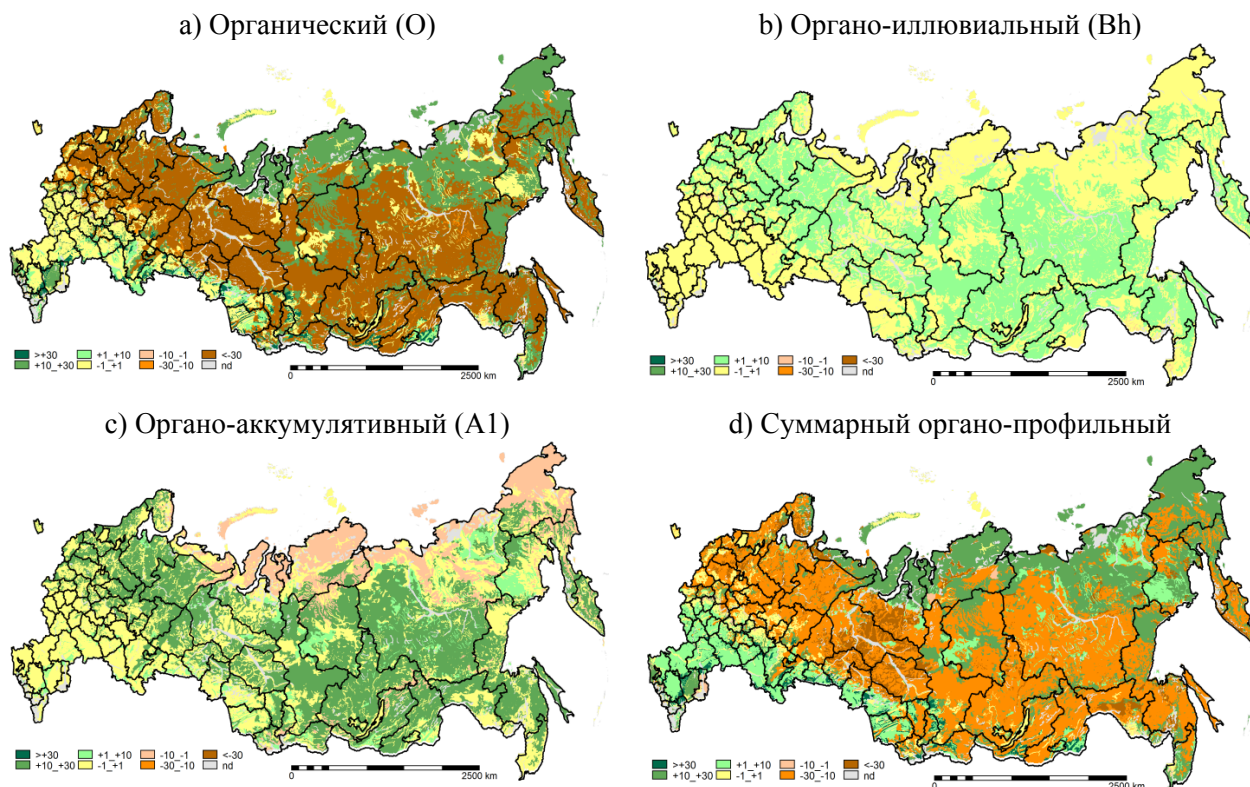


Рисунок 6. Баланс углерода в органо-генетических горизонтах и органо-профиле почв России [28].

Баланс углерода в органо-генетических горизонтах и органо-профиле почв умеренных лесов, степных и полупустынных лесов является положительным (табл. 8).

Баланс углерода в органо-профиле почв под травяно-кустарниковой растительностью является положительным (табл. 8). Очевидно, рост травяно-кустарниковой растительности сопровождается увеличением листового опада и подстилки. Соответственно наблюдается увеличение поступления корневого детрита в органо-генетический горизонт A1 и возникает дополнительный поток водорастворимого органического вещества в гумусово-иллювиальный горизонт Bh.

Органо-профиль пахотных почв демонстрирует практически квазиравновесный баланс ПОВ (табл. 8). Эта тенденция определяется становлением системы хозяйствования и, соответственно, стабилизацией бюджета ПОВ. Почвы пастбищных угодий показывают отрицательный баланс углерода, что в основном обусловлено деградацией органо-генетического горизонта O (табл. 8). Тенденция дегумификации почв пастбищ главным образом связана с недостаточностью мер регулирования/управления пастбищным хозяйством, деградацией видового состава травостоев и пр.

Суммарно, годичный баланс углерода в почвах страны составляет 76 ± 32 МтС. Таким образом, исследование не подтверждает гипотезу о том, что современные климатические изменения конвертируют почвы России в источник эмиссии парниковых газов.

Таблица 8. Баланс углерода (10^6 тС) в органо-генетических горизонтах и профилях почв различных категорий земель России [28].

Природная зона	Пашня	Пастбища	Леса	Заболоченные мелко-торфяные угодья	Глубоко- торфяные болота	Травяно- кустарниковые	Всего в зоне
Органический горизонт (O)							
Тундра	0	-3.6	-0.9	19.9	-17.0	17.7	16.1
Лесо-тундра и северная тайга	0	-2.2	-43.5	15.8	-52.4	12.0	-70.3
Средняя тайга	0	-16.1	-32.1	-0.4	-43.6	22.7	-69.5
Южная тайга	0	-12.4	-24.9	-0.5	-31.1	10.6	-58.3
Умеренные леса	0	-4.6	17.5	0.6	-0.2	8.4	21.7
Степи	0	9.5	43.8	3.9	2.4	127.8	187.4
Полупустыни и пустыни	0	-0.9	1.1	0.6	0.1	22.4	23.3
В целом по угодьям	0	-30.3	-39	39.9	-141.8	221.6	50.4
Органо-аккумулятивный горизонт (A1)							
Тундра	0	0	0	0.1	0.2	0.5	0.8
Лесо-тундра и северная тайга	0	0	0.7	0.1	0.2	0.1	1.1
Средняя тайга	0	0	4	0.2	0.4	0.8	5.4
Южная тайга	0.1	0	1.6	0.3	0	0.2	2.2
Умеренные леса	0.1	0	0.5	0	0	0.1	0.7
Степи	0.7	0.3	0.5	0	0	0.8	2.3
Полупустыни и пустыни	0	0	0	0	0	0.2	0.2
В целом по угодьям	0.9	0.3	7.3	0.7	0.8	2.7	12.7
Органо-иллювиальный горизонт (Bh)							
Тундра	0	-0.1	-0.2	0.7	-0.2	-4.9	-4.7
Лесо-тундра и северная тайга	0	0	-2	0.7	-0.6	-0.2	-2.1
Средняя тайга	-0.2	-0.2	11.9	1.7	0.3	0.6	14.1
Южная тайга	-0.6	-0.2	3.5	0.2	0.4	0.3	3.6
Умеренные леса	-0.5	-0.1	-0.4	0	0	-0.1	-1.1
Степи	0.4	0.1	1.3	0.1	0.1	1.8	3.8
Полупустыни и пустыни	-0.1	-0.2	0	0	0	-0.4	-0.7
В целом по угодьям	-1.0	-0.7	14.1	3.4	0	-2.9	12.9
Органо-профиль (O+A1+Bh)							
Тундра	0	-3.7	-1.1	20.7	-17.0	13.3	12.2
Лесо-тундра и северная тайга	0	-2.2	-44.8	16.6	-52.8	11.9	-71.3
Средняя тайга	-0.2	-16.3	-16.2	1.5	-42.9	24.1	-50.0
Южная тайга	-0.5	-12.6	-19.8	0	-30.7	11.1	-52.5
Умеренные леса	-0.4	-4.7	17.6	0.6	-0.2	8.4	21.3
Степи	1.1	9.9	45.6	4.0	2.5	130.4	193.5
Полупустыни и пустыни	-0.1	-1.1	1.1	0.6	0.1	2.0	22.8
В целом по угодьям	-0.1	-30.7	-17.6	40.0	-141.0	221.4	76.0

ВЫВОДЫ

Разработана новая *цифровая база данных показателей качества почв (БДПКП)* для анализа почвенных ресурсов России. *БДПКП* соединяет цифровую пространственно-распределенную базу данных ЕГРПР с фондом почвенных характеристик крупномасштабных обследований земель сельскохозяйственного назначения ГОСКОМЗЕМа. Переход страны на цифровую инвентаризацию почвенных ресурсов открывает возможность их многоцелевого технологического анализа.

Почвенные ресурсы для экстенсивного развития сельскохозяйственного производства в России практически исчерпаны. Качество почв сельскохозяйственных угодий для производства зерновых культур среднее. Вместе с тем, потенциал для устойчивой интенсификации сельскохозяйственного производства в стране высокий и составляет почти 86 % пахотных почв. В перспективе увеличения дефицита продовольствия в Мирове, связанного с ростом народонаселения, глобальная роль России, как производителя дополнительной сельскохозяйственной продукции, будет усиливаться.

Россия обладает значительными климаторегулирующими почвенными ресурсами. Запасы углерода в верхних, наиболее чувствительных к изменению климата горизонтах почвы в два раза превышают среднемировой уровень. Консервация пахотных земель, начатая в 90-х годов прошлого века, привела к 27-летнему накоплению в почвах около 0.8–1.2 ГтС. Это количество эквивалентно поглощению из атмосферы около 2.9–4.4 Гт С-СО₂, что составляет 20–24 % глобального накопления углерода в почвах. В России накоплен огромный опыт управления гумусовым состоянием почв, который должен быть востребован для решения вызовов, связанных с изменением климата, например, через активное участие в международной инициативе «4 промилле».

Современное повышение температуры и осадков на территории страны приводит к ежегодному накоплению около 76±32 МтС в почвах. Это эквивалентно поглощению из атмосферы почти 280 Мт С-СО₂ в год. Исследование не подтверждает гипотезу о том, что потепление климата конвертируют почвы России в источник эмиссии парниковых газов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вернадский. В.И.* Живое вещество и биосфера. РАН. Комис. по разраб. науч. наслед. акад. В.И. Вернадского. Ин-т геохим. и аналит. хим. Отв. ред. тома А.Л. Яншин. М.: Наука. 1994. 669 с.
2. *Блюм В., Столбовой В.С.* Оценка качества земель в Европе для устойчивой интенсификации сельского хозяйства // Достижения науки и техники АПК. Т.30. № 7. 2016. С. 11–13.
3. *Докучаев В.В.* К учению о зонах природы: Горизонтальные и вертикальные почвенные зоны//Сочинения. Т. 6, М.-Л. 1951.
4. *Единый государственный реестр почвенных ресурсов России.* Версия 1.0. В.С. Столбовой (отв. ред.) Коллективная монография. – М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии. 2014. – 768 с.
5. *Крылатов, А.К. и др.* Динамика баланса гумуса на пахотных землях Российской Федерации. Госкомзем России, Москва, 1998. 60 с.
6. *Методические указания о проведении государственной кадастровой оценке.* Приказ МЭР РФ № 226 от 12 мая 2017 года.
7. *Методические рекомендации по оценке качества и классификации земель по их пригодности для использования в сельском хозяйстве.* Утверждены Федеральной службой земельного кадастра России, М.; 2003. 169 с.
8. *Оценка земель Краснодарского края, 1989.* Отчет Кубаньгипрозем. Том 2. Книга 1. Оценочные шкалы почв по продуктивности. Краснодар (рукопись).
9. *Руководство по описанию почв в системе Единого государственного реестра почвенных ресурсов России, 2016.* Версия 1: справочник / ФГБНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева; [сост. А.В. Иванов, В.С. Столбовой, Б.В. Шеремет; под ред. А.Л. Иванова]. – М.: Лига-Вент, 96 с. ISBN 978-5-904761-58-5.
10. *Сапожников П.М., Носов С.И.* Государственная кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения Российской федерации.– М.: ООО «НИПКЦ ВОСХОД-А», 2012. 160 с.

11. Фридланд В.М. Основные принципы и элементы базовой классификации почв и программа развития. ВАСХНИЛ, Москва, 1982. 149 с.
12. Alexandratos, N. and Bruinsma, J. World agriculture towards 2030/2050: the 2012 revision. ESA Working paper No. 12-03. Rome, FAO, 2012.
13. Amudson R. The carbon budget in soils. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.* 29: 2001. Pp. 535–562.
14. Batjes N.H. Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science*. June. 47, 1996. Pp. 151–163.
15. Bolin B., Degens E.T., Kempe S., Ketner P. The global carbon cycle. SCOPE 13. John Wiley&Sons, 1979. 491 p.
16. Ciais P., Sabine C., Bala G., Bopp L., Brovkin V., Canadell J., Chhabra A., DeFries R., Galloway J., Heimann M., Jones C., Le Quéré C., Myneni R.B., Piao S., Thornton P. Carbon and other biogeochemical cycles. In: IPCC. Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, USA, 2013.
17. Godfray H.C.J., Beddington J.R., Crute I.R., Haddad L., Lawrence D., Muir J.F., Pretty J., Robinson S., Thomas S.M., Toulmin C. Food Security: The Challenge of Feeding 9 Billion People. *Science* 327, 2010. Pp. 812–818.
18. Lal R. Climate change and soil degradation mitigation by sustainable management of soils and other natural resources. *Agric. Res.* 1(3): 2012. Pp. 199–212.
19. McKnight T.L., H. Darrel. Climate Zones and Types: The Köppen System // *Physical Geography: A Landscape Appreciation*. Upper Saddle River. NJ: Prentice Hall. 2000. P. 200-201. ISBN 0-13-020263-0.
20. Minasny B., Malone B.P., McBratney A.B., Field D.J., Odeh I., Padarian J., Stockmann U., Angers D.A., McConkey B.G., Arrouays D., Martin M., Richer-de-Forges A.C., Chambers A., Chaplot V., Chen Z.-S., Tsui C.-C., Cheng K., Pan G., Das B.S., Gimona A. et al. Soil carbon 4 per mille, *Geoderma*. T. 292. 2017. Pp. 59–86.
21. Oldeman L.R., Hakkeling R.T.A., Sombroek W.G. World Map of the Status of Human-induced Soil Degradation: An explanatory note. Wageningen, International Soil Ref. and Inf. Centre; Nairobi, United Nations Environment Programme. 1990. 27 pp + 3 maps.
22. Pretty J. Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 363, 2008. Pp. 447–465.
23. Ray D.K., Mueller N.D., West P.C., Foley J.A. Yield Trends Are Insufficient to Double Global Crop Production by 2050. *PLoS ONE* 8, 2013.
24. RISE, 2014. The sustainable intensification of European agriculture, pp. 57–62. The RISE Foundation Brussels, www.risefoundation.eu.
25. *Soil Map of the World*, FAO-UNESCO, 1971–1981.
26. Stolbovoi V. Carbon in Russian soils. *Climatic Change*. Vol 55. Issue 1-2. Kluwer Academic Publishers, the Netherlands. 2002a. Pp. 131–156.
27. Stolbovoi V., McCallum I. 2002. Land Resources of Russia. CD-ROM, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria and the Russian Academy of Sciences, Moscow. Available on the Internet: http://www.iiasa.ac.at/Research/FOR/russia_cd/index.htm.
28. Stolbovoy V., Ivanov A. Carbon Balance in Soils of Northern Eurasia. Chapter 38. A.E. Hartemink and K. McSweeney (eds.). *Soil Carbon. Progress in Soil Science*. DOI 10.1007/978-3-319-04084-4_38. © Springer International Publishing Switzerland 2014. Pp. 381–390.
29. Stolbovoy V. 2002b. Carbon in agricultural soils of Russia, pp. 301–306. In Smith, C.A.S. (ed.) *Soil Organic Carbon and Agriculture: Developing Indicators for Policy Analyses*. Proceedings of an OECD expert meeting, Ottawa Canada. Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa and Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris. 329 p.
30. *The Royal Society* (London), 2009. Reaping the benefits science and the sustainable intensification of global agriculture. The Royal Society, London.
31. Tilman D., Cassman K.G., Matson P.A., Naylor R., Polasky S. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature* 418. 2002. Pp. 671–677.

ВЫСТАВКА «ВОПЛОЩЕНИЕ ИДЕИ В.В. ДОКУЧАЕВА» (К 100-ЛЕТИЮ РЕВОЛЮЦИИ В РОССИИ)

Б.Ф. Апарин^{1,2}, М.А. Лазарева²

¹Санкт-Петербургский государственный университет,

²ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева, Санкт-Петербург

Рассмотрены программа В.В. Докучаева по выходу из кризисного состояния сельского хозяйства России, а также воплощение идей, которые были заложены выдающимся русским ученым, основателем науки о почве, в советский период истории страны. Выставка состоит из 6 взаимосвязанных тематических разделов: «Идеи В.В. Докучаева», «Образование», «Наука», «Популяризация знаний», «Докучаевские бастионы», «На грани истощения (на круги своя?)».

Ключевые слова: В.В. Докучаев, выставка, программа, 100 лет революции, наука, образование, популяризация, деградация.

ВВЕДЕНИЕ

Во исполнение п. 4. Распоряжения Президента РФ В.В. Путина от 19.12.2016 № 412-рп «О подготовке и проведении мероприятий, посвященных 100-летию революции 1917 г. в России» в ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева 8 ноября 2017 г. состоялось официальное открытие выставки «Воплощение идеи В.В. Докучаева» (к 100-летию революции в России).

Научную концепцию выставки разработал научный руководитель ЦМП им. В.В. Докучаева, профессор, д.с.-х.н., Б.Ф. Апарин. Концепция утверждена на Ученом совете ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева. Идею макета выставки в виде цифры «100» и цветовое решение предложили сотрудники СПбГХПА им. А.Л. Штиглица К.Г. Быстрыков и Л.В. Ярошевская. Художественное оформление выполнил студент СПбГХПА им. А.Л. Штиглица Т.Ю. Руденко. В насыщении выставки материалами принимали участие научные сотрудники ЦМП им. В.В. Докучаева, аспиранты Е.Д. Чигалейчик и М.А. Лазарева. В монтаже выставки участвовал магистрант кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ Т.К. Мусаев.

Выставка посвящена программе В.В. Докучаева по выходу из кризисного состояния сельского хозяйства России, а также воплощению идей выдающегося ученого в советский период истории страны, и состоит из 6 взаимосвязанных тематических разделов: «Идеи В.В. Докучаева», «Образование», «Наука», «Популяризация знаний», «Докучаевские бастионы», «На грани истощения (на круги своя?)».

СОДЕРЖАНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

В разделе «Идеи В.В. Докучаева» приводятся идеи, которые были заложены выдающимся русским ученым, основателем науки о почве, В.В. Докучаевым.

С именем В.В. Докучаева связано возникновение учения о почве как о самостоятельном естественном историческом теле, имеющем особое происхождение, собственные свойства и строго определенное пространственное положение.

В.В. Докучаевым открыты: основной закон естествознания – закон всеобщей функциональной связи в природе ($(P = f(K, R, GP, ZO) * T)$, где: P – почва, f – функция, K – климат, R – рельеф, GP – горные породы, ZO – живые организмы, T – время); законы почвоведения (широтной, высотной зональности, сельскохозяйственных царств и др.). Ученый также сформулировал новую парадигму естествознания, разработал методы оценки земель, заложил основы почвенной картографии, экологии, музейного дела в естествознании.

Основными трудами В.В. Докучаева являются:

- монографии: «Русский чернозем», «Наши степи прежде и теперь», «Сочинения» (8 томов);

- карты: «Почвенная карта Европейской России», «Природные зоны мира», «Почвенная карта северного полушария», «Почвенная карта Кавказа», а также «Общая почвенная карта России», законченная, ввиду болезни В.В. Докучаева, его учениками;

- Материалы к оценке земель Нижегородской губернии (14 вып.), Труды особой экспедиции Лесного департамента (18 вып.), Материалы к оценке земель Полтавской губернии (16 вып.).

В истории естествознания вряд ли можно найти еще хотя бы одного такого ученого, в деятельности которого столь бы органично сочетались фундаментальные теоретические исследования с их практическим применением и глубочайший патриотизм – беззаветная любовь к людям, родине. В.В. Докучаев, по существу, и новую науку о почве создал как путь к решению проблем земледелия в России.

В последней трети XIX века сельское хозяйство России находилось в глубоком кризисе. Часто повторяющиеся засухи сопровождались обнищанием, голодом и страданием крестьян, доля которых составляла больше 80 % населения страны. В.В. Докучаев сокрушался, что «являясь обладателем лучших почв в мире, мы оказались ныне в самом тяжелом положении и вынуждены признать факт печального современного состояния сельского хозяйства». Одной из причин народного бедствия, по его мнению, «служат, без сомнения, повсеместное, хотя и малозаметное за короткое время истощение наших почв». Вследствие этого, средняя урожайность зерновых в России в 1860–1914 гг. была всего лишь 6–8 ц/га, значительно меньше, чем в европейских государствах.

А.Н. Энгельгардт¹ в книге «Письма из деревни» (1872–1887 гг.) писал: «В нашей губернии [Смоленской] и в урожайные годы, у редкого крестьянина хватает своего хлеба до нови; почти каждому приходится прикупать хлеб, а кому купить не на что, те посылают детей, стариков, старух в «кусочки» побираться по миру... Есть нечего дома, – понимаете ли Вы это? Сегодня съели последнюю ковригу, от которой вчера подавали кусочки побирающимся, съели и пошли в мир. Хлеба нет, работы нет, каждый и рад бы работать, просто из-за хлеба работать, рад бы, да нет работы. Понимаете – нет работы».

Обращаясь к П.А. Столыпину – автору реформ в сельском хозяйстве, Л.Н. Толстой подчеркивал: «Причины тех революционных ужасов, которые происходят теперь в России, имеют очень глубокие основы, но одна, ближайшая из них, это недовольство народа неправильным распределением земли» (рис. 1). Действительно, на долю крестьян, составляющих в 1897 г. 84 % населения, приходилось в личной собственности всего лишь 15 % земли, тогда как дворяне и чиновники, составляющие около 1.7 % населения, владели 62 % земли.

В.В. Докучаев полагал, что «вывести наше сельское хозяйство на верный торный путь» может «только правильное вполне естественное соотношение между: а) силами природы; б) капиталом; с) трудом». Однако, на этом пути стояли невероятные трудности: «Несчастное наше сельское хозяйство: ни людей науки, ни знатоков учебного дела, ни людей практики. Исключения все наперечет и торчат, как оазисы в Сахаре».

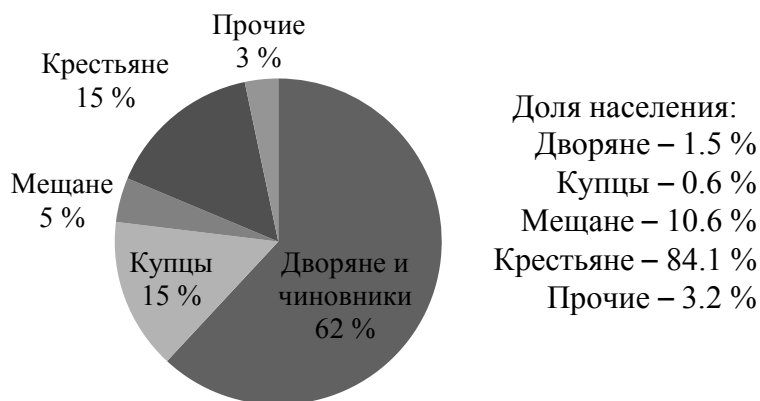


Рисунок 1. Доля земли в личной собственности по сословиям в 1897 г.

¹ А.Н. Энгельгардт – публицист, ученый-агроном, один из основателей опытного дела в России. Автор книги «Письма из деревни» (1872–1887 гг.), упоминаемой К. Марксом и В.И. Лениным.

В.В. Докучаев разрабатывает комплексную научную программу выхода сельского хозяйства из кризиса, которая включала следующие основные элементы: подготовку специалистов, научные исследования, популяризацию научных знаний среди населения и реформирование на их основе сельского хозяйства (рис. 2).

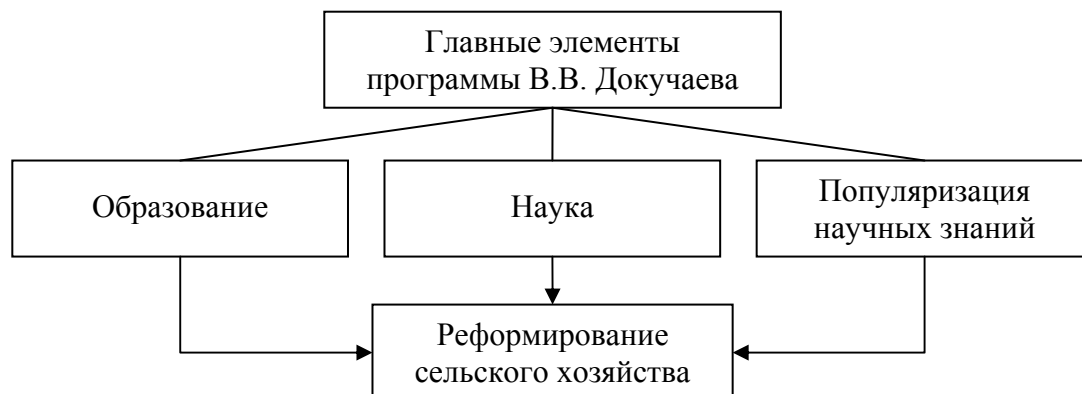


Рисунок 2. Программа выхода сельского хозяйства из кризиса В.В. Докучаева

Данная программа последовательно стала воплощаться после революции 1917 г.

В разделе «Образование» рассказано о докучаевской системе образования и ее реализации в последующие годы.

В.В. Докучаев, анализируя причины крайне низкого уровня земледелия в России по сравнению с Западной Европой, пришел к выводу, что «...главным виновником данного печального положения дела служим мы сами, наше поразительное и, говоря правду, мало приятное и мало извинительное незнакомство с Россией относительно ее естественных сил».

Прежде всего, нужны были специалисты. Ученый разработал целостную систему образования в области почвоведения и сельского хозяйства и приложил максимум усилий для ее осуществления (рис. 3). Главной целью докучаевской системы образования было улучшение естественноисторического образования народа и на его основе повышение эффективности сельского хозяйства в России.

Прежде всего, В.В. Докучаев настаивал на широком развитии специального сельскохозяйственного образования. Высшие, средние и низшие сельскохозяйственные учебные заведения должны представлять собой триединое целое – одну непрерывную систему-лестницу. Великий патриот России был убежден, что «Если действительно хотят поднять русское земледелие, еще мало одной науки и техники, еще мало одних жертвований государства, – для этого необходимы добрая воля, просвещенный взгляд на дело и любовь к земле. А этому... может пособить лишь одна школа – низшая, средняя и высшая, университетская». Система образования дополнялась устройством местных естественноисторических и сельскохозяйственных музеев, коллекций, библиотек, опытных станций, организаций частных публичных курсов, сельскохозяйственных выставок, научных съездов и экскурсий.

Признавая значение практического образования, В.В. Докучаев выступал и за создание кафедр «чистого почвоведения» при университетах. Этим он подчеркивал фундаментальность науки о почве как связующего звена между науками о живой и неживой природе.

После революции в период с 1920 по 1960 гг. в СССР были открыты десятки кафедр почвоведения и создана система подготовки высококвалифицированных кадров в университетах и многочисленных сельскохозяйственных вузах во всех природных зонах (рис. 4).

В разделе «Наука» рассказано о развитии науки в послереволюционные годы.

В.В. Докучаев обосновал необходимость создания почвенных и сельскохозяйственных научно-исследовательских институтов и опытных станций во всех природных зонах России: «... Возможно детальное и возможно широкое изучение почв России, бесспорно, есть дело общегосударственное и общенародное, и притом первостепенной важности... Без исследования почв мы всегда будем идти на земледельческом пути в потемках... Изучение почв должно лежать в основе всех других отраслей сельского хозяйства».



Рисунок 3. Докучаевская система образования и просвещения в области почвоведения

Сразу после революции в стране начала создаваться сеть научных учреждений, ориентированных на широкомасштабные исследования природных ресурсов для народного хозяйства. К 1960 г. она была в основном завершена (рис. 5).

Крупный вклад в изучение почвенных ресурсов сделали ученики и последователи докучаевской научной школы фундаментального почвоведения: геолог и почвовед, академик, К.Д. Глинка (1867–1927 гг.); почвовед-агрохимик, основоположник коллоидной химии почв, академик, К.К. Гедройц (1872–1932 гг.); географ, геолог и почвовед, академик, Л.И. Прасолов (1875–1954 гг.); почвовед, географ, академик И.П. Герасимов (1905–1985 гг.); почвовед, член-корр., В.А. Ковда (1904–1991 гг.); почвовед, академик, д.б.н., Г.В. Добровольский (1915–2013 гг.).

Из многочисленных трудов почвоведов советского времени можно назвать: «Подзолообразовательный процесс» (А.А. Роде, 1937 г.), «Почвы СССР» (1939 г.), «Структура почвенного покрова» (В.М. Фридланд, 1972 г.), «Гумус и почвообразование» (В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова, 1980 г.), «Микробиология процессов почвообразования» (Т.В. Аристовская, 1980 г.), «Органическое вещество почв и процессы его трансформации» (Л.Н. Александрова, 1980), «Черноземы СССР» (в 8-и томах, 1974 г.), «Атлас почв СССР (И.С. Кауричев, И.Д. Громыко, 1974 г.), «Классификация почв СССР» (1977 г.).

В разделе «Популяризация знаний» уделено внимание просветительской деятельности в области почвоведения.

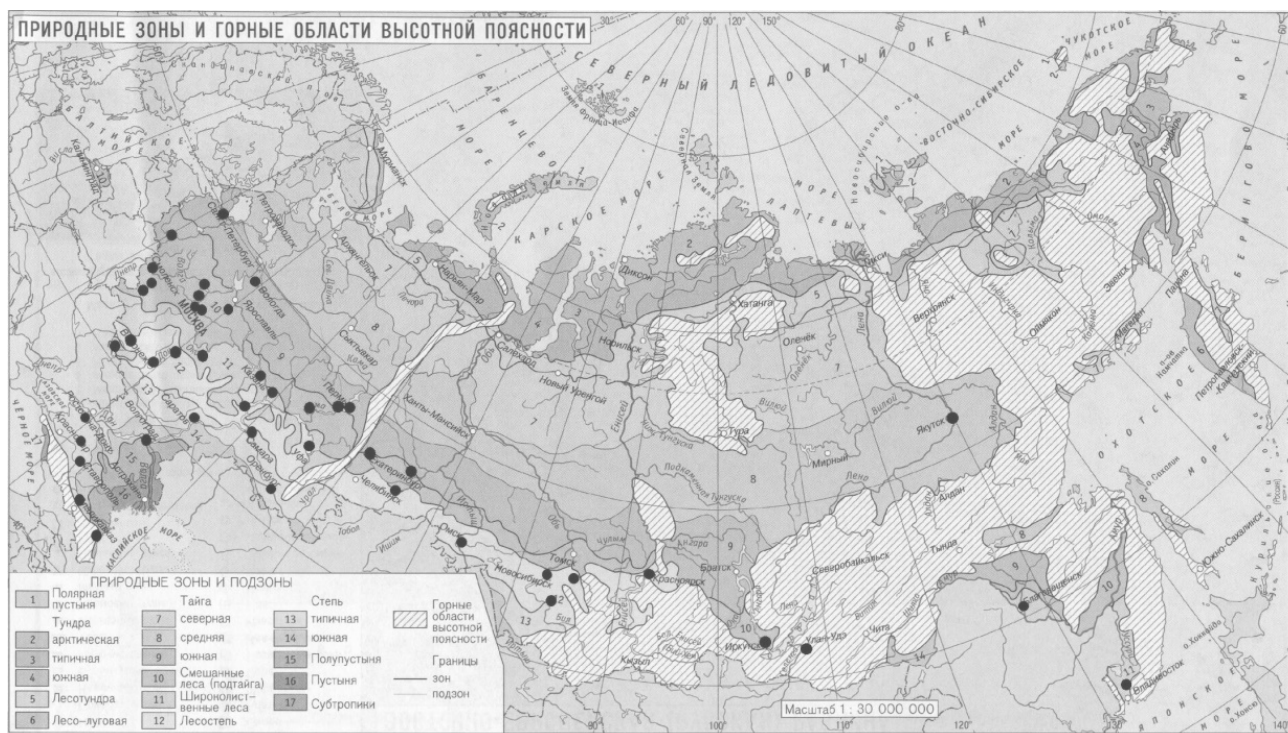


Рисунок 4. Карта-схема ВУЗов в природных зонах России, где ● – ВУЗы.

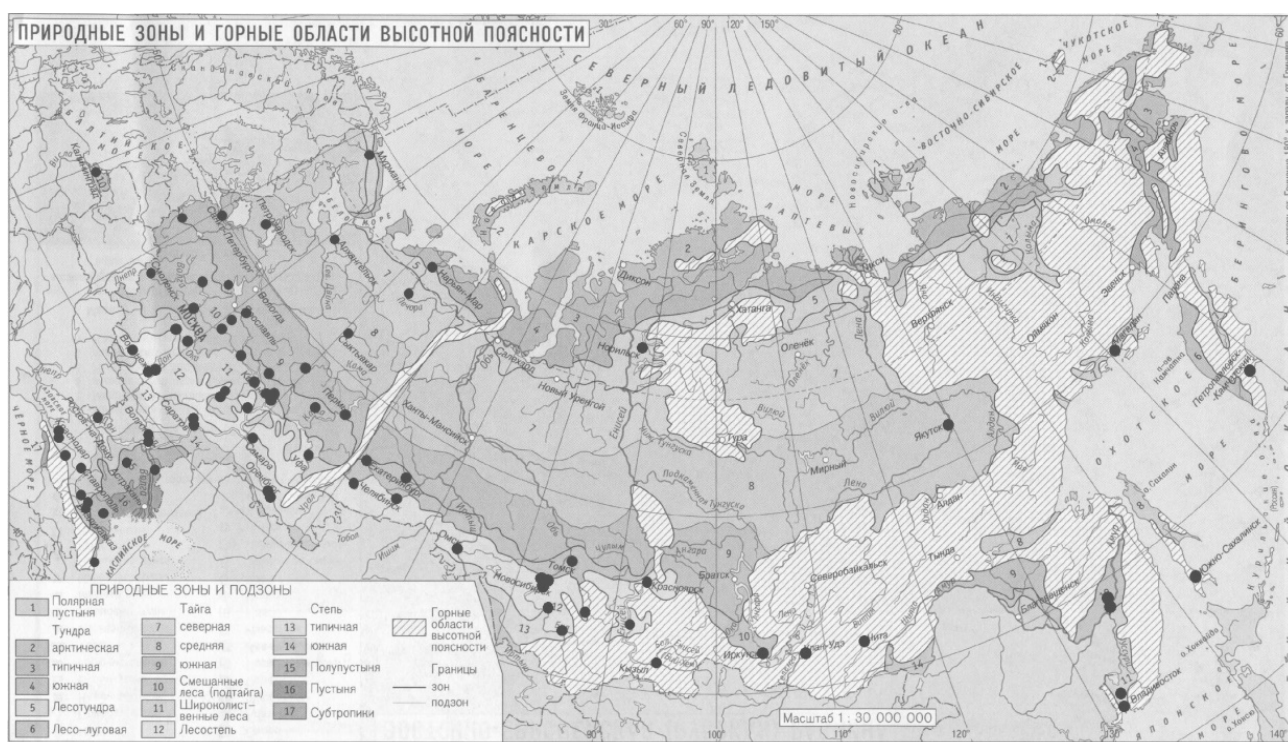


Рисунок 5. Карта-схема НИИ природных зон России, где ● – НИИ.

В.В. Докучаев подчеркивал, что: «... драгоценные сокровища науки остаются, и к величайшему сожалению, малодоступными народу и далеко не приносят ему той пользы, какой можно от них ожидать». Поэтому он считал, что «необходимо свести все имеющееся научное богатство в одно органически связующее целое и изложить данные результаты возможно популярным языком...» (рис. 3).

Особое внимание ученый уделял проекту организации центрального почвенного музея и местных естественноисторических музеев, которые были призваны решать вопросы не только организации исследований почв России, но и популяризировать знания о них среди населения. По инициативе В.В. Докучаева на VI съезде естествоиспытателей и врачей (1879)

был поставлен на обсуждение проект создания Центрального музея почвоведения в Санкт-Петербурге: «музей, возможно, широким распространением добытых результатов не может не способствовать поднятию естественноисторического образования народа, а такое образование лежит в корне улучшения экономического быта страны» (В.В. Докучаев).

Однако в бюрократической царской России нелегко было доказать необходимость организации почвенного учреждения, не имеющего аналога в Западной Европе, несмотря на очевидную жизненность идей докучаевского почвоведения, практическую направленность исследований новой науки, ставившей прямую задачу добиться процветания своего отечества. Педологический музей им. В.В. Докучаева был открыт лишь после смерти В.В. Докучаева в 1904 г. при Вольном Экономическом Обществе. В 1946 г. решением Правительства музей реорганизован в самостоятельное научное учреждение «Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева АН СССР». В СССР были открыты почвенные музеи при многих учебных заведениях и почвенных институтах, выпущены научно-популярные книги, сняты фильмы о почве.

Раздел «Докучаевские бастионы» посвящен вопросам реализации докучаевской программы реформирования сельского хозяйства степной зоны и спасению черноземов. В.В. Докучаев видел «выход из крайне надломленного состояния степного хозяйства в самом близком союзе, в самом тесном, непрерывном, всестороннем и живом взаимодействии науки и практики».

Научную программу реабилитации природы степной зоны ученый изложил в 1892 г. в книге «Наши степи. Прежде и теперь». По словам пролетарского писателя, А.М. Горького: «Земля должна быть достойна человека, и для того, чтобы она была вполне достойна его, человек должен устраивать землю так же заботливо, как он привык устраивать своё жилье, свой дом».

Программа включала мероприятия по «уничтожению зла, причиненного природе», «устранение или ослабление причин, которые надорвали земледелие», «применение [научных знаний] целенаправленное, строго систематическое и последовательное». К 30-летию революции в стране были созданы условия для реформирования сельского хозяйства: подготовлены специалисты, проведены комплексные исследования природных ресурсов для целей земледелия. В 1946 г. советское правительство и общественность широко отметили столетие со дня рождения выдающегося естествоиспытателя и основателя науки о почве. В 1949 г. в России приступили к выполнению плана преобразования природы, который почти целиком базировался на идеях и научной программе В.В. Докучаева (рис. 6). План включал: создание полезащитных лесонасаждений, внедрение почвозащитной системы земледелия, регулирование гидрологического режима степной зоны, внедрение полевых севооборотов, осуществление противоэрозионных мероприятий¹.

Благодаря выполнению плана преобразования природы степной зоны были заложены основы для реализации государственной программы подъема сельского хозяйства на базе специализации, химизации и мелиорации.

Реформы в сельском хозяйстве, проводимые в стране в 1960–1980 гг., явились дальнейшим развитием идей В.В. Докучаева. К 1980 г. в России заложены научные основы устойчивого землепользования, обеспечивающие продовольственную независимость страны (внедрены зональные системы земледелия, проведена широкомасштабная водная и химическая мелиорация земель, реализована государственная система контроля и управления плодородием почв).

Среди крупных трудов последних десятилетий в области почвоведения можно выделить: «Национальный атлас почв РФ» (2011 г.), «Федеральный атлас “Природные ресурсы и экология России”» (2002 г.); «Классификация и диагностика почв России» (2004 г.), «Мелио-

¹ Успешной реализации программы В.В. Докучаева способствовала отмена частной собственности на землю на Втором Всероссийском Съезде Советов Рабочих и Крестьянских Депутатов: «Право частной собственности на землю отменяется навсегда» (28 октября 1917 г., «Декрет о земле»). Согласно Конституции 1936 г. «Земля, занимаемая колхозами, закрепляется за ними в бесплатное и бессрочное пользование, то есть навечно» (Статья 8).

рация почв» (Ф.Р. Зайдельман, 2003 г.), «Единый государственный реестр почвенных ресурсов России» (2014 г.), «Агроэкологическая оценка земель, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий» (В.И. Кирюшин, А.Л. Иванов, 2005 г.), «Экология почв» (Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин, 2012 г.) и др.

В разделе «На грани истощения (на круги своя?)» рассказано о современном состоянии почв в России и проблемах деградации.

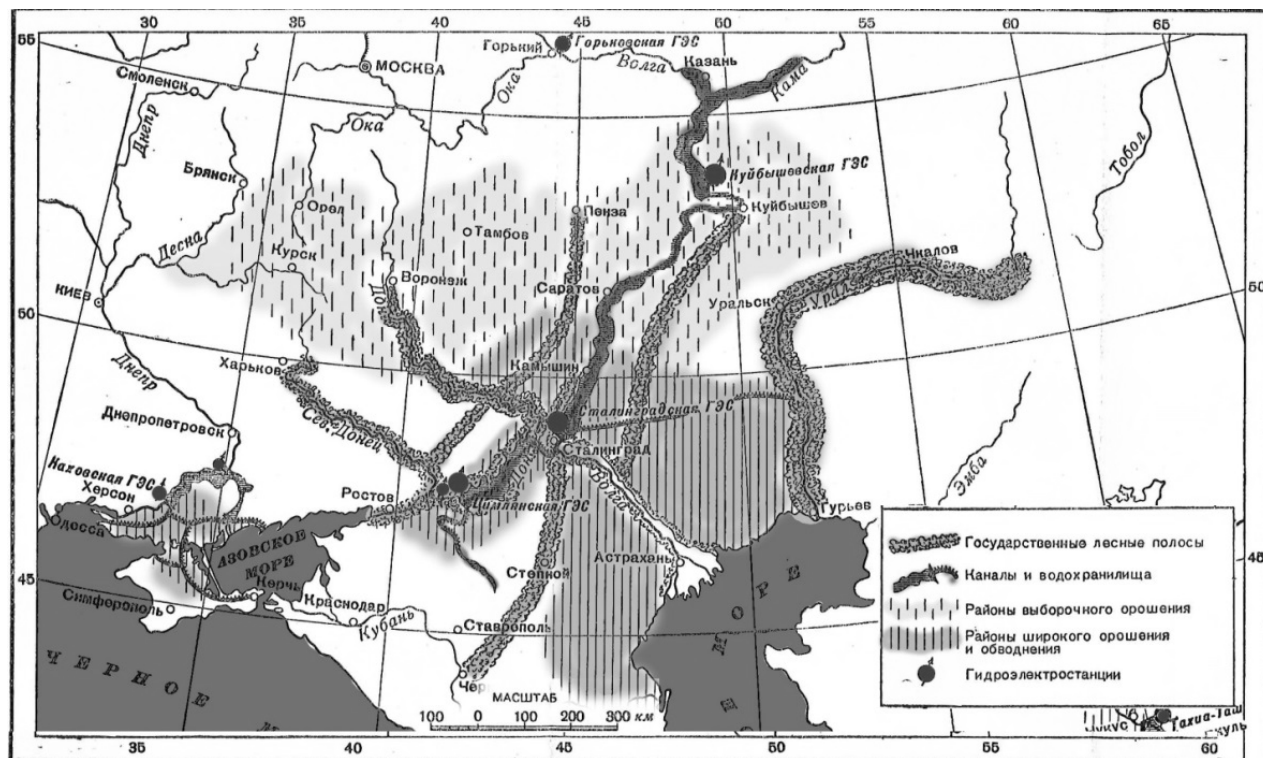


Рисунок 6. План преобразования природы.

Изменение социально-экономических условий в России после 1990 г. приостановило прогрессивные реформы, проводимые в сельском хозяйстве страны. Государство отказалось от монопольного права на собственность земли и утратило функцию управления почвенными ресурсами. По Указу Президента РФ от 27 декабря 1991 г. № 323 «... Коллективам совхозов, ... колхозов и кооперативов, использующих землю на праве бессрочного (постоянного) пользования, до 1 марта 1992 г. предложено принять решение о переходе к частной, коллективно-долевой и другим формам собственности...». Конституция РФ (1993 г.) провозгласила Право частной собственности на землю «... Граждане и их объединения вправе иметь в частной собственности землю...» (Статья 36).

И вновь приходят на память слова великого писателя и патриота России Л.Н. Толстого: «... не может существовать права одного, какого бы то ни было человека, богатого или бедного, царя или крестьянина, владеть землею как собственностью. Земля есть достояние всех, и все люди имеют одинаковое право пользоваться ею» (Два письма к П.А. Столыпину, 1907 г.).

Как результат, за последние 20–30 лет отмечены: сокращение посевных площадей в стране на 40.2 млн га, а также рост в десятки и более раз темпов всех форм деградации почв (опустынивание, истощение, загрязнение, переуплотнение, засоление, дегумификация, подкисление, эрозия и т.п.). Злободневно звучит выражение К. Маркса: «Культура, если она развивается стихийно, а не направляется сознательно... оставляет после себя пустыню».

В настоящее время различным формам деградации подвержены около 230 млн га земель: сельскохозяйственные земли деградированы на 48 % площади, пастбища и сенокосы – на 25 %, земли лесного фонда – на 3 %. Деградация почв стала важнейшей социально-экономической проблемой и угрозой – экологической, экономической и, в целом, национальной безопасности России (рис. 7).



Рисунок 7. Последствия деградации почв

Создание красных книг почв стало насущной задачей почвоведов.

Для России исключительно актуально звучат слова Ж.Ж. Руссо¹, сказанные 200 лет назад (1807 г.): «Единственное средство удержать государство в состоянии независимости от кого-либо – это сельское хозяйство. Обладай вы хоть всеми богатствами мира, если вам нечем питаться – вы зависите от других... Торговля создает богатство, но сельское хозяйство обеспечивает свободу».

В России есть все условия для создания устойчивого высоко эффективного экологичного сельского хозяйства, важно только помнить слова В.В. Докучаева: «Чернозем для России дороже всякой нефти, всякого каменного угля, дороже золотых и железных руд; в нем – вековечное неистощимое русское богатство».

ЛИТЕРАТУРА

В.В. Докучаев. Сочинения (в 8-и томах). М.–Л.: АН СССР, 1949–1953.

¹ Жан Жак Руссо (1712–1778 гг.) – французский философ, писатель, мыслитель эпохи Просвещения

МАГНИТНЫЕ СФЕРУЛЫ В АГРОГЕННЫХ ПОЧВАХ СРЕДНЕГО ПРЕДУРАЛЬЯ

С.М. Горохова, А.А. Васильев

ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ, Пермь

В статье рассмотрены минералогический и химический составы магнитных микросферул агродерново-мелкоподзолстых почв южной тайги Пермского края. Проанализированные частицы, главным образом, состоят из магнетита. Магнитная фаза почв обогащена тяжёлыми металлами.

ВВЕДЕНИЕ

Железосодержащие минералы чувствительны ко многим экологическим процессам, что делает актуальным их анализ при изучении изменения условий почвообразования, загрязнения окружающей среды, и для понимания механизмов современных почвообразовательных процессов [3, 8, 9]. Концентрация железосодержащих магнитных частиц в составе мелкозёма почв определяет их магнитную восприимчивость. Ранее было выявлено, что морфо-магнитные профили дерново-подзолистых почв Среднего Предуралья дифференцируются на эколого-магнитные горизонты. В зависимости от условий почвообразования и степени антропогенного воздействия выделяются различные типы распределения магнетиков в профиле дерново-подзолистых почв [4]. Одним из направлений мониторинга почвенного покрова являются методы экологического магнетизма [6, 8]. Установлено, что в составе магнитной фазы почв городов Пермского края аккумулируются тяжелые металлы природно-техногенного генезиса [2, 7], но минералогия и элементный химический состав магнитной фазы почв сельскохозяйственных угодий региона изучены недостаточно, хотя проблема загрязнения тяжёлыми металлами почв агроландшафтов региона является актуальной [3, 5, 8].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования были почвы, преобладающие в структуре почвенного покрова южной тайги Предуралья: тяжелосуглинистые агродерново-подзолистые почвы, сформировавшиеся на покровных элювиально-делювиальных породах и супесчаные агродерново-подзолистые почвы на древнеаллювиальных отложениях. Разрезы были заложены на территории Карагайского и Краснокамского районов Пермского края.

Методы исследования: 1) сухое фракционирование магнитной фазы почвы постоянным ферритовым магнитом; 2) электронно-зондовый микроанализ на аналитическом комплексе «Tescan Vega II» в Геофизической обсерватории «Борок» Института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН; 3) рентгеноструктурный анализ (РСА) на спектрометре Axiom Advanced PW 4400/04 в Институте геохимии и аналитической химии имени В.И. Вернадского Российской академии наук; 4) расчет коэффициента магнитного обогащения (K_{MO}) по формуле:

$$K_{MO} = \frac{C_{м.ф.}}{C_{мелкозем}},$$

где $C_{м.ф.}$ – концентрация i -элемента в магнитной фазе почвы, %; $C_{мелкозем}$ – концентрация i -элемента в почвенном мелкоземе, %.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Изучение минералогии магнитной фазы выявило большое разнообразие минерального комплекса сферических железосодержащих магнитных частиц, которые формируются в особых абиотических условиях, связанных с высокой температурой [5, 10].

Содержание магнитной фазы составляет 0.3 % от массы мелкозема. Магнитная восприимчивость сильномагнитной фазы почвы в 100 раз выше, чем восприимчивость немагнитной матрицы.

В состав магнитной фазы пахотного слоя агродерново-мелкоподзолистой тяжелосуглинистой почвы входит в основном магнетит и редкие минералы высокотемпературного генезиса: тэнит (рис. В) и вюстит (D2). Их генезис может быть вулканогенным или космогенным. Нельзя исключать и аэральные техногенные источники поступления этих минералов в почвы Предуралья.

Размер магнитных частиц составляет от 0.0011 мм до 0.4 мм.

На рис. А представлена начальная стадия выветривания сферулы магнетита. На гладкой поверхности частицы развиваются отдельные корродированные участки извилистой формы, которые хаотично расположены на поверхности сферулы (размер частицы 0.196 мм). Магнетит в составе дерново-подзолистых почв подвергается разрушению под воздействием кислотного гидролиза и элювиально-глеевого процесса. Магнитная восприимчивость поверхностных горизонтов глееватых тяжелосуглинистых почв ниже, чем у почвообразующей породы [1].

На рис. В представлена сферула тэнита или сплав Fe и Ni. Она характеризуется неровной церебральной (или мозгоподобной) поверхностью (размер = 0.0011 мм). Извилистые бороздки равномерно покрывают поверхность сферулы тэнита. Содержание никеля в тэните составляет 29.7 %.

Поверхность силикатной сферулы армирована кристаллами магнетита (рис. С). Размер частицы около 0.04 мм.

В магнитной фазе агродерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы также были идентифицированы следующие магнитные частицы: силикатная сферула покрытая скелетными магнетитовыми кристаллами в виде многолучевых звезд (рис. D1) (размер частицы = 0.025 мм), вюстит неправильной формы (рис. D2), содержание железа в частице составляет 93 % (размер = 0.025 мм) и титаномагнетит обломочной формы с ноздреватой поверхностью (рис. D3) (размер = 0.04 мм).

Частицы магнитной фазы пахотного слоя агродерново-подзолистой супесчаной почвы на древнем аллювии имеют свои морфологические и минералогические особенности. Частицы магнитной фазы приобрели окатанные формы при абразивных процессах в потоках твердой фазы речного стока.

Некоторые сферулы магнетита имеют полигональное строение поверхности (рис. E1, E2). Полигоны-пластинки правильной формы равномерно покрывают поверхность сферулы в виде чешуек с ровными краями. Между полигональными пластинами магнетита находится алюмосиликатная масса, которая диагностируется по её серой окраске в отражённых электронах. Размер частиц составляет 0.033–0.045 мм.

Частица магнетита (размер = 0.036 мм) могла приобрести неровную поверхность при абразии в процессе переотложения или в результате растворении магнетита под воздействием почвенных кислот (рис. E3). Реакция среды мелкозема в этой почве – среднекислая, pH_{KCl} составляет 4.5 единиц. Почва была известкована более 20 лет назад. В аналоге почвы под лесом она ниже на 0.6 единиц.

В магнитной фазе агродерново-подзолистой супесчаной почвы (рис. E) выявлен разнообразный состав минералов: частица № 4 – манганильменит в виде скопления неправильной формы, содержит Mn 0.36 % (размер = до 0.033 мм), № 5 – сферула маггемита с неровной поверхностью (размер = 0.033 мм), № 6 – феррисилит неправильной формы (размер = 0.084 мм).

Частица магнетита № 2 (рис. F) имеет гладкую поверхность и окатанную форму (размер = 0.032 мм), Частица магнетита № 3 характеризуется полигональной поверхностью (размер = 0.030 мм), № 4 – частица феррисилита сферической формы содержит 31.7 % железа (размер = 0.034 мм), № 5 – микрочастица титанистого магнетита содержит Ti в количестве 2.15 % (размер = 0.0038 мм). Частица № 1 ильменита имеет эллипсоидную форму, её поверхность неровная (размер = 0.125 мм).

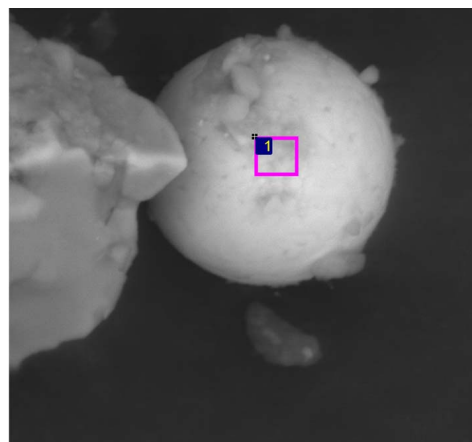
На поверхности сферулы магнетита видны следы раскристаллизации магнетита и маггемита (рис. G). Оксиды превращаются в гидроксиды железа, что сопровождается снижением доля железа в кристаллической решётке минералов.

Циркон и пирролюзит характеризуются обломочной формой, грани и ребра неровные (рис. H). Поверхность циркона неоднородная по химическому составу (рис. H1, H2).

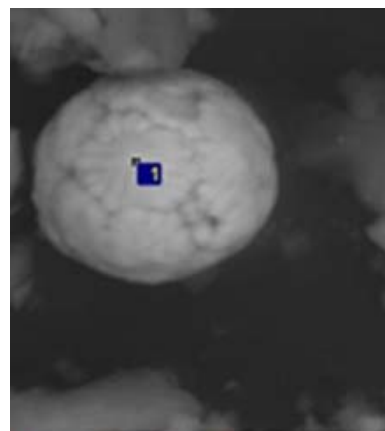
Элементный химический состав магнитных частиц мелкозема и конкреций приведен в табл.

Таблица. Химический состав мелкозема, магнитной фазы и конкреций агродерново-мелкоподзолистых почв Карагайского и Краснокамского районов Пермского края.

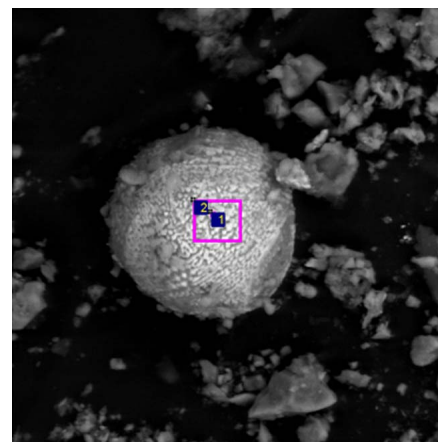
№ рисунка	Название минерала	O	Al	Si	K	Ni	Ti	Ca	Mn	Fe	Zr	Итог
		Весовой %										
Мелкозем агродерново-мелкоподзолистой тяжелосуглинистой почвы Карагайского района, разрез 2, слой 0–20 см												
–	–	55.48	3.20	34.79	0.80	–	–	0.72	0.12	1.87	–	98.72
Мелкозем агродерново-мелкоподзолистой супесчаной почвы Краснокамского района, разрез 2, слой 0–31 см												
–	–	55.32	2.48	37.94	0.70	–	0.29	0.46	0.32	1.03	–	98.54
Магнитная фаза агродерново-мелкоподзолистой тяжелосуглинистой почвы Карагайского района, разрез 2, слой 0–20 см												
A	Магнетит	24.83	3.14	5.21	–	–	–	0.3	–	66.52	–	100.00
B	Тэзит	27.54	0.8	0.43	–	29.68	–	–	–	41.54	–	100.00
Магнитная фаза агродерново-мелкоподзолистой тяжелосуглинистой почвы Карагайского района, разрез 30, слой 0–20 см												
C1	Магнетит	33.36	1.46	1.34	–	–	–	–	–	63.85	–	100.00
C2	Магнетит	27.95	2.37	3.46	–	–	–	–	–	66.23	–	100.00
D1	Магнетит	34.91	5.01	4.28	–	–	0.49	–	–	55.31	–	100.00
D2	Вюстит	3.17	0.93	2.39	–	–	0.36	–	–	93.15	–	100.00
D3	Титано-магнетит	38.65	0.39	–	–	–	19.34	–	–	41.62	–	100.00
Магнитная фаза агродерново-мелкоподзолистой супесчаной почвы Краснокамского района, разрез 2, слой 0–31 см												
E1	Магнетит	29.88	0.09	4.09	0.23	–	0.28	–	–	61.93	–	100.00
E2	Магнетит	29.22	2.18	1.70	–	–	0.20	–	0.36	66.34	–	100.00
E3	Магнетит	31.47	4.57	4.53	0.08	–	0.47	–	0.32	58.37	–	100.00
E4	Манганиль-менит	36.77	1.40	2.88	0.18	–	17.67	–	0.31	39.44	–	100.00
E5	Маггемит	40.49	13.97	18.01	1.68	–	1.59	–	–	24.20	–	100.00
E6	Феррисилит	49.00	4.19	42.60	–	–	0.29	–	–	3.05	–	100.00
F1	Ильменит	29.70	0.33	0.45	0.16	–	21.91	–	–	47.45	–	100.00
F2	Магнетит	28.05	1.65	1.81	–	–	–	–	–	68.5	–	100.00
F3	Магнетит	26.04	3.07	3.12	0.14	–	–	–	–	67.64	–	100.00
F4	Феррисилит	42.79	12.16	11.25	1.10	–	0.96	–	–	31.74	–	100.00
F5	Магнетит титанистый	33.78	2.01	1.49	0.22	–	2.15	–	–	60.35	–	100.00
G1	Магнетит	33.39	6.89	8.13	–	–	–	–	–	51.59	–	100.00
G2	Магнетит	26.03	4.32	6.53	–	–	–	–	–	63.12	–	100.00
G3	Магнетит	25.14	3.88	4.55	–	–	–	–	–	66.44	–	100.00
Слабомагнитные ортштейны агродерново-мелкоподзолистой тяжелосуглинистой почвы Карагайского района, разрез 2, слой 0–20 см												
H1	Циркон	39.49	5.02	14.26	0.68	–	–	–	1.52	16.37	22.65	100.00
H2	Циркон	48.04	4.08	14.49	0.44	–	–	–	0.40	7.50	25.06	100.00
H3	Пирролюзит	9.98	3.87	7.70	2.25	–	–	–	62.66	12.53	1.01	100.00



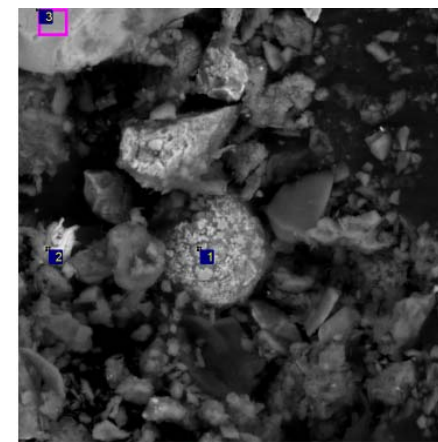
0.01 мм Увеличение 8360х
А)



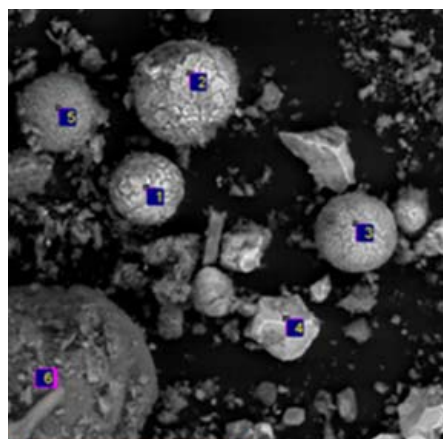
0.001 мм Увеличение 8890х
В)



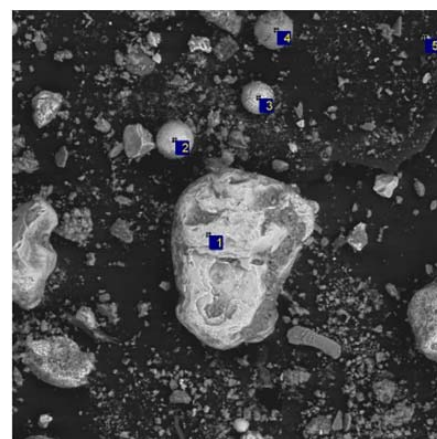
0.04 мм Увеличение 1875х
С)



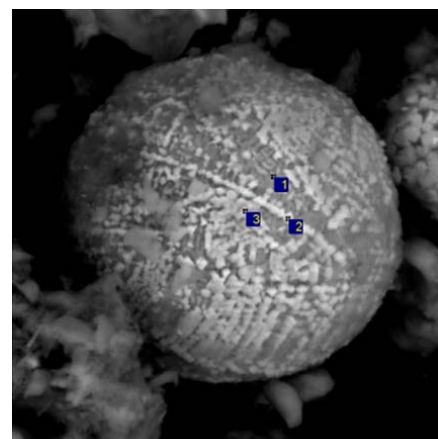
0.04 мм Увеличение 1875х
D)



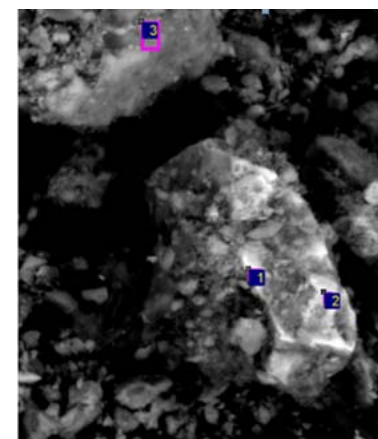
0.09 мм Увеличение 900х
Е)



0.1 мм Увеличение 833х
F)



0.01 мм Увеличение 8330х
G)



0.04 мм Увеличение 3300х
H)

Рисунок. Микронзондовые снимки частиц магнитной фазы мелкозёма и конкреций агродерново-мелкоподзолистых почв Карагайского и Краснокамского районов Пермского края: А) магнетит, В) тэнит, С) магнетит, D) 1 – магнетит, 2 – титаномagnetит, 3 – вюстит; Е) 1–3 – магнетит, 4 – манганийльменит, 5 – маггемит, 6 – феррисилит; F) 1 – ильменит, 2, 3 – магнетит, 4 – феррисилит, 5 – магнетит титанистый; G) магнетит; H) 1, 2 – циркон, 3 – пирролюзит.

Геохимическая роль магнитных частиц мелкозема изученных агродерново-мелкоподзолистых почв заключается, прежде всего, в концентрировании железа и тяжелых металлов. Увеличение в 5.3 раза содержания железа в магнитной фазе почвы обусловлено присутствием в нем магнетита. Концентрация элементов, относящихся к группе тяжелых металлов и металлоидов, в сильномагнитной фазе также в несколько раз выше, чем в образце почвенного мелкозема до извлечения из неё магнитных частиц. Коэффициенты магнитного обогащения (КМО) химическими элементами для сильномагнитной фазы образуют следующий геохимический ряд: $\text{Cr } 8.7 > \text{Zn } 5.9 > \text{Ni } 4.3 > \text{Cu } 4.0 > \text{Co } 2.8 > \text{V } 2.6 > \text{Pb } 2.4 > \text{As } 2.0 > \text{Mn } 1.1$. Для слабомагнитной фазы КМО несколько ниже.

Концентрация магния в магнитной фазе в 1.3 раза выше, чем в мелкоземе. Магний способен частично замещать двухвалентное железо в решетке магнетита.

Сильномагнитная фаза обеднена Na, Si, K и Al, которые входят в состав калиево-натриевых полевых шпатов и других немагнитных минералов мелкозема почвы. Эта группа алюмосиликатов магнитом из почвы не извлекается.

Концентрирование тяжелых металлов в магнитной фазе обусловлено высокой адсорбционной емкостью ферромагнитных оксидов железа и минералов группы шпинелей по отношению к ионам тяжелых металлов, которые адсорбируются на их поверхности, а также способностью железа к изоморфным замещениям на катионы тяжелых металлов в кристаллической решетке магнетита. Кроме сферических частиц в магнитных фазах изученных почв выделены обломочные формы ильменита с ровными гранями и острыми ребрами. В магнитной фазе агродерново-подзолистой супесчаной почвы присутствует феррисилит (рис. Е6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, морфологические признаки магнитных частиц агродерново-подзолистых почв разного гранулометрического состава зависят от генезиса этих частиц. Сферулы магнитной фазы являются продуктами высокотемпературного синтеза. На территории Среднего Предуралья, по нашему мнению, возможно обогащение почвообразующих пород и почв продуктами древневулканической деятельности, а также поступление в почву космической пыли или частиц выбросов металлургических предприятий и ТЭЦ из трансграничных и региональных потоков воздушных масс.

Литогенные и (или) техногенные магнитные частицы участвуют в современных процессах почвообразования и часто являются очагом-ядром формирования железо-марганцевых конкреций агродерново-подзолистых глееватых почв региона. Валовой химический состав магнитной фазы характеризуется повышенным содержанием хрома, цинка, никеля. Локальная концентрация этих элементов в сильномагнитной фазе превышает их содержание в немагнитной матрице мелкозема соответственно в 8.7; 5.9 и 4.3 раз.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Васильев А.А.* Гидрологический режим, свойства и диагностика дерново-подзолистых поверхностно-оглеенных почв на покровных отложениях Предуралья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: 1994. 22 с.
2. *Васильев А.А., Лобанова Е.С.* Магнитная и геохимическая оценка почвенного покрова урбанизированных территорий Предуралья на примере города Перми. Пермь: ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА. 2015. 243 с.
3. *Васильев А.А., Романова А.В.* Железо и тяжелые металлы в аллювиальных почвах Среднего Предуралья. Пермь: ИПЦ «Прокрость». 2014. 231 с.
4. *Горохова С.М., Разинский М.В.* Морфология минералов железа и морфомагнитный профиль дерново-подзолистых почв на древнеаллювиальных отложениях р. Кама // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Молодежная наука 2017: технологии и инновации». Пермь. 2017. Ч. 1. С. 120–123.
5. *Загурский А.М., Иванов А.В., Шоба С.А.* Субмикроморфология магнитных фракций почв // Почвоведение. 2009. № 9. С. 1124–1132.

6. Ковриго В.П. Почвы Удмуртской Республики. Ижевск: РИО Ижевская ГСХА. 2004. 490 с.
7. Копылов И.С. Гидрогеохимические аномальные зоны Западного Урала и Приуралья //Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2012. № 12. С. 145–149.
8. Evans M.E., Heller F. Environmental Magnetism: Principles and Applications of Enviromagnet-ics. Academic Press, 2003. Т. 86. San Diego, California, Academic Press, 299 p., doi:10.1002/jqs.858.
9. Liu Q.S. et al. Environmental magnetism: principles and applications //Reviews of Geophysics. 2012. Т. 50. № 4. RG4002, doi:10.1029/2012RG000393.
10. Rowan L.R., Ahrens T.J. Observations of impact-induced molten metal-silicate partitioning // Earth and Planetary Science Letters. 1994. № 122 (1-2). P. 71–88.

УДК 332.144

РАСЧЕТ И ОЦЕНКА ЭКОЛОГО-ХОЗЯЙСТВЕННОГО БАЛАНСА МУНИЦИПАЛЬНЫХ РАЙОНОВ ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

С.С. Огородников

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

В статье приведена картографическая оценка эколого-хозяйственного баланса по муниципальным образованиям Тульской области. Экологическая напряженность сильнее выражена в районах, где преобладают черноземы, и слабее в муниципальных образованиях с серыми лесными и дерново-подзолистыми почвами. Обобщены данные оценок по ряду субъектов РФ. Выявлено, что варьирование значений коэффициентов обусловлено в большей степени не экономической и экологической дифференциацией регионов, а разницей в исходных данных, применяемых для анализа. Сделаны предложения по совершенствованию методики оценки.

ВВЕДЕНИЕ

В обеспечении устойчивого развития важную роль играет организация рационального территориального планирования, при котором сохраняется ландшафт, и эффективно используются земельные ресурсы. Для оценки территориального планирования разработана концепция эколого-хозяйственного баланса (ЭХБ). В рамках этой концепции Б.И. Кочуровым предложена авторская методика оценки территории по трем коэффициентам:

- экологической напряженности (K_a);
- относительной экологической напряженности (K_o);
- естественной защищенности территории (K_{ez}) [6, 7].

Данная методика широко применяется многими исследователями. В табл. 1 представлены рассчитанные ими значения коэффициентов.

Таблица 1. Значения коэффициентов эколого-хозяйственного баланса в различных регионах

Исследуемые регионы	K_o	K_a	K_{ez}
Волгоградская область [2]	1.2–27.39	0.02–937.5	0.1–0.8
Красногорский и Советский районы Алтайского края [4]	0.04–1.95	0.24–4.23	0.46–0.78
Монголия [1]	0.9–6	1–4.1	0.37–0.66
Республика Мордовия [8]	0.8–48.5	0.2–1.5	0.1–1.6
Республика Адыгея [3]	1.02	0.51	0.4
Ландшафтные районы юго-востока Белоруссии [13]	0.81–3.02	0.92–18	0.46–0.54
Республика Коми (северные районы) [5]	0.02–0.06	0.02–0.03	0.88–0.94
Воронежская область [9]	1.5– 33.5	0.9–7	0.19–0.59

Из представленный в таблице данных видно, что значения коэффициентов имеют очень большой разброс. При этом все авторы утверждают, что использовали методику без каких-либо модификаций. Методика была разработана Б.И. Кочуровым в конце 90-х годов XX века, еще до принятия «Земельного кодекса». В классификации мы видим смешение понятий «категории земель» и «виды разрешенного использования» с характеристиками рациональности. Поэтому для проведения оценок применяют ДДЗ, анализ космоснимков, различные формы статистической отчетности. В конечном счете, у каждого исследователя получается оригинальная оценка территории, на основе общего методического подхода.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования – эколого-хозяйственное состояние земель муниципальных образований Тульской области. Использовались данные структуры земельных угодий по административным районам [10]. Эти данные приведены для всех субъектов РФ и могут быть использованы для оценки ЭХБ в других регионах.

Для оценки площади природоохранных земель использовались данные информационно-аналитической системы «ООПТ России» [12].

В работе применялись методы сортировки и обработки статистической информации и картографического моделирования с помощью геоинформационных технологий. Проведен анализ полученных картограмм. Как отмечалось выше, основой работы является методика оценки ЭХБ. В рамках данной методики все земли муниципального образования разделяются на группы (табл. 2), каждой из которых присваивается определенный балл.

Таблица 2. Классификация земель по степени антропогенной нарушенности (АН).

Категория АН	Балл АН	Виды и категории земель
Высшая	6	Земли промышленности, транспорта, городов, поселков, инфраструктуры, нарушенные земли
Очень высокая	5	Орошаемые и осушаемые земли
Высокая	4	Пахотные земли, ареалы интенсивных рубок, пастбища и сенокосы, используемые нерационально
Средняя	3	Многолетние насаждения, рекреационные земли
Низкая	2	Сенокосы, леса, используемые ограниченно
Очень низкая	1	Природоохранные и неиспользуемые земли

После вычисления площади земель, относящихся к той или иной категории антропогенной нарушенности, проводится расчет коэффициентов ЭХБ подробно описанный в табл. 3.

Таблица 3. Расчет коэффициентов ЭХБ согласно методике Б.И. Кочурова.

Наименование коэффициента	Формула	Используемые данные	Характеристика изменения значений
Коэффициент абсолютной экологической напряженности	$K_a = \frac{АН_6}{АН_1}$	Учитываются площади с высшей и очень низкой антропогенной нарушенностью	K_a – чем выше значение коэффициента, тем напряженнее ситуация
Коэффициент относительной экологической напряженности	$K_o = \frac{АН_4 + АН_5 + АН_6}{АН_1 + АН_2 + АН_3}$	Учитываются площади всех категорий антропогенной нарушенности	
Коэффициент естественной защищенности территории	$K_{ez} = \frac{Pc\phi}{Po}$	Используется формула: $Pc\phi = АН_1 + 0.8АН_2 + 0.6АН_3 + 0.4АН_4$ и Po – площадь исследуемой территории	K_{ez} – чем выше значение коэффициента, тем благополучнее ситуация

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

На рис. 1 показано пространственное распределение значений K_{ez} . Критическая экологическая ситуация наблюдается в городах и городских округах: Тула, Новомосковск, Донской, Алексин. При этом в стратегии развития Тульской области до 2030 года ключевым фактором является развитие Тульской агломерации, которая должна располагаться на территории перечисленных выше городов. К 2030 году численность жителей в её границах должна достигнуть 84 % от общего числа жителей региона [11]. Создание агломерации может привести к экологической катастрофе.

Наблюдается чёткая зависимость: районы, в которых преобладают выщелоченные и оподзоленные черноземы, характеризуются более низкими значениями коэффициента (0.44–0.50), чем районы, для которых характерны дерново-подзолистые и серые лесные почвы. Что объясняется разной степенью интенсивности сельскохозяйственного освоения территории.

В первую очередь это связано с тем, что площади занятые лесами в районах различаются на порядок. Например, в Суворовском районе лесом занято 36869 га (34.6 % от общей площади), в Куркинском всего 2708 га (2.9 % от общей площади). В целом в районах с серыми лесными почвами площади лесов существенно выше, чем в чернозёмных.

Площадь сенокосов и пастбищ существенно не влияет на оценку в Ленинском и Алексинском районе она составляет около 12 %, а в черноземных районах 15–17 % от общей площади. Площади многолетних насаждений относительно невелики и вносят существенный вклад только в оценку городских территорий (11.3 % в Туле, 19.4 % в Донском).

Эти результаты подтверждает и расчет K_o представленный на рис. 2.

Значения коэффициента абсолютной экологической напряженности представлены в табл. 4. Значения очень сильно варьируются. Это связано с тем, что не в каждом муниципальном образовании есть земли ООПТ, и их площади сильно отличаются. В некоторых районах к землям ООПТ относятся участки под санаториями и домами отдыха, в других напротив даже существующим природным памятникам не присвоен статус ООПТ.

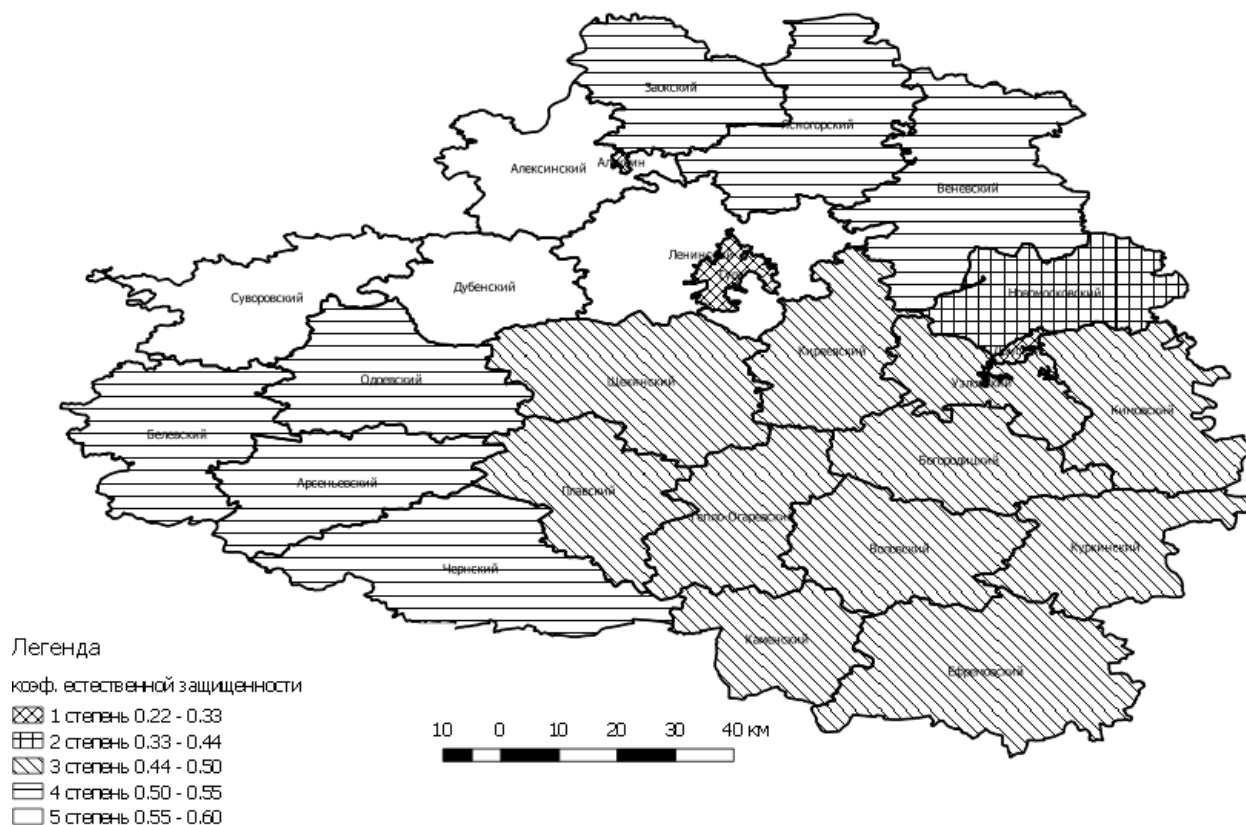


Рисунок 1. Картограмма напряженности эколого-хозяйственного состояния (ЭХС) территории Тульской области по K_{ez} .

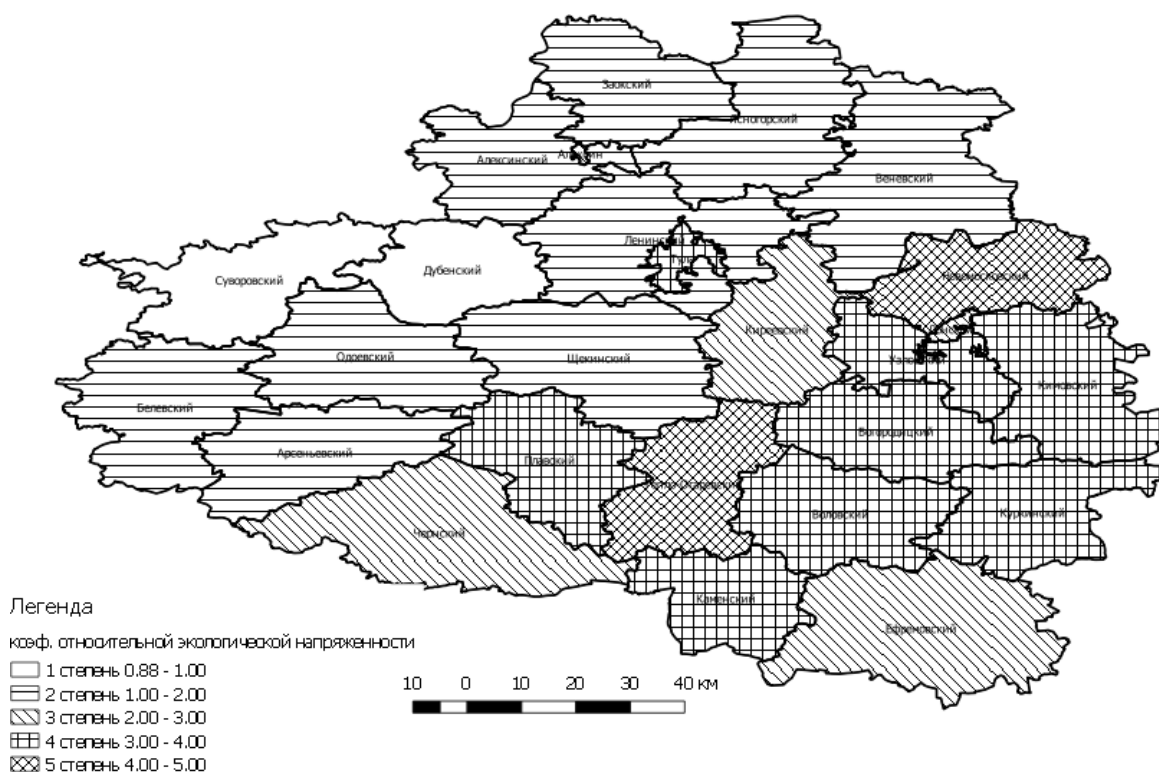


Рисунок 2. Картограмма напряженности эколого-хозяйственного состояния (ЭХС) территории Тульской области по K_o .

Таблица 4. Величина коэффициента абсолютной экологической напряженности для районов Тульской области

Муниципальные районы	K_a	Муниципальные районы	K_a
Щекинский	4	Заокский	33
Ленинский	6	Суворовский	68
Ефремовский	8	Веневский	72
Ясногорский	9	Кимовский	80
Алексинский	10	Новомосковск	315
Куркинский	10	Киреевский	349
Богородицкий	17	Тула	586
Тепло-Огаревский	24	Плавский	1279

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Методика расчета ЭХБ нуждается в унификации. В ней должны использоваться статистические материалы, которые можно найти во всех субъектах РФ.
2. Расчет коэффициентов ЭХБ показывает, что на юго-востоке области ситуация более напряженная, чем на северо-западе. Что может объясняться разной интенсивностью хозяйственной деятельности.
3. Значения K_{ez} находится в пределах 0.22–0.60. Критический уровень значений <0.5 . В 15-и муниципальных образований необходимо принятие мер по оптимизации землепользования.
4. K_a характеризует не столько экологическое состояние, сколько правовые аспекты создания ООПТ. Для улучшения экологической ситуации на территории области следует создавать новые ООПТ.
5. Стратегия социально-экономического развития Тульской области до 2030 года требует доработки, поскольку создание «тульского кластера» может привести к необратимому ухудшению состояния окружающей природной среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Баярмаа В.* Расчет и оценка эколого-хозяйственного баланса в геоинформационной системе западных сомонов Сэлэнгийского аймака Монголии // *Природа внутренней Азии.* № 2(3). 2017. С. 62–68.
2. *Бодрова В.Н.* Расчет и оценка эколого-хозяйственного баланса Волгоградской области в геоинформационной системе // *Проблемы региональной экологии.* № 3. 2017. С. 43–50.
3. *Жемадукова С.Р.* Оценка антропогенной нагрузки на земельный фонд республики Адыгея на основе расчета эколого-хозяйственного баланса ее территории // *Новые технологии.* № 5. 2008. С. 27–30.
4. *Карнова Л.А.* Разработка методики картографической оценки эколого-хозяйственного состояния сельскохозяйственных территорий с целью их устойчивого развития (на примере Красногорского и Советского районов Алтайского края). Дис. ... канд. технич. наук. Барнаул: ФГБОУ ВО Алтайский ГАУ. 2017. 124 с.
5. *Ковалёва Н.С., Осадчая Г.Г., Кулагина Ю.В.* Использование метода эколого-хозяйственного баланса для оценки биосферного статуса северных районов Республики Коми // *Ресурсы Европейского севера. Технологии и экономика освоения.* № 2(2). 2015. С. 66–75.
6. *Кочуров Б.И.* Экодиагностика и сбалансированное развитие учеб. пособие. Смоленск: Маджента. 2003. 384 с.
7. *Кочуров, Б.И.* Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории: учеб. пособие. Смоленск: СГУ, 1999. 154 с.
8. *Меркулов П.И., Меркулова С.В., Варфоломеев А.Ф.* Геоэкологические аспекты исследования структуры землепользования на территории республики Мордовия // *Вестник Мордовского университета.* № 1. 2008. С. 123–130.
9. *Минников И.В., Куропан С.А.* Оценка эколого-хозяйственного баланса территории Воронежской области // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология.* № 1. 2013. С. 129–136.
10. *Национальный атлас почв Российской Федерации.* – М.:Астрель: АСТ, 2011. – 632 с.
11. *Проект стратегии социально-экономического развития Тульской области до 2030* // <http://sp.lifttothefuture.ru/uploads/priority/files/aaf8280e6c1ec8c9c34667ac1dae768ea208301c.pdf> (дата обращения: 06.04.2018)
12. *Сайт информационно-аналитической системы «Особо охраняемые природные территории России»* // <http://oopt.aari.ru/> (дата обращения: 20.03.2018)
13. *Соколов А.С, Гусев А.П.* Экодиагностика геосистем Днепровско-Сожского ландшафтного района // *Вестник Витебского государственного университета.* Т. 53. 2009. С. 171–176.

Работа рекомендована д.б.н., заслуженным профессором, зав. каф. «Земельных ресурсов и оценки почв» МГУ имени М.В. Ломоносова А.С. Яковлевым.

ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ФАКТОРОВ НА УГЛЕВОДОРОДНОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ
ПРИ АТМОГЕННОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ

В.М. Пискарева, Т.С. Кошовский

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Исследования углеводородного состояния (УВС) почв в Ногинском районе Московской области проводились в течение нескольких лет. Благодаря высокой детальности опробования удалось установить, что углеводородное поле вокруг точечного источника загрязнения имеет многофакторный характер. В этой связи изучены особенности распределения техногенных углеводородов под влиянием локальных факторов в почвах зоны воздействия завода технического углерода. Было выявлено изменение запасов ПАУ и битумоидов в зависимости от воздействия совокупности распашки, залесенности и гидроморфизма.

ВВЕДЕНИЕ

Понятие углеводородного состояния (УВС) почв появилось сравнительно недавно. Его ввели в 2008 году Ю.И. Пиковский и А.Н. Геннадиев [1]. УВС почв – характеристика отражающая содержание в почве различных групп углеводородов (УВ). К этим группам относятся, в частности, битуминозные вещества (БВ) и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), обладающие канцерогенными и мутагенными свойствами.

К битуминозным веществам относятся соединения, растворимые в органических растворителях: жидкие и твердые углеводороды разных классов, гетероатомные соединения (в том числе лигнины), а также смолы и асфальтены. При определении битуминозных веществ (битумоидов) большое значение имеет растворитель, который был использован для извлечения комплекса соединений. Так, для минимизации извлечения липидной части почвенных образцов необходимо применять неполярные и малополярные растворители.

ПАУ – высокомолекулярные органические вещества, состоящие из двух и более бензольных колец.

Углеводородные соединения широко распространены практически во всех почвах и имеют различные, как природные, так и техногенные источники. В районах с повышенной техногенной нагрузкой содержание углеводородов значительно возрастает. Благодаря реакционной устойчивости битумоиды и ПАУ могут долгое время сохраняться в депонирующих средах, таких как почвы, что делает эти УВ удобными объектами изучения и показателями долговременной техногенной нагрузки на окружающую среду.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования, в которых принимали участие авторы, проводились сотрудниками лаборатории углеродистых веществ биосферы кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ в рамках проекта РНФ 14-17-00193 «Углеводородное состояние почв в ландшафтах».

Участок исследования располагается в Ногинском районе Московской области в районе города Электроугли, где крупнейшим источником выбросов углеводородных поллютантов в атмосферу был завод технического углерода (ЗТУ), работавший в период с 1916 по 1998 гг.

Почвы изученной территории значительно преобразованы в ходе хозяйственной деятельности. В городе были вскрыты серогумусовые турбированные почвы, хемоземы и псаммоземы. Вблизи города находятся пахотные земли, на данный момент частично заброшенные, где распространены агроземы альфегумусовые. Под лесами сформировались дерново-подзолы, дерново-подбуры, дерново-подзолистые, а на заболоченных участках торфяные перегнойно-глеевые почвы.

Для извлечения углеводородных веществ из почвенных образцов использовался н-гексан. Содержание битумоидов в почвах определялось в ходе люминесцентно-битуминологического анализа на флюориметре 02-2М «ЛЮМЭКС». Определение качественного и количественного состава основных 11 ПАУ (дифенил, гомологи нафталина, флуорен, фенантрен, антрацен, хризен, пирен, тетрафен, перилен, бенз(а)пирен, бенз(ghi)перилен) проводилось на основе спектроскопии Шпольского при низких температурах с использованием установки «Флюорат-панорама «ЛЮМЭКС».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Отчетливый максимум запасов ПАУ и битумоидов в почвах, на несколько порядков превышающий запасы этих веществ в пригородной зоне, наблюдается в непосредственной близости от завода (рис. 1).

Для выявления особенностей распределения углеводородов по территории исследования был построен график зависимости запасов ПАУ и битумоидов от расстояния до источника загрязнения. Выявленный тренд подчиняется степенной функции вида $y=a*L^b$, где y – запас ПАУ или битуминозных веществ в точке, L – расстояние от завода до точки, a и b – эмпирически вычисленные коэффициенты.

Расчетные значения степенной функции при определенном удалении от источника загрязнения совпадают с точками на графике (рис. 2). Соответственно, чем больше разница реальных и расчетных значений запасов ПАУ и битумоидов, тем большее будет отклонение точки от графика. Таким образом, можно определить, в каких точках влияние локальных факторов на углеводородное состояние почв наиболее велико.

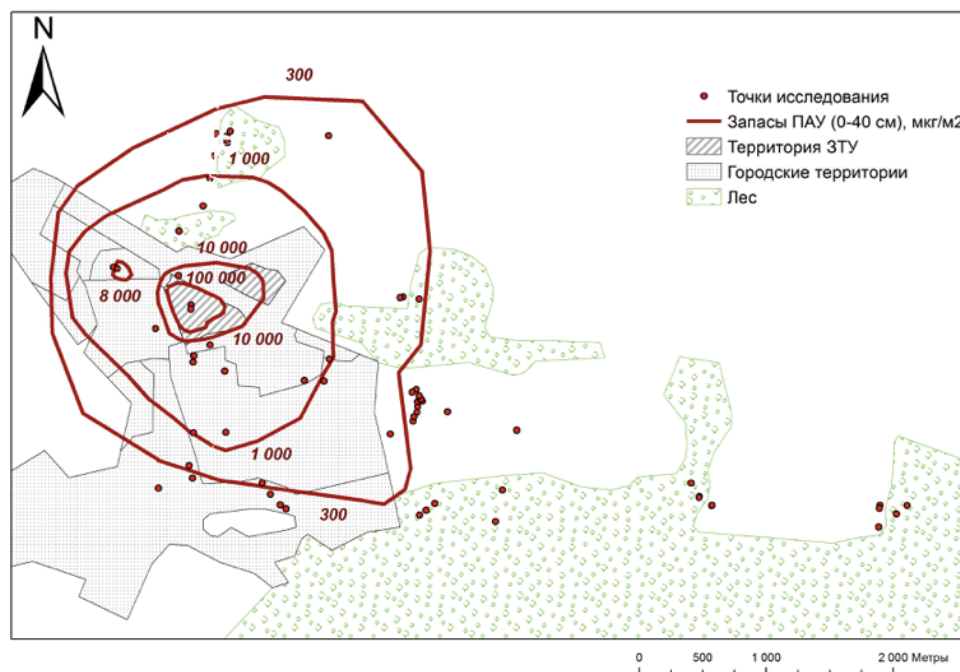


Рисунок 1. Углеводородные поля в районе завода по запасам ПАУ (мкг/м²).

На рис. 3 показано во сколько раз значения запасов битумоидов отличаются от расчетных. В меньшую сторону – кругами, в большую – кругами с белым треугольником внутри. Для удобства было принято, что разница от 0 до 3 раз считается нормой, а превышение на порядок – значительным отклонением. Наибольшее количество точек с аномально низкими или высокими запасами битумоидов наблюдается в черте города, в пределах 1 км от завода. Предположительно запасы поллютантов, большие, чем расчетные, объясняются наличием дополнительных техногенных источников загрязнения, таких как авто- и железнодорожный транспорт. Меньшие же значения могут быть обусловлены техногенными преобразованиями городских почв, в том числе турбацией и скальпированностью.

Выявлены также изменения качественного состава ПАУ и битумоидов по мере удаления от источника загрязнения. Так, вблизи завода технического углерода была зафиксирована наибольшая доля тяжелых ПАУ и смолистых битумоидов, в то время как на отдалении от завода наблюдался рост доли легких соединений. При этом значительно уменьшилась доля бенз(ghi)перилена, бенз(a)пирена, антрацена, перилена (рис. 4).

На данной территории, помимо упомянутых техногенных факторов, на различие реальных и расчетных запасов ПАУ и битумоидов влияют такие факторы, как распашка, гидроморфизм и залесенность.

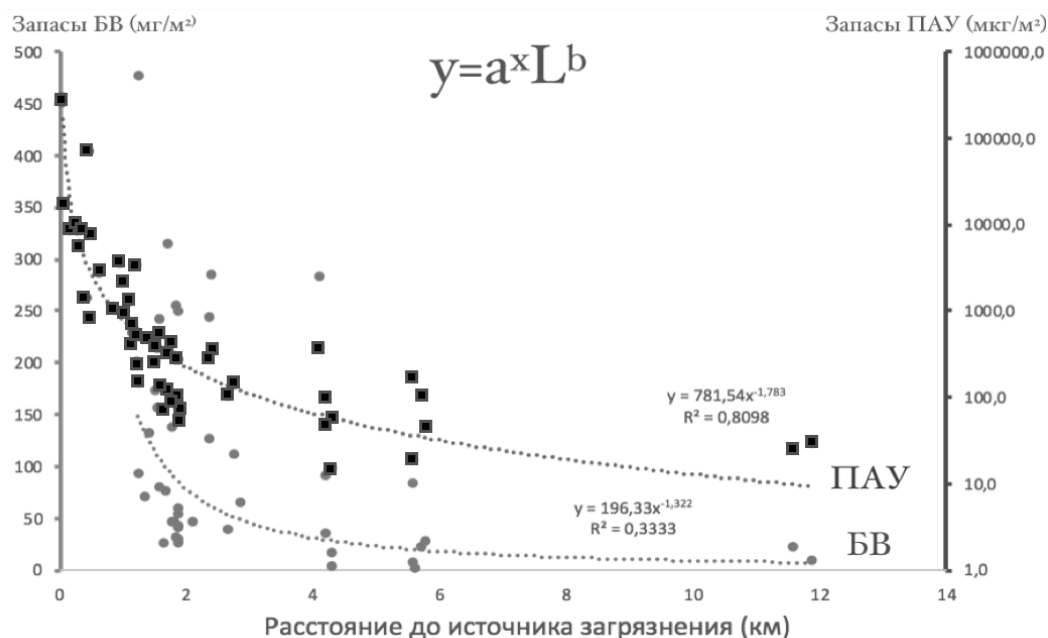


Рисунок 2. Зависимость запасов битумоидов и ПАУ в почвах от расстояния до источника загрязнителей.

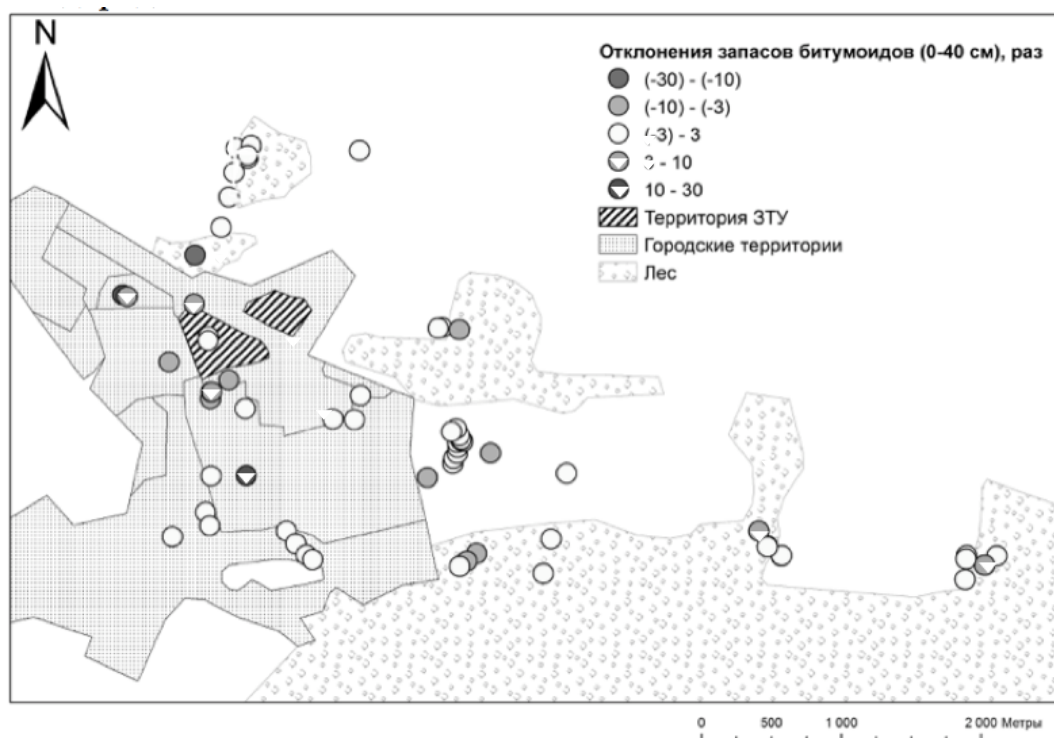


Рисунок 3. Отклонения измеренных запасов битумоидов (мг/м^2) от расчётных значений на глубине 0–40 см.

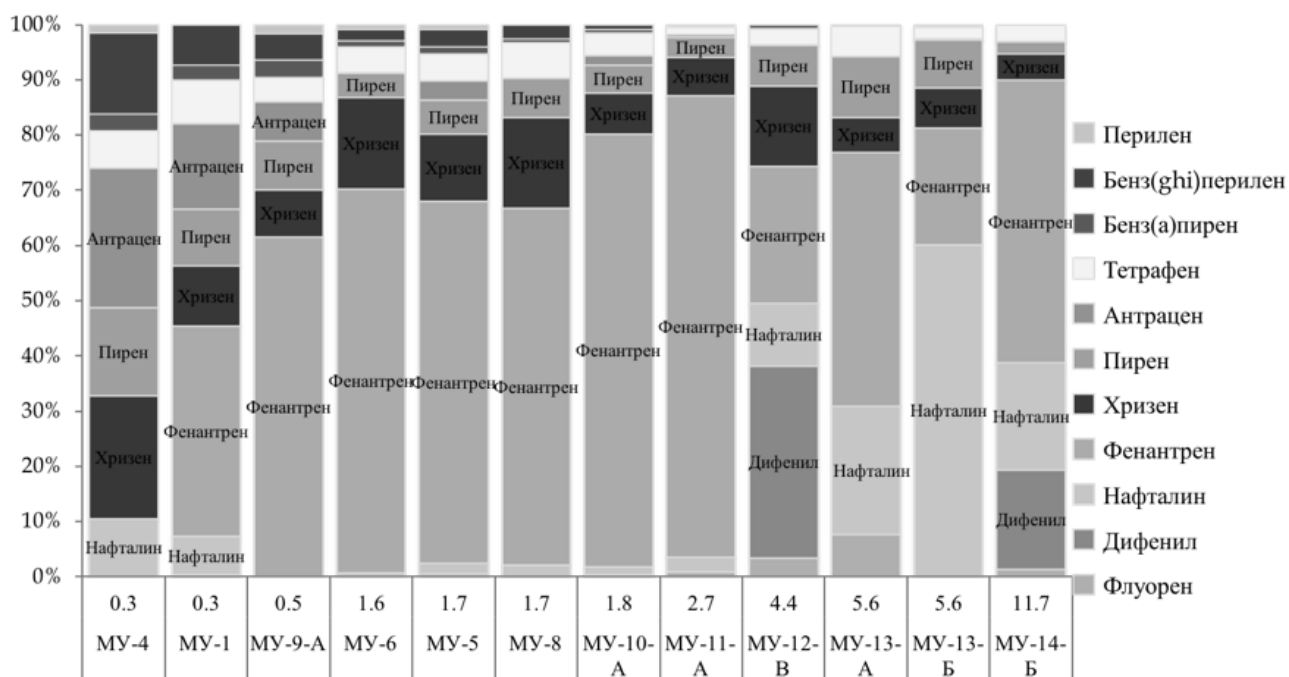


Рисунок 4. Качественный состав ПАУ в некоторых почвах при удалении от ЗТУ.

Для оценки влияния степени гидроморфизма почв на содержание ПАУ и битумоидов было проведено опробование почв дренажных канав и распаханых междренажных поверхностей на удалении в 1.9 км к востоку от завода. По сравнению с запасами этих веществ на пашнях, было выявлено, что в почвах переувлажненных канав отмечаются большие запасы ПАУ (в среднем в 2 раза на глубине 0–40 см и в 5 раз на глубине 0–10 см) и битумоидов (в среднем в 1.5 раза на глубине 0–40 см и в 4 раза на глубине 0–10 см). Причиной больших запасов УВ в гидроморфных почвах, скорее всего, является заторможенность микробиологического разложения УВ в анаэробных восстановительных условиях. Также возможен механический снос вещества пахотных горизонтов в дренажные канавы.

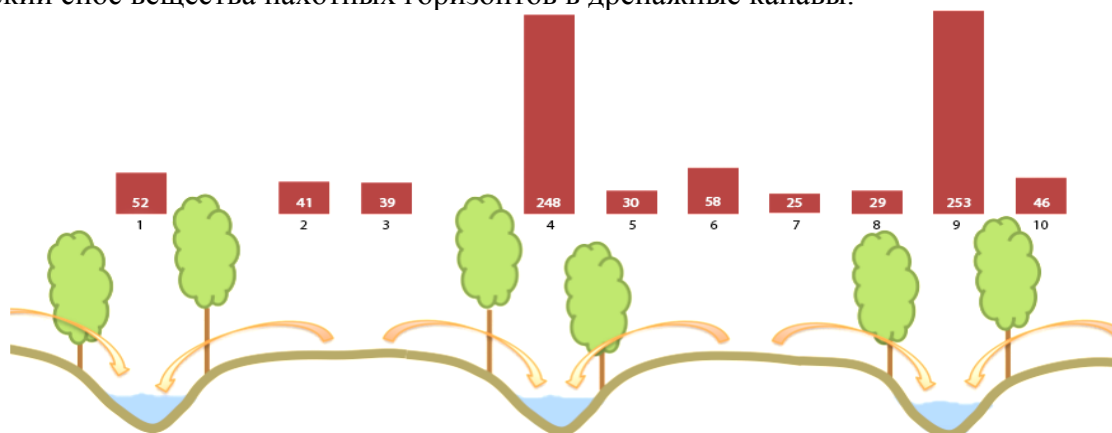


Рисунок 5. Запасы ПАУ в почвах различной степени гидроморфизма (мкг/м^2 в слое 0–10 см).

При сравнении пахотного и залуженного участков, расположенных на одинаковом расстоянии от завода, отмечаются меньшие запасы битуминозных веществ на пашнях, по сравнению с запасами битуминозных веществ в почвах под луговой растительностью. При этом различен и состав битуминозных веществ. В почвах пашен, по сравнению с почвами залуженных участков, в составе битумоидов наблюдается большая доля тяжелых смолистых соединений. Это можно объяснить их остаточным накоплением, так как более тяжелые структуры разлагаются медленнее легких.

Изученные почвы под лесом в среднем характеризуются большими запасами ПАУ и битумоидов, по сравнению с запасами этих веществ в близлежащих почвах, расположенных

на пашнях. Скорее всего, это связано с лучшей аэрацией пахотных почв и меньшей интенсивностью фотодеструкции УВ под кронами деревьев. Лес также выполняет функцию удерживающего барьера на пути воздушных потоков загрязнителей.

Распашка изменяет физические свойства почв: вследствие перемешивания верхних горизонтов увеличивается порозность и улучшается аэрация, что ускорят процесс биодеструкции УВ, а отсутствие растительного покрова после распашки способствует усилению фотодеструкции УВ. В результате запасы ПАУ и битумоидов заметно сокращаются. Также после распашки активизируются процессы плоскостного смыва, при которых вместе с почвенными частицами переносятся в пониженные участки и УВ. На залежных участках также наблюдается сокращение запасов загрязнителей, но в меньшей степени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что в пределах изученной территории на УВС почв влияют все изученные в ходе данной работы локальные факторы: городская среда, распашка, залесенность и гидроморфизм. Влияние этих факторов разнонаправленно:

- влияние антропогенного фактора неоднозначно. Поскольку он многокомпонентен, в различных условиях может наблюдаться как увеличение, так и уменьшение запасов исследуемых веществ;

- при распашке запасы изученных УВ уменьшаются из-за ускоренной фото- и биодеструкции и активизации плоскостного смыва;

- в гидроморфных условиях в почвах наблюдается увеличение запасов ПАУ и битумоидов, предположительно за счет их замедленного микробиотического разложения и дополнительного поступления загрязнителей с локальным плоскостным смывом;

- запасы ПАУ и битумоидов в почвах на залесенных территориях больше, так как лес снижает интенсивность фотодеструкции и является удерживающим барьером при атмосферном переносе загрязнителей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Углеводородное состояние почв на территории нефтедобычи с карстовым рельефом* / Ю.И. Пиковский, А.Н. Геннадиев, Ю.И. Оборин и др. // Почвоведение. – 2008. – № 11.

Работа рекомендована д.г.н. профессором А.Н. Геннадиевым.

Материалы
Международной научной конференции
XXI Докучаевские молодежные чтения
«Почвоведение – мост между науками»

Доклады на секциях

28 февраля – 3 марта 2018 г.
Санкт-Петербург

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА В ИССЛЕДОВАНИЯХ ПОЧВ ВИНОГРАДНИКОВ

А.А. Аверьянов

Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена,
Санкт-Петербург, sanchez.averyanov@gmail.com

В данной статье представлены результаты рентгенофлуоресцентного анализа почвы и лозы виноградников субрегионального апеласьона Muscadet côtes de Grandlieu (департамент Атлантическая Луара), сравнительный анализ результатов с предельно допустимыми концентрациями установленными во Франции, Российской Федерации, нормативами, установленными Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) и Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО).

ВВЕДЕНИЕ

Вкусовые и качественные характеристики винодельческой продукции неотделимы от терруара. Влияние почвенно-климатических условий, в которых находятся хозяйства, производящие вина, сказывается на таких немаловажных характеристиках, как сахаристость и кислотность ягодного сока, а также поступлении в виноградное растение элементов, определяющих полноту вкуса и специфику «букета» напитка [3]. Однако, вместе с жизненно необходимыми для полноценного развития элементами, в винограде из почвы аккумулируются тяжелые металлы, являющиеся следствием микроэлементного состава почвообразующих пород, а также, фунгициды и инсектициды, используемые в сельскохозяйственной деятельности. В условиях непростого для винодельческой отрасли океанического климата, способствующего развитию грибковых заболеваний виноградного растения, проблема производства экологически чистой винодельческой продукции является одной из приоритетных задач для департамента Атлантическая Луара, на фоне тенденции сокращения использования пестицидов в сельскохозяйственной отрасли во Франции, и растущим спросом на биодинамические вина [1].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Целью работы являлись геохимические исследования по наличию тяжелых металлов в почвах виноградников сорта Melon de Bourgogne, связей, и закономерностей их распределения в системе «почва – виноградное растение – вино». Анализируемые вина относятся к апеласьону Muscadet côtes de Grandlieu и принадлежат к высшей категории АОП (Appellation d'Origine Protégée), в соответствии Единой европейской классификацией. Принадлежность к этой категории подтверждает, что территория, сорт винограда, технологии производства соответствуют правилам апеласьона и отражают характеристики терруара [4].

В ходе исследования определялись следующие показатели: общее содержание тяжелых металлов V, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Sr, Pb, Mn, La, Ba, Y, Nb, Rb и As в бурых выщелоченных супесчаных почвах, виноградной лозе и винах. Точечные пробы отбирались на пробных площадках из одного слоя методом конверта, т.е. отбор проб производился из углов и центра квадрата размером 5×5 м., по диагонали или с таким расчетом, чтобы каждая проба представляла собой часть почвы, типичной для генетических слоев данного типа почвы. Оценка экологического состояния почвенного покрова виноградников проводилась в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01-83. Собранная почва была доставлена в лабораторию Геохимии окружающей среды им. А.И. Ферсмана, расположенную на территории РГПУ им А.И. Герцена, где проводилась пробоподготовка и аналитические процедуры. Для определения химических веществ, пробы почвы в лаборатории были рассыпаны на бумаге и размяты пестиком крупные комки. Затем выбирались включения – корни растений, насекомые, камни и др. Образцы сушили в сушильном шкафу WiseVenWOF-50. После сушки почву растирали в ступке пестиком и просеивали через сито с диаметром отверстий 1 мм.

Сыпучая проба прессовалась в форму таблетки с помощью лабораторного пресса. Для этого во втулку насыпалась борная кислота (2–3 г), которая на столике пресса прессовалась 30 секунд при давлении 100 бар, затем в образовавшуюся тарелочку насыпалась проба (не более 0.4 г), конструкцию помещали на столик пресса и прессовали около минуты под давлением 150 бар. Затем конструкция переворачивалась и с помощью пресса вынималась таблетка. На готовой таблетке писалось название и дата.

Аналитические исследования были выполнены методом рентгенофлуоресцентного анализа на приборе «СПЕКТРОСКАН МАКС».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В табл. 1 представлены результаты статистической обработки данных рентгенофлуоресцентного анализа валового содержания тяжелых металлов в почвах виноградников «Domaine de la Chaussérie» (рН 6.5) и сравнение полученных результатов с нормативами ПДК и ОДК (РФ), NF U 44-051 (Франция), максимально допустимыми пределами (МДП), установленными Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) и Продовольственной и сельскохозяйственной организацией ООН (ФАО).

Таблица 1. Среднее содержание тяжелых металлов в почвах виноградников «Domaine de la Chaussérie», мг/кг

Элемент (класс опасности)	Среднее, мг/кг	ПДК вал(*), ОДК вал (**) мг/кг	NF U 44- 051(Франция), мг/кг	МДП (ВОЗ и ФАО), мг/кг
Pb (1)	21.69	32**	180	100
As (1)	12.01	2**	18	20
Zn (1)	51.14	55**	600	300
Cr (2)	23.97	–	120	100
Co (2)	13.51	–	–	50
Ni (2)	6.14	20**	60	50
Cu (2)	99.83	33**	300	100
V (3)	34.42	150*	–	–
Mn (3)	520.74	1500*	–	2000
Sr (3)	51.28	–	–	–
Fe (3)	11244.02	–	–	50000

Примечания: Класс опасности по СанПиН 2.1.7.1287-03. ПДК по Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. ОДК по Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2042-06. Стандарты NF U 44-051, аттестованные NF U 44-051 от 01.04.2006.

По результатам рентгенофлуоресцентного анализа был рассчитан индекс суммарного загрязнения Z_c (рис. 1), представляющий собой сумму коэффициентов концентрации токсикантов (загрязнителей) I, II, III классов токсикологической опасности по отношению к фоновым значениям, свидетельствующий о низком уровне загрязнения территории (табл. 2).

Индекс суммарного загрязнения был рассчитан по формуле:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n [K_c - (n-1)],$$

где K_c – коэффициент концентрации i -го химического элемента, n – число, равное количеству элементов, входящих в геохимическую ассоциацию.

Коэффициент концентрации (K_c) рассчитывается по формуле:

$$K_c = \frac{C_i}{C_{фон}},$$

где C_i – фактическое содержание элемента; $C_{фон}$ – геохимический фон.

Графическое отображение распределения показателя индекса суммарного загрязнения (Z_c) в координатной системе WGS 84 на изучаемой территории показано на рис. 1.

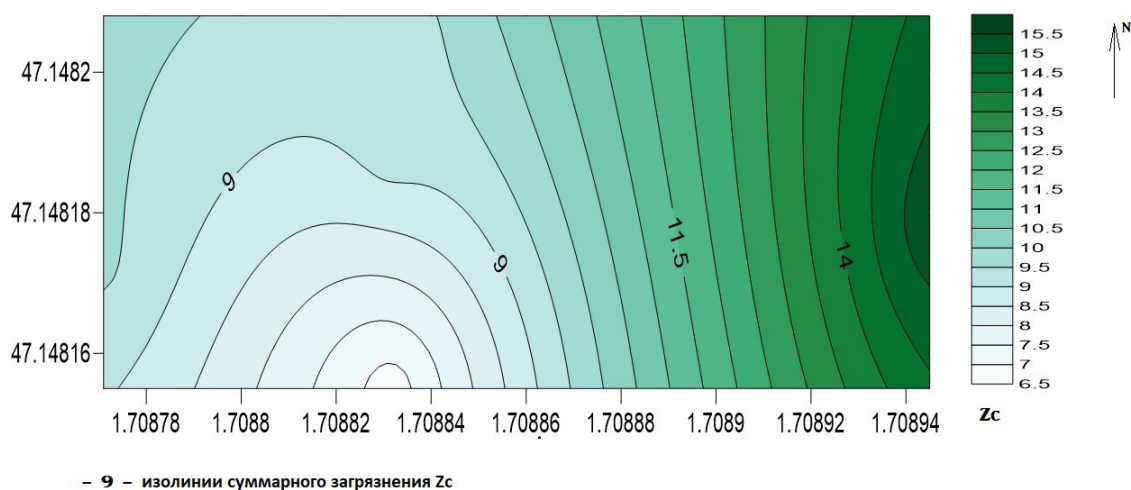


Рисунок 1. Распределение индекса суммарного загрязнения Zc.

Таблица 2. Уровни загрязнения почвенного покрова по суммарному загрязнению тяжелыми металлами.

Уровни загрязнения	Индекс суммарного загрязнения (Zc)
Низкий	8–16
Средний	16–32
Высокий	32–128
Очень высокий	>128

Микроэлементный состав виноградной лозы отражает химический состав почвенного покрова. Закономерность аккумуляции элементов виноградным растением находится под влиянием различных факторов. Одним из факторов нарушения поступления элементов питания в виноградное растение является токсическое действие тяжелых металлов. Одним из основных путей поступления тяжелых металлов в виноградную лозу является биологическое поглощение корневой системой. В связи с наличием у разных виноградных сортов физико-биологических защитных механизмов различной степени выраженности, препятствующих поступлению токсичных микроэлементов, способность накапливать элементы из почвенного покрова у каждого сорта не одинакова [2].

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в виноградной лозе сорта Melogne de Bourgogne AOP (Muscadet côtes de Grandlieu), мг/кг.

Элемент	Pb	As	Zn	Cr	Co	Ni	Cu	V	Mn	Sr
Содержание в лозе, мг/кг	1.70	2.88	317.75	12.32	55.06	12.32	325.18	14.84	639.16	411.85
Содержание в почве, мг/кг	21.69	12.01	51.14	23.97	13.51	6.14	99.83	34.42	520.74	51.28
Коэффициент корреляции	0.97									

На основании результатов рентгенофлуоресцентного анализа образцов почвы и лозы были рассчитаны коэффициент корреляции, свидетельствующий о наличии положительной зависимости между содержанием элементов I, II, III классов токсикологической опасности в почве и виноградной лозе, а также коэффициенты биологического поглощения для каждого из вышеуказанных микроэлементов.

Коэффициент биологического поглощения Ax был рассчитан по формуле:

$$Ax = \frac{Ix}{Nx},$$

где Ix – содержание элемента x в золе растений; Nx – содержание элемента x в почве.

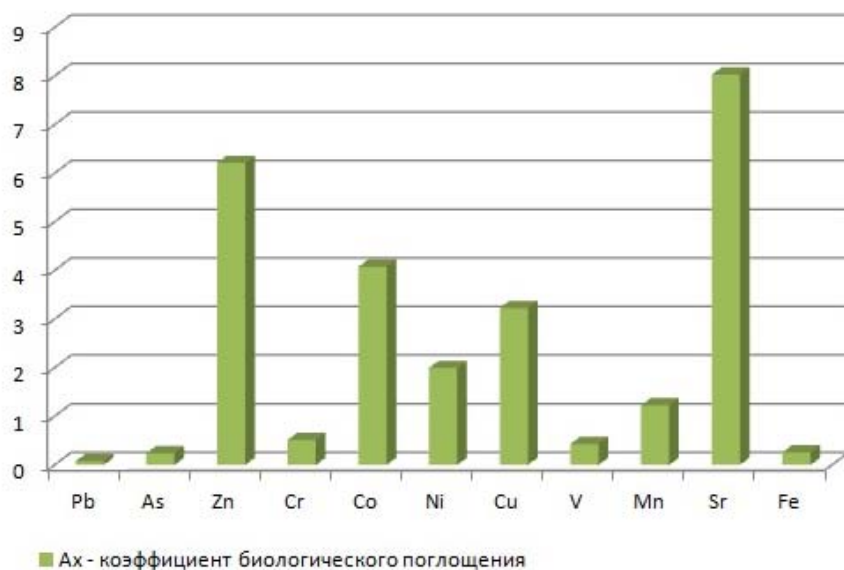


Рисунок 2. Коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов сортом винограда Melogne de Bourgogne AOP (Muscadet côtes de Grandlieu).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам работы был определен низкий уровень загрязнения виноградников «Domaine de la Chausserie» субрегионального апеласьона Muscadet côtes de Grandlieu. Также, было выявлено отсутствие превышений содержания определяемых элементов в почвах исследуемых виноградников, относительно максимально допустимых пределов, установленных во Франции и организациями ВОЗ и ФАО. При сравнении результатов с нормативами ПДК и ОДК, были обнаружены превышения ориентировочно допустимой концентрации As в 6 раз и Cu в 3 раза, что может указывать на применение мышьякосоудержащих пестицидов и фунгицидов, содержащих сульфат меди. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа образцов лозы показали, что содержание микроэлементов I, II, III классов токсикологической опасности в почвах виноградников субрегионального апеласьона Muscadet côtes de Grandlieu оказывает прямое влияние на химический состав виноградного растения сорта Melone de Bourgogne.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аверьянов А.А., Овчинников В.П. Почвенно-климатические особенности департамента Атлантическая Луара. В сборнике: Геология, геоэкология, эволюционная география. Труды Международного семинара. 2017. С. 228–231.
2. Кишковский З.Н., Мержаниан А.А. Технология вина – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 504 с.
3. Негруль А.М. Виноградарство. Москва: Сельхозиздат. 1952. С. 427.
4. European Comission. [Электронный ресурс] URL: https://ec.europa.eu/agriculture/quality_fr (дата обращения 20.02.2017)

Работа рекомендована д.пед.наук, заведующим кафедрой геологии и геоэкологии РГПУ им. А.И. Герцена, Е.М. Нестеровым.

ИЗМЕНЕНИЕ ГУМУСНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПОД ДЕЙСТВИЕМ БИОГУМУСА В УСЛОВИЯХ КРАСНОЯРСКОЙ ЛЕСОСТЕПИ

М.С. Бутенко

Красноярский государственный аграрный университет

В статье рассматривается гумусное состояние чернозема выщелоченного при внесении в него удобрения-биогумуса, полученного из отходов производства методом вермикюльтуры. Установлено, что применение биогумуса способствует достоверному повышению содержания гумуса в почве. Показано, что в черноземе выщелоченном преобладают соединения, составляющие фонд стабильного гумуса. Запасы гумуса увеличиваются с возрастанием дозы внесения биогумуса в почву. Максимальная урожайность картофеля формируется при внесении в почву 5 т/га биогумуса.

ВВЕДЕНИЕ

Органическое вещество почв выполняет разнообразные физические, химические, биологические и экологические функции. С позиции генетической концепции органическое вещество является результатом почвообразовательного процесса и условием поддержания свойств и режимов почвы. В соответствии с агрономическими и агроэкологическими представлениями органическое вещество рассматривается в качестве источника питательных элементов, фактора плодородия и агресурса устойчивого земледелия [7]. При длительном сельскохозяйственном использовании потенциальное плодородие почвы без применения удобрений постепенно снижается вследствие уменьшения количества гумуса. В настоящее время проблема сохранения гумуса приобретает все большую практическую значимость, поскольку в глобальном масштабе происходят его потери до 1 т/га в год и более, влекущие снижение плодородия почв [1]. Одним из путей решения данной проблемы является применение органических удобрений. Для регулирования баланса гумуса в современных условиях большое значение имеет использование нетрадиционных органических удобрений. В связи с этим на кафедре почвоведения и агрохимии Красноярского ГАУ разработана технология получения экологически безопасного удобрения – биогумуса на основе переработки отходов сельского хозяйства (птичьего помета) и деревообрабатывающей промышленности (опилок) методом вермикюльтуры. В условиях Красноярской лесостепи исследования по влиянию биогумуса на свойства почвы малочисленны. Поэтому цель работы состояла в изучении действия разных доз биогумуса на гумусное состояние чернозема выщелоченного и урожайность картофеля.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследований служили чернозем выщелоченный, биогумус (БГ), полученный методом вермикомпостирования отходов производства, картофель сорта Арамис. Апробацию биогумуса проводили в полевом опыте учебно-научного комплекса «Борский» Красноярского ГАУ в Красноярской лесостепи (56° с.ш., 92° в.д.). На этой территории выпадает 350–450 мм осадков в год. Среднегодовая температура воздуха изменяется от 0.5 до 1.3 °С, иногда понижаясь до –2 °С. Продолжительность периода биологической активности варьирует от 90 до 115 дней. Сумма активных температур составляет 1550–1800 °С, почва промерзает на глубину 1.5–3.0 м.

Удобрения вносили в лунки перед посевом картофеля, согласно следующей схеме опыта: 1. Контроль (почва без удобрений); 2. БГ 3 т/га; 3. БГ 5 т/га; 4. БГ 7 т/га. Полевые опыты проводили в четырехкратной повторности с последовательным размещением делянок. Площадь опытной делянки – 7 м². Посадка картофеля производилась вручную в третьей декаде мая. До посадки и после уборки картофеля отбирали почвенные образцы, в которых определяли рН_{Н2О} – потенциометрически, содержание гумуса (С_{гум}) по методу Тюрина и углерода подвижного органического вещества (С_{подв}) по И.В. Тюрину в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой [4] из одной навески почвы последовательно: сначала водораство-

римый углерод (C_{H_2O}), затем углерод, экстрагируемый 0.1 н. щелочью ($C_{0.1 \text{ н. NaOH}}$) и в его составе углерод гуминовых кислот ($C_{ГК}$) и углерод фульвокислот – $C_{фк}$. Полученные результаты были обработаны статистически методами дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализов с использованием программных пакетов «Excel».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Биогумус характеризовался высокими показателями содержания элементов питания и включал в %: гумуса – 17; общего азота и калия – 1; общего фосфора – 3; аммонийного азота – 0.29; нитратного азота – 1.01; подвижного фосфора – 2.03; обменного калия – 0.46 и имел нейтральную реакцию среды (рН 6.8). Чернозем выщелоченный, используемый в опыте, характеризовался высоким количеством гумуса (6.2 %), щелочной реакцией среды (рН 6.8), очень высоким содержанием подвижного фосфора (53.6 мг/100 г) и обменного калия (26.1 мг/100 г), очень низким – нитратного азота (6.3 мг/кг) и аммонийного азота (1.4 мг/кг).

Для поддержания и повышения плодородия почв необходимо вносить удобрения. Внесение удобрений в почву приводит к улучшению гумусного состояния. Результаты проведенных в динамике исследований показывают, что под действием биогумуса, внесенного в дозе 7 т/га, достоверно увеличивается содержание гумуса по отношению к контролю (рис. 1).

Органическое вещество делится на подвижное, обеспечивающее эффективное плодородие, и стабильное, отвечающее за устойчивое плодородие и свойства почвы. Подвижное органическое вещество представляет собой сумму водорастворимых и щелочногидролизуемых гумусовых веществ. В составе органического вещества пахотных почв Красноярского края обычно преобладает стабильный гумус ($C_{стаб}$) [6]. Результаты данных исследований это подтверждают. Отмечается увеличение содержания подвижного органического углерода во всех вариантах, удобренных биогумусом, по отношению к контролю (рис. 2). В составе подвижного органического вещества доминируют гумусовые кислоты. Максимальное содержание щелочнорастворимых гумусовых веществ зафиксировано при внесении 5 т/га биогумуса. В структуре гумуса содержание водорастворимых соединений невелико и составляет 27–29 мг/100 г в зависимости от варианта опыта. Наибольшее количество водорастворимых гумусовых веществ отмечено на варианте с внесением биогумуса в дозе 3 т/га. Содержание подвижного органического вещества используется в качестве критерия для оценки эффективного плодородия почв. Как известно [2, 3, 5], оптимальные показатели плодородия обеспечиваются при содержании подвижного гумуса от 200 до 500 мг/100 г почвы. Таким образом, результаты проведенных исследований свидетельствуют, что применение биогумуса во всех исследуемых дозах сохраняет эффективное плодородие чернозема выщелоченного в рамках оптимальных значений.

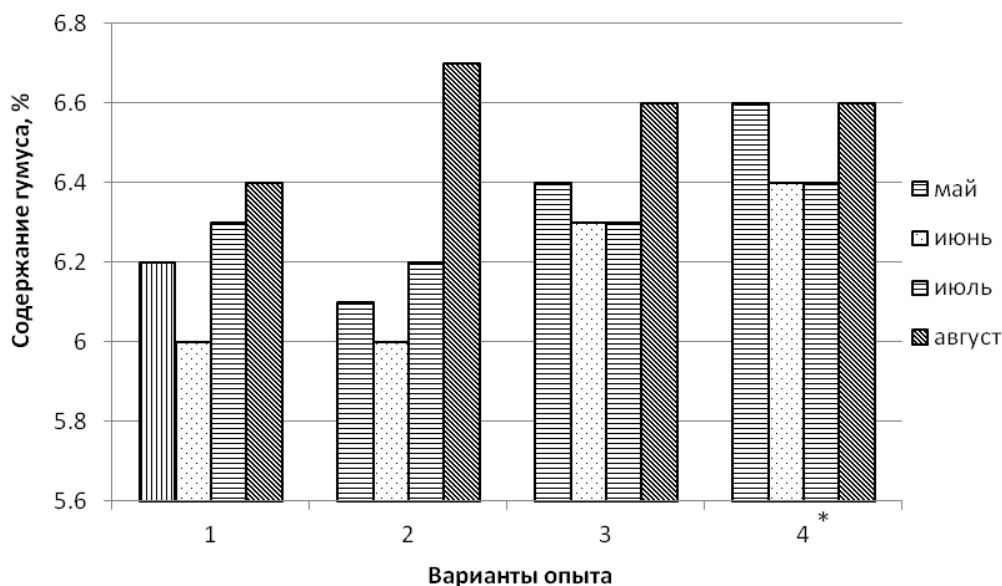


Рисунок 1. Содержание гумуса, % по вариантам опыта:

1. Контроль (без удобрений); 2. БГ 3 т/га; 3. БГ 5 т/га; 4. БГ 7 т/га. Примечание: * $p \leq 0.05$.

Различия между вариантами характеризуют особенности функционирования системы гумусовых веществ и позволяют прогнозировать направление процессов гумусообразования и гумусонакопления. Результаты полевых исследований показывают, что запасы гумуса зависят и увеличиваются в зависимости от дозы внесения. Запасы $C_{\text{гум}}$ в черноземе выщелоченном постепенно уменьшаются в ряду вариантов: БГ 7 т/га > БГ 5 т/га > БГ 3 т/га > контроль (табл. 1).

Таблица 1. Запасы углерода в различных компонентах органического вещества чернозема выщелоченного, т/га.

Вариант		Компонент органического вещества (в слое 0–20 см), т/га							
		C _{гум}	C _{NaOH}	C _{H2O}	C _{подв}	C _{гк}	C _{фк}	C _{гк} ·C _{фк}	C _{стаб}
Контроль (без удобрений)		92.2	9.2	0.7	9.9	5.7	3.6	1.6	82.3
Биогумус, т/га	3	93.4	9.8	0.8	10.6	5.7	4.1	1.4	82.8
	5	96.2	9.9	0.7	10.6	6.1	3.8	1.6	85.6
	7	96.5	9.8	0.7	10.5	5.9	3.9	1.5	86.0

Отметим, что максимальные запасы гумуса (96.5 т/га) сформировались под влиянием биогумуса, внесенного в почву в количестве 7 т/га. Тип гумуса на контроле и в удобренных вариантах характеризуется как фульватно-гуматный.

Как видно из табл. 2, доля $C_{\text{подв}}$ от $C_{\text{гум}}$ изменялась под действием внесенного биогумуса и составила 11 %. Применение биогумуса в дозе 3 т/га способствовало максимальному значению этого показателя. В составе подвижных гумусовых веществ преобладали соединения, экстрагируемые 0.1 н. NaOH, на контроле их доля составила 93 %, при внесении биогумуса в разных дозах этот показатель варьировал в пределах 92.9–93.3 %.

Минимальная урожайность картофеля сформировалась на контроле и составила 378.5 ц/га (рис. 3). Применение 5 т/га биогумуса обеспечивает максимальную прибавку урожайности. Внесение 7 т/га биогумуса приводит к снижению урожайности картофеля, но это не противоречит литературным данным, указывающим на то, что высокие дозы биогумуса ингибируют рост растений и снижают их урожайность.

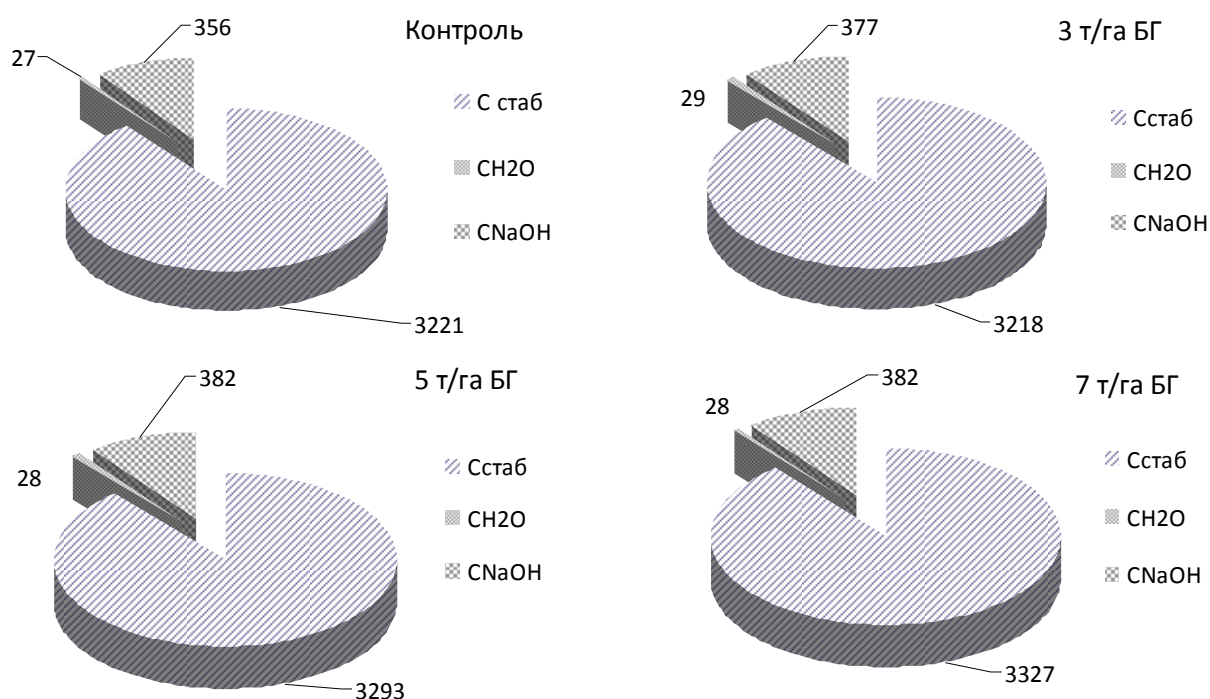


Рисунок 2. Структура органического вещества чернозема выщелоченного при применении возрастающих доз биогумуса, мг/100 г.

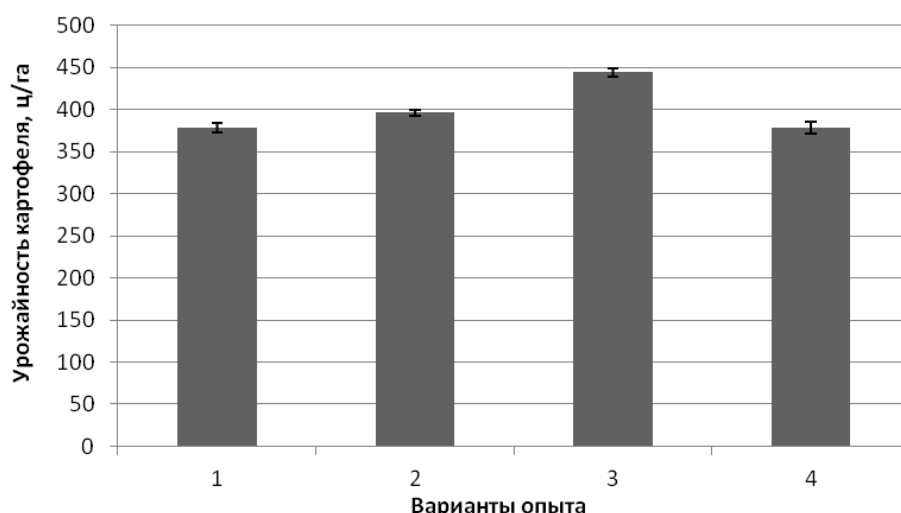


Рисунок 3. Урожайность картофеля в ц/га по вариантам опыта: 1. Контроль (без удобрений); 2. БГ 3 т/га; 3. БГ 5 т/га; 4. БГ 7 т/га.

Таблица 2. Доля подвижных и стабильных соединений в составе гумуса.

Вариант		% C _{подв} от C _{гум}	% C _{стаб} от C _{гум}	% C _{H2O} от C _{подв}	% C _{NaOH} от C _{подв}
Контроль (без удобрений)		10.7	89.4	7.2	92.8
БГ, т/га	3	11.2	88.8	7.1	92.9
	5	11.1	88.9	6.7	93.3
	7	11.0	89.0	6.8	93.2

ВЫВОДЫ

1. Показано, что в динамике под действием биогумуса, внесенного в чернозем выщелоченный в дозе 7 т/га, достоверно повышается содержание гумуса и его запасов.
2. Установлено, что применение биогумуса во всех исследуемых дозах сохраняет эффективное плодородие чернозема выщелоченного в рамках оптимальных значений.
3. Выявлено, что в черноземе выщелоченном преобладают соединения, составляющие фонд стабильного гумуса, возрастающий с повышением дозы внесения биогумуса в почву.
4. Обнаружено, что максимальная урожайность картофеля формируется при внесении 5 т/га биогумуса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Безуглова О.С., Горбов С.Н., Карпушова А.В. и др. Сравнительная характеристика методов определения органического углерода в почвах // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 8. – С. 1576–1580.
2. Мерзлая Г.Е., Шевцова В.К. Гумус и органические удобрения как основа плодородия // Плодородие. – 2006. – № 5. – С. 27–29.
3. Овчинникова М.Ф. Признаки и механизм агрогенной трансформации гумусовых веществ дерново-подзолистей почвы // Агрохимия. – 2012. – № 1. — С. 3–13.
4. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Гумус и почвообразование (методы и результаты изучения). – Л.: Наука, 1980. – 222 с.
5. Семенов В.М., Козут Б.М. Почвенное органическое вещество. – М.: ГЕОС, 2015. – 233 с.
6. Шиндорикина О.В., Сенкевич О.В., Ульянова О.А. и др. Изменение агрохимических свойств чернозёма обыкновенного под действием вермикомпоста в зерновом агроценозе // Плодородие. – 2017. – № 1 (94). – С. 38–40.
7. Чупрова В.В., Жукова И.В. Водорастворимое органическое вещество в почвах склонового агроландшафта Красноярской лесостепи // Вестник КрасГАУ. – 2017. – № 9. – С. 140–149.

Работа рекомендована д.б.н., профессором О.А. Ульяновой.

ГИПСОВЫЕ НОВООБРАЗОВАНИЯ В ПОЧВАХ

А.А. Гагулина, Н.Д. Киселева

ФГБОУ ВО «Иркутский государственный университет»

Новообразования гипса это специфичные скопления в профиле различных почв, на формирование которых оказывают влияние процессы выветривания, разрушающие гипсоносные почвообразующие породы и процессы накопления пролювиальных, делювиальных и аллювиальных переотложений гипса в подчиненных элементах рельефа. Появление гипса в почвах Южного Приангарья связано с выветриванием гипсоносных кембрийских и третичных пород, в толще которых встречаются пласты гипса. В поймах рек и различных депрессиях рельефа образуются аккумуляции гидрогенного гипса («гажа»).

ВВЕДЕНИЕ

Новообразования в почвах – это минеральные тела, различающиеся скульптурными формами и химическим составом, которые появились в процессе почвообразования в разных частях почвенного профиля. Новообразования гипса характерны для почв полувеселых и веселых областей земной поверхности, особенно для молодых водноаккумулятивных поверхностей морских, озерных и речных побережий внутриконтинентальных районов [9].

Почвы с гипсовыми новообразованиями в основном приурочены к аридной зоне (пустыни, полупустыни и сухие степи) и широко распространены в Азии, Северной Африке, на юге Европы, в центральной и северной Америке, Австралии [4].

На территории Южного Приангарья в почвах, сформированных под влиянием верхнекембрийских отложений, наблюдается большое количество гипсовых новообразований, которые являются отражением генезиса, почвообразовательных процессов и природных условий региона. Изучение таких почв, образованных в условиях лесостепных ландшафтов с веселым весенне-раннелетним периодом и довольно влажным летне-осенним сезоном, представляет определенный научный интерес [2, 3, 10].

Гипсовые и карбонатно-гипсовые новообразования относятся к числу объектов, записывающих информацию об окружающей среде и биосферно-геосферных взаимодействиях. Такие минеральные образования обладают относительной твердостью и прочностью, что способствует сохранности в почвенном профиле, поэтому они являются своеобразными носителями памяти в почвенных системах и тесно переплетены с генезисом почв и их эволюцией (используются в палеорекострукции и реконструкции климата) [3].

Целью исследования является изучение гипсовых новообразований и условий их формирования. Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: 1. Изучить научную литературу, посвященную генезису и распространению в почвах гипса и гипсовых новообразований; 2. Рассмотреть условия формирования гипсоносных почв и гипсовых новообразований на территории Южного Приангарья.

ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

По отношению к почве гипс может представлять собой новообразования, возникшие в процессе почвообразования (педогенные и гидрогенные) и быть остаточным, т.е. унаследованным от породы (литогенный гипс).

В отличие от большинства других минералов, наследуемых от материнских пород гипс, как правило, вторичный минерал [6]. Он может перекристаллизовываться, из твердой фазы переходить в жидкую в виде раствора сульфата кальция и перераспределяться в пределах горизонта и профиля, с потоками почвенно-грунтовых вод сульфат кальция может перемещаться по элементам рельефа, а при испарении почвенных растворов выкристаллизовываться в виде гипсовых новообразований в почвах на склонах и в понижениях. При этом изменяется состав почв, их строение, структура, соотношение пор разного размера и другие параметры [8].

Различают следующие основные формы гипса в почве: прожилки, корочки, друзы, розы гипса, прослойки [5]. По размеру и виду кристаллы гипса представлены мучнистым гипсом (менее 0.1 мм), мелкокристаллическим (белые непрозрачные кристаллы размером 0.1–1.0 мм), среднекристаллическим (желтоватые прозрачные кристаллы 1.0–5.0 мм), крупнокристаллическим и таблитчатым или пластинчатым гипсом — кристаллы более 5.0 мм. Существенно, что размер кристаллов гипса и их морфология тесно связаны с особенностями гидротермического режима гипсоносных почв [7].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

На территории Южного Приангарья особое место занимают гипсоносные почвы, сформированные на продуктах выветривания и переотложения кембрийских осадочных пород. Кембрийские породы образованы в период временного осушения территории, о чем свидетельствуют солонцеватость, гипсоносность пород, наличие углекислой извести. Основным местом распространения их являются долины рек бассейна р. Ангары и их притоки. А на территории исследования эти породы залегают очень близко к поверхности, что находит свое отражение в профиле разных типов почв (рис).

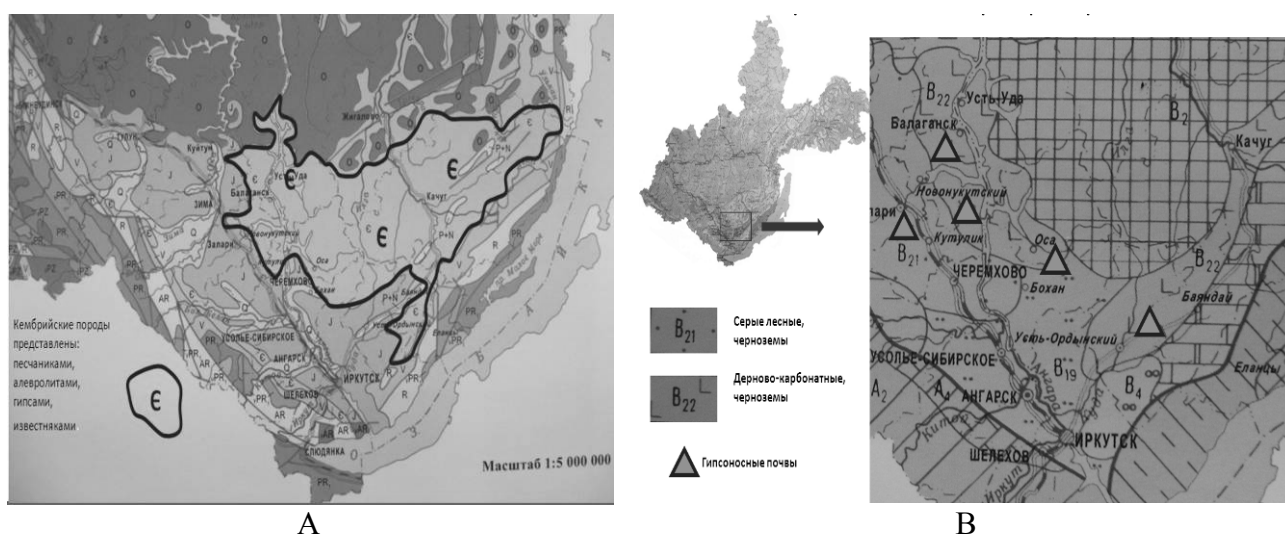


Рисунок. А – фрагмент геологической карты (€ – кембрийские породы);
В – фрагмент почвенной карты [1].

Почвы, образованные на гипсоносных отложениях и имеющие в своем профиле гипс, встречаются пятнами среди черноземов, дерново-карбонатных, лугово-черноземных и солончаковых почв, там где близко к поверхности подходят гипсоносные породы (рис).

На повышенных элементах рельефа формируются дерново-карбонатные почвы. В поймах рек, в понижениях лугово-солончаковые и лугово-черноземные почвы [3]. При морфологическом и мезоморфологическом исследованиях в почвенных профилях обнаружены обломки породы и аккумуляции кристаллического гипса на различных глубинах. Гипсовые новообразования имеют светлую окраску: белую, розоватую, зеленоватую, в пойме – белесозимоватую.

В почвах расположенных на повышенных элементах рельефа часто встречаются обломки материнской породы разной степени выветрелости. В почвах, сформированных на деллювиальных отложениях, гипсовые новообразования встречаются в виде присыпки и белых крапинок в межпоровом пространстве.

При высоких концентрациях гипса в почвенных растворах образуются бородки и натеки на обломках материнской породы.

На первых надпойменных террасах речных долин Приангарья описаны своеобразные почвы, развитые на рыхлых мучнистых гипсоносных отложениях («гажа»). Наличие гаж в условиях холодного континентального климата территории представляют значительный научный и практический интерес. Гажевые отложения Приангарья представляют собой белесо-

ватую мучнистую рыхлую породу позднечетвертичного возраста осадочного происхождения. В составе ее преобладает гипс (до 80–90 %). В виде примеси могут присутствовать илистый материал, карбонат кальция и легкорастворимые соли. Мощность гажевой толщи в среднем 90 см (с колебаниями от 5–10 до 180 см). Переход в нижележащий слой резкий [2, 9].

Формирование гажевых толщ в Приангарье происходило в полупроточных озеровидных водоемах, существовавших на месте современных первых надпойменных террас в результате осаждения гипса из концентрированных растворов. Источником гипса гажи послужили широко распространенные на повышенных элементах рельефа гипсоносные породы кембрия [9].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Новообразования гипса весьма специфичны, и на их формирование оказывают влияние процессы выветривания, разрушающие гипсоносные почвообразующие породы; пролювиального, делювиального и аллювиального переотложения гипса, накопления его в подчиненных элементах ландшафта и формирования в этих условиях гипсоносных почв.

Появление гипса в почвах Южного Приангарья связано с выветриванием гипсоносных кембрийских и третичных пород, в толще которых встречаются пласты гипса. Аккумуляции гидрогенного гипса образуются в поймах рек и различных депрессиях рельефа (гажа). Литогенные и педогенные формы гипса отмечаются в почвах на положительных элементах рельефа, где они могут фиксироваться на разной глубине от поверхности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Атлас. Иркутская область: экологические условия развития/* под ред. А.Н. Антипова. – М.; Иркутск: Роскартография; Ин-т географии СО РАН, 2004. – 90 с.
2. *Киселева Н.Д., Лопатовская О.Г.* Особенности профильного распределения гипса в некоторых почвах Приангарья. Вестник КрасГАУ. 2010. № 9. С. 17–21.
3. *Киселева Н.Д., Яковлева С.А.* Характеристика пойменных «гажевых» почв Южного Приангарья. //Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно преобразованных экосистем., Материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ и Дню Байкала. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2016, С. 137–143.
4. *Минашина Н.Г.* Гипсоносные почвы: распространение, генезис, классификация. Почвоведение № 3, 2002. – 17 с.
5. *Минашина Н.Г.* Серо-коричневые гажевые (гипсоносные) почвы Кировобадского массива. Почвоведение, 1953, № 11.
6. *Окороков В.В., Курбатов А.И.* Растворимость гипса в суспензиях солонцов и глин. Известия ТСХА, 1983, вып. 4, с. 87–92.
7. *Панкова Е.И.* Природное и антропогенное засоление почв бассейна Аральского моря (география, генезис, эволюция)/ Е.И. Панкова, И.П. Айдаров, И.А. Ямнова, А.Ф. Новикова, Н.С. Благоволитин// Изд-во Почв. ин-та им. Докучаева. М., 1996, 188 с.
8. *Пономарев Г.М.* Химическая характеристика карбонатных и сульфатных выделений в почвах в связи с генезисом последних. Тр. ВИУАА, 1935, вып. 36.
9. *Розанов Б.Г.* Морфология почв. Учебник для высш. школы. – Москва, 2004, С. 301.
10. *Хисматуллин Ш.Д.* Засоленные почвы речных долин лесостепных районов Верхнего Приангарья: Автореферат. ДИС. Канд. Биолог. наук. – Иркутск, 1962. – 29 с.

ТРАНСФОРМАЦИЯ КРИОМЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОЧВ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ В РЕЗУЛЬТАТЕ ПОТЕПЛЕНИЯ КЛИМАТА

Ю.А. Головлева¹, Е.А. Коркина²

¹Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
факультет почвоведения, кафедра географии почв, Julango@mail.ru

²Нижевартовский государственный университет,
факультет экологии и инжиниринга, кафедра географии, lena_k_nv@ro.ru

В Западной Сибири изучались таёжные суглинистые почвы, как с признаками текстурной дифференциации, так без ее проявления. Они характеризуются высокой кислотностью, слабовыраженными кутанами, криогенной структурой, наличием Fe-Mg конкреций, а также дифференциацией профиля по плотности и содержанию обменных Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} . На формирование почв влияют специфика почвообразующей породы и локальные условия почвообразования. Высказано предложение, что расхождение почв, сформированных на суглинистых породах, на разные типы, произошло в результате дивергентной эволюции, обусловленной различными термическими режимами.

ВВЕДЕНИЕ

Вопреки распространенному представлению о монотонности почвенного покрова Западной Сибири за счет сильной заболоченности и преобладания торфяников [5] нами было отмечено сравнительно высокое разнообразие почв. В зоне средне тайги в автоморфных позициях на песчаных отложениях формируются подзолы, в случае же суглинистых отложений – почвы, попадающие в криометаморфический отдел классификации почв России [7]. При этом на Западно-Сибирской равнине на относительно коротких дистанциях встречаются суглинистые почвы, как с явными признаками текстурной дифференциации, так и практически без ее проявления. Специфический климат оказывает непосредственное влияние на почвообразование. В условиях длинного сурового зимнего периода с высоким снежным покровом, сезонное промерзание пород является ведущим процессом в формировании почв, влияя на обмен, превращение и перемещение веществ. Данная работа направлена на выявление причины разнообразия суглинистых почв в зоне средней тайги Западной Сибири.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являются суглинистые почвы зоны средней тайги Западной Сибири, сформированные на плейстоценовых отложениях. В Ханты-Мансийском автономном округе в пределах Западно-Сибирской равнины были заложены разрезы на Северо-Сосьвинской возвышенности, Аганском Увале и Юганско-Ларьёганской возвышенной террасе (рис. 1).

Климат района исследования умеренный континентальный, со среднегодовой температурой $-3...-1$ °С; в январе средняя температура составляет -20 °С, а в июне 18 °С. Годовое количество осадков составляет 580 мм, с самыми интенсивными дождями с июля по сентябрь. Годовая амплитуда температуры и осадков представлена на рис. 2 [10]. Зима суровая и продолжительная с устойчивым снежным покровом высотой до 50–80 см, лето короткое и тёплое.

Растительность представлена темнохвойными лесами, с елью, сосной сибирской, лиственницей, пихтой и сосной обыкновенной в древесном ярусе, в кустарниково-травянистом ярусе преобладают брусника, черника, голубика, хвощ лесной, осоки. Район исследования относится к зоне островной вечной мерзлоты. Почвообразующими породами являются суглинки, супеси, пески аллювиального и древнеаллювиального генезиса.

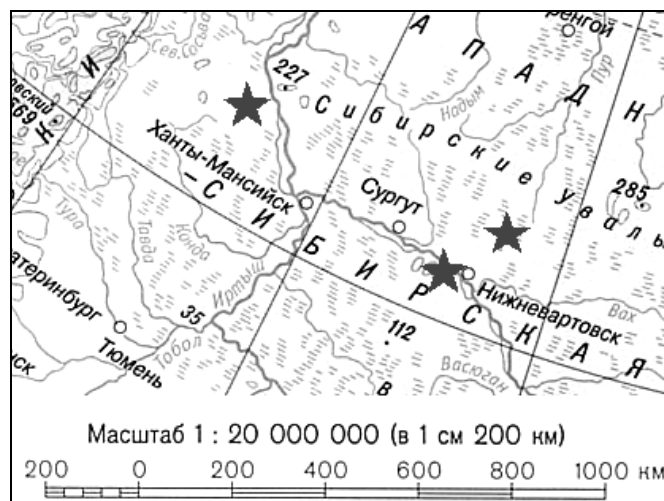


Рисунок 1. Исследуемая территория, фрагмент Большой подробной физической карты России (РФ) [11].

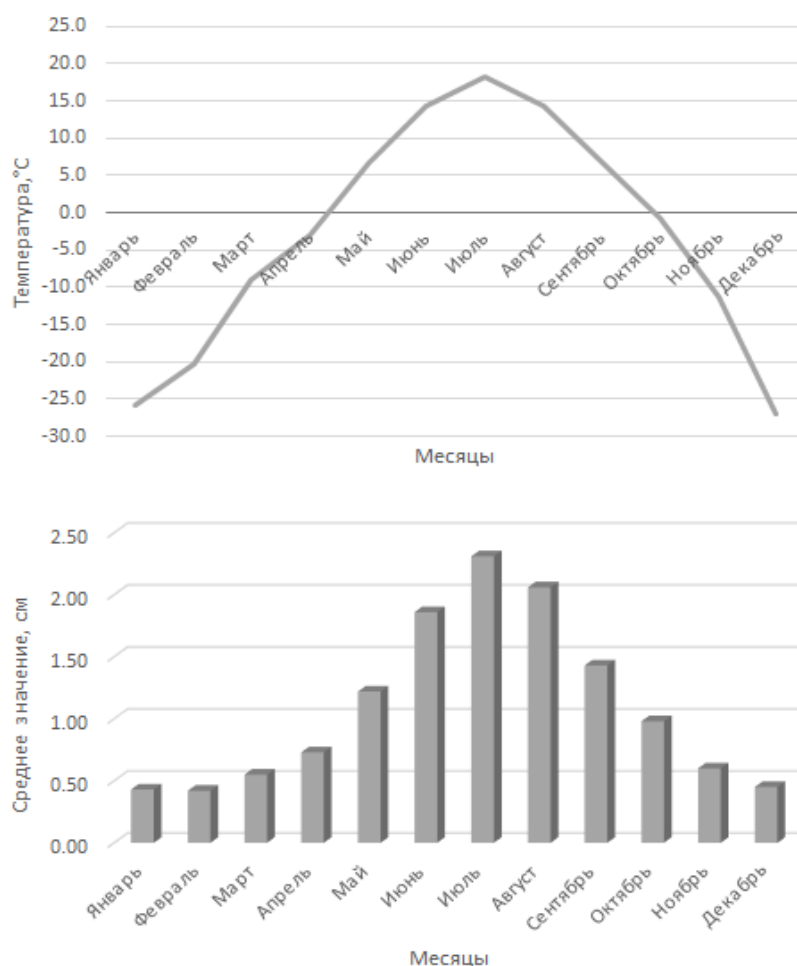


Рисунок 2. Годовая амплитуда температуры (°C), годовая амплитуда осадков (см).

Образцы для анализов отбирались в летний период с июня по август. В них были определены: гранулометрический состав методом пипетки [3]; порозность на ртутном порозиметре Micrometrics 9311; актуальная кислотность (pH) – в водной вытяжке потенциометрически, органический углерод мокрым окислением по Тюрину, обменные основания по Шолленбергеру: окончательное определение K и Na на пламенном фотометре, Ca и Mg на атомно-абсорбционном спектрометре [4]; обменный алюминий в почвенной вытяжке по Соколову с окончанием на ICP, абсолютная влажность и плотность почвы, методом цилиндра, ис-

пользуя бюксы объемом 100 см^3 [3]. Для изучения гидротермических условий также были заложены ферригидритные трубки IRIS, диагностирующие застой влаги в почве [8], и проведено измерение температуры почв по глубинам с помощью электронного термометра.

Микроморфологическое исследование проводилось в плоскопараллельных шлифах под поляризационным микроскопом в проходящем и отраженном свете [1]; субмикроморфологическое – под сканирующим электронным микроскопом MPV-SP (Leica, Germany). Илистая фракция отмучивалась из почвенных образцов по Горбунову [2], минералогический состав определялся в ориентированных препаратах рентгеновским фазовым анализом на приборе ДРОН-3 [6].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Исследуемые почвы характеризуются наличием серовато-бурого криометаморфического горизонта со специфической творожистой структурой, переходящей в угловато-крупитчатую, в нижней части профиля отмечается мерзлотная шпировость. Над криометаморфическим горизонтом формируется бурый иллювиально-железистый горизонт с творожистой структурой и сизовато-серый подзолистый, который на склонах хорошо выражен, а в выположенных формах микрорельефа – фрагментарный и маломощный. В оттаянном состоянии в криометаморфическом горизонте проявляется тиксотропность. Почвы сильноокислые, с большим количеством Fe-Mn конкреций в профиле, обладают высокой липкостью.

Минимальный показатель pH в водной вытяжке достигает 4. Наибольшее количество обменного алюминия 39.3 смоль/кг было отмечено в поверхностных горизонтах, которое убывает с глубиной. Среди обменных оснований преобладают кальций и магний, и их содержание увеличивается вниз по профилю. Органический углерод имеет аккумулятивное распределение. Почвы высокопористые, отмечается наличие мелких и средних пор различных форм. Преобладающая фракция в почве является пыль. Содержание илистой фракции в одних случаях относительно равномерно распределено по профилю, в других – имеет элювиальное распределение (рис. 3). В илистой фракции преобладает смектит, почвенный хлорит и каолинит. Ферригидритные трубки IRIS показали слабое развитие оглеения.

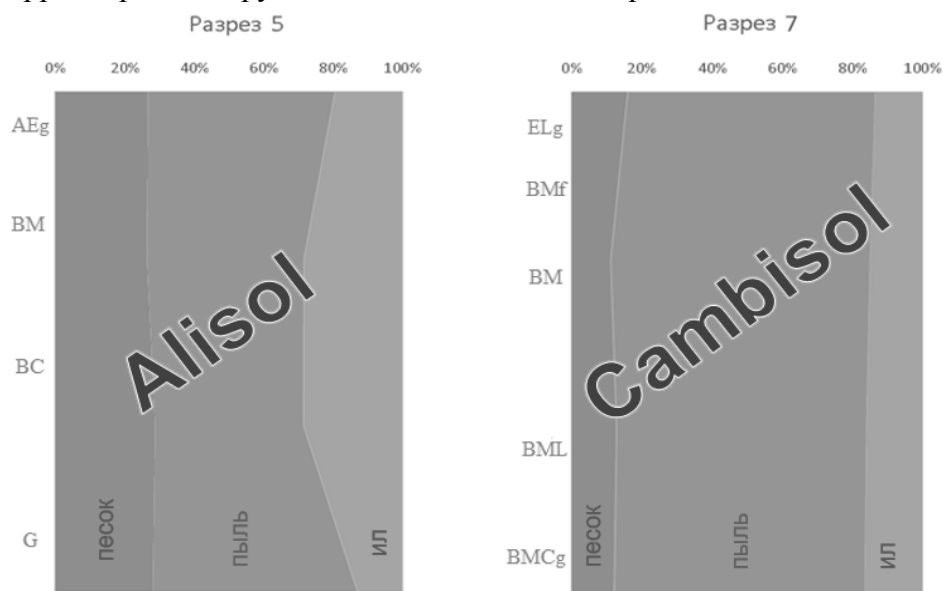


Рисунок 3. Гранулометрический состав в разрезах 5 и 7, заложённых на Северо-Сосьвинской возвышенности.

Сезонное промерзание почвы в период исследования не наблюдалось. При температуре воздуха 32.4°C в июне месяце почвы имеют достаточно низкую температуру на глубине 1-го метра – около 6°C , и абсолютную влажность от 225 % в органических и до 20 % в криометаморфических горизонтах (рис. 4). Значения плотности почвы по глубинам изменяются от 0.08 до 1.6 г/см^3 (рис. 5).

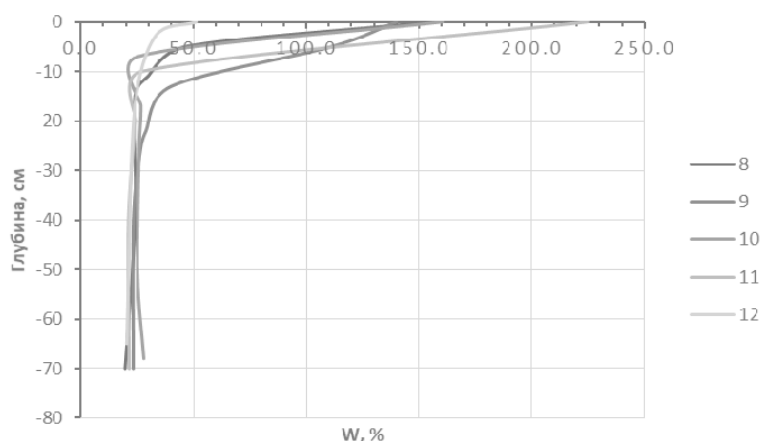


Рисунок 4. Распределение влажности почв по глубинам в разрезах № 8–12, заложенных на Аганском увале и Юганско-Ларьёганской возвышенной террасе.

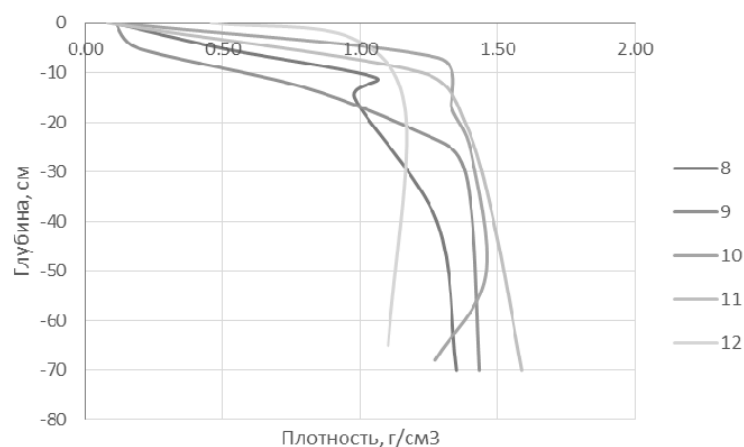


Рисунок 5. Распределение показателя плотности почв по глубинам в разрезах № 8–12, заложенных на Аганском увале и Юганско-Ларьёганской возвышенной террасе.

Дифференциация горизонтов в исследуемых почвенных профилях фиксируется по гранулометрическому составу, плотности, влажности, распределению обменных форм Al^{3+} , Ca^{2+} , Mg^{2+} . Наличие слабовыраженных кутан в нижней части почвенных профилей говорит о текстурной дифференциации. Fe-Mn конкреции являются признаком оглеения, в ряде случаев, имеющих реликтовое происхождение, за исключением разрезов расположенных в понижениях. Проявление криогенного метаморфизма отмечается через выраженные округлые агрегаты, творожистую структуру в иллювиальных горизонтах и шлировую структуру в криометаморфических горизонтах. По классификации WRB [9] почвы были названы Cambisols и Alisols в зависимости от распределения ила по профилю. Несмотря на вхождение исследуемой территории в зону островной вечной мерзлоты, мы не можем отнести данные почвы к реферативной группе Cryosols из-за температуры выше $0^{\circ}C$ и отсутствия видимых кристаллов льда в летний период.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таёжные почвы Западно-Сибирской равнины, сформированные на суглинистых отложениях, различаются дифференциацией профиля: с выделением элювиального горизонта на склоновых позициях рельефа и без выделения элювиального горизонта на более пологих участках. Морфологическое отличие связано со спецификой почвообразующей породы и локальными условиями почвообразования: гидротермическими режимами, зависящими от топографических, литологических и фитоценологических характеристик. Непосредственное влияние на почвообразование оказывает криогенез – сезонное промерзание пород. Диффе-

ренцированные суглинистые почвы могут формироваться на участках с большей теплообеспеченностью и более ранним протаиванием. Они характеризуются промывным типом водного режима практически в течение всего вегетационного периода. Мы предполагаем, что расхождение почв, сформированных на суглинистых породах, на разные типы произошло в результате дивергентной эволюции, обусловленной локальными условиями термического режима (рис. 6). В теплые климатические периоды, возможно, усиливались процессы текстурной дифференциации в почвах, которые ранее не имели признаков иллювирувания глины из-за позднего оттаивания и краткости активного периода.

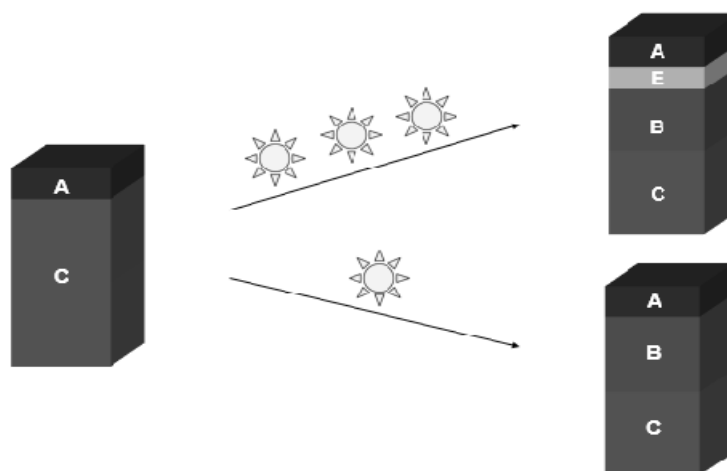


Рисунок 6. Дивергентная эволюция таежных суглинистых почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герасимова М.И., Губин С.В., Шоба С.А. Микроморфология почв природных зон СССР. Пушкино: Изд-во ОНТИ Пушкинского НЦ РАН, 1992. 200 с.
2. Горбунов Н.И. Высокодисперсные минералы и методы их изучения. М.: Академия наук СССР. 1963. 306 с.
3. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы определения физических свойств почв и грунтов. М: Высшая школа, 1986. 344 с.
4. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. университета, 1998. 272 с.
5. Дюкарев А.Г. Особенности почвообразования в таежной зоне Западной Сибири // Почвоведение. 2009. № 2. С. 189–197.
6. Соколова Т.А., Дронова Т.Я., Толмешта И.И. Глинистые минералы в почвах. Тула: Изд-во Гриф и К., 2005. 336 с.
7. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И. и др. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Изд-во Ойкумена, 2004. 342 с.
8. Bryant K. Indicator of reduction in soils (IRIS) for wetland identification in Queensland // 19th World congress of soil science, Soil Solutions for a Changing World, 1–6 August 2010, Brisbane, Australia. 2010. Published on DVD. P. 25–28.
9. IUSS working Group WRB. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World soil resources reports No. 106. FAO, Rome, 2014. 181 p.
10. Метеоданные для Ханты-Мансийского автономного округа [Электронный ресурс] URL: <https://web.archive.org/web/20120411154000/http://hmao-meteo.ru:80/> (дата обращения 01.03.2018).
11. Большая подробная физическая карта России [Электронный ресурс] URL: <http://www.raster-maps.com/map-of-russia-12/> (дата обращения 08.04.2018).

Научный руководитель: д.б.н., член-корр. РАН, проф. каф. Географии почв Факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова П.В. Кrasilъников.

СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ КАРСТОВОГО РАЙОНА НЕФТЕДОБЫЧИ (ЛОГ «АРАПОВ КЛЮЧ», ОРДИНСКИЙ РАЙОН, ПЕРМСКИЙ КРАЙ)

Е.А. Дзюба, Д.Н. Андреев, И.Е. Шестаков

ФГБОУ ВО «Пермский государственный национальный исследовательский университет»,
aea_eco@mail.ru

В статье описаны результаты исследования содержания тяжелых металлов в почвах, подверженных антропогенному влиянию нефтедобычи. Оценено суммарное химическое загрязнение почв тяжелыми металлами с учетом токсичности элементов. Выявлены участки с повышенным содержанием в почвах нефтепродуктов. Проведена корреляция между содержанием в почвах нефтепродуктов и тяжелых металлов. Установлена прямая тесная коррелятивная связь между содержанием в почвах нефтепродуктов и загрязнением Sr.

Закон В.И. Вернадского о всеобщем рассеянии химических элементов утверждает, что во всех природных объектах есть все химические элементы, но их распространение носит неравномерный характер [8]. Почва, как биокосная система, не является исключением из данного закона. В различных природных комплексах элементы распределены неравномерно. Знание содержания химических элементов в исследуемой системе или отдельном объекте помогает в решении различных экологических проблем [1, 2, 5].

На территории Пермского края геологические процессы, обуславливающие карстовые явления, контролируются литологическими комплексами, которые участвуют в строении наиболее крупных тектонических структур региона: Восточно-Европейской платформы, Предуралья краевого прогиба и Уральской складчатой системы. Сочетание литологических комплексов и глобальных тектонических структур определяет меридиональную зональность обстановок развития карстового процесса [16].

К основным источникам поступления нефти и нефтепродуктов в карстовые ландшафты относят месторождения углеводородов и нефтепромыслы, сточные воды и атмосферные выбросы промышленных предприятий, выхлопные газы двигателей внутреннего сгорания [25–27]. Самому большому риску загрязнения среди компонентов карстовых ландшафтов подвергаются почвы, принимающие на себя потоки как сверху (отходы производства) так и снизу – эманации из техногенных углеводородных линз, образующихся на поверхности карстовых вод в подземных полостях [4, 6, 20].

Загрязнение тяжелыми металлами происходит в процессе попадания их в почву вместе с разлитой нефтью и солевыми растворами в местах нефтедобычи. Кроме прямого поступления нефти и солевых растворов, возможно загрязнение сопутствующими тяжелыми металлами. Их попутное поступление усугубляет негативное влияние углеводородов и минеральных солей, тормозя процесс естественного самовосстановления почвы [9].

Установлено, что в составе нефти всегда присутствуют два тяжелых металла: Ni и V [18]. Так же выявляются и другие тяжелые металлы: Cr и Zn [19]. Кроме этого в местах добычи нефти почвы загрязняются компонентами минерализованных промысловых стоков, буровых растворов и шламов [13]. В шламовые амбары поступают хлоридно-кальциевые рассолы, обогащенные Fe, Mn, Pb, Sn, Zn, Cu, Ba [12, 24].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Лог «Арапов ключ», расположенный в Ординском районе Пермского края, в районе села Красный Ясыл, находится в карстовом районе нефтедобычи. Изучение данной территории представляет научный интерес, исходя из специфики техногенного воздействия, оказываемого на природную среду.

Всего было выделено 17 пробных площадок. На 6 пробных площадках (ПП) закладывались почвенные разрезы, а на 11 – прикопки с отбором образцов только из верхних горизон-

тов. При изучении агрохимических и физических свойств почв определялись следующие показатели: pH водной и солевой суспензии – потенциометрическим методом; гидролитическая кислотность – по Каппену; сумма обменных оснований – по Каппену-Гильковицу, ёмкость катионного обмена и степень насыщенности основаниями – расчётным методом; содержание нитратного азота ионоселективным методом; подвижные фосфор, калий, натрий: в кислотной вытяжке по Кирсанову; содержание углерода органических соединений по Тюрину; содержание карбонатов в кислой вытяжке титриметрическим методом [23].

Содержание нефтепродуктов в почве определяли методом ИК-спектроскопии. Проводился количественный анализ валового содержания в почвах Sr, Pb, As, Zn, Cu, Ni, Co, MnO, Cr, V, TiO₂ рентгенофлуоресцентным методом. Массовая доля металлов и оксидов металлов измерялась на спектрометре «СПЕКТРОСКАН МАКС-G» в порошковых пробах почв [21].

По результатам измерений рассчитан коэффициент концентрации химического вещества (K_c), который определяется отношением фактического содержания определяемого вещества в почве к зональному фоновому показателю (C_{fi}), по формуле:

$$K_c = \frac{C_i}{C_{fi}},$$

где C_i – содержание определяемого вещества в почве, мг/кг; $C_{fi}/\text{кларк}$ – зональный фоновый показатель, мг/кг.

Рассчитан комплексный показатель суммарного загрязнения ($Z_{cm(z)}$), учитывающий среднее геометрическое K_c и токсичность элементов [10], по формуле:

$$Z_{cm(z)} = n \times [(K_{c1} \times K_{t1})(K_{c2} \times K_{t2}) \times \dots \times (K_{cn} \times K_{tn})]^{\frac{1}{n}} - (n-1),$$

где, n – число определяемых компонентов, K_{ci} – коэффициент концентрации загрязняющего компонента, K_{ti} – коэффициент токсичности i -ого элемента. С учетом актуальности шкалы критических суммарных показателей М.Е. Саета, следует для элементов первого класса опасности применять $K_t = 1.5$, для элементов второго класса опасности – $K_t = 1.0$, для элементов третьего класса опасности – $K_t = 0.5$. Изученные тяжелые металлы по опасности делятся на три класса: первый (высокий) класс включает As, Pb, Zn, Cr; второй (средний) класс – Co, Ni, Cu, Ti; третий (низкий) класс – V, Mn, Sr [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В почвенном отношении территория исследования располагается в Сергинско-Кунгурско-Уинский подрайоне серых и светло-серых лесостепных тяжелосуглинистых почв, соподчиненное положение занимают темно-серые лесостепные почвы. Изредка встречаются оподзоленные тяжелосуглинистые черноземы. В приречных частях на склонах распространены дерново-карбонатные почвы [14].

Помимо собственно тёмно-серых и серых почв на территории исследования представлены аллювиальные тёмногумусовые почвы, формирующиеся в пойменных местоположениях долины реки Ясыл. Рассмотренные серые и аллювиальные почвы являются естественным почвенным фоном территории. Наряду с ними фрагментарно представлены в различной степени нарушенные участки почв, находящиеся в разных стадиях восстановления. Наиболее нарушенные, практически полностью утратившие как генетические признаки, так и первичное плодородие субстраты, относятся к техногенным поверхностным образованиям, подгруппе токсилитостратов.

Наибольшая площадь в структуре почвенного покрова представлена зональными серыми и аллювиальными почвами. Климатический фактор, особенности рельефа и почвообразующие породы определяют высокий экологический потенциал почв. Наиболее характерными чертами почв, являются: мощный плодородный слой, высокое содержание гумуса (относительно регионального фона) и повышенная ёмкость катионного обмена, что свидетельствует об их устойчивости к загрязнению.

Значения актуальной кислотности поверхностных слоев 61 % почв варьировали от кислой ($pH=5.52$) до нейтральной ($pH=7.45$). Кислотность остальных 39 % почв имела реакцию от слабощелочной до щелочной. В 50 % проб почв территории обнаружены карбонаты, эти почвы характеризуются как мало карбонатные. С глубиной содержание карбонатов возрастает незначительно. Высокие значения гидролитической кислотности (8.3–19.5 мг-экв/100 г) характерны для верхних горизонтов исследуемых почв. Содержание обменных оснований изменялось от среднего (26 мг-экв/100 г) до высокого (47.5 мг-экв/100 г). Величина ёмкости катионного обмена (ЕКО) варьировала от выше средней [7] до очень высокой, что указывает на благополучное состояние этих почв. Высокие значения ЕКО свидетельствуют о наличии буферных свойств, способствующих сохранению устойчивости почв к деградации. Содержание органического вещества в поверхностных горизонтах почв на обследованной территории варьирует от низкого (1.4 %) до высокого (10.4 %). Для некоторых почв характерно повышение содержания органического вещества в подповерхностном слое, в несколько раз превышающее этот показатель в гумусовом горизонте, что объясняется наличием водорастворимых углеводов, мигрирующих или захороненных в глубине профиля.

Исследуемые почвы обеднены фосфором и калием, содержание натрия варьирует от низкого до высокого, что можно объяснить наличием подсолонения, связанного с воздействием нефтепродуктов.

Уровень загрязнения почв был определен по концентрации в ней нефтепродуктов [22]. В ходе исследования техногенного воздействия добычи нефти было выявлено превышение содержания нефтепродуктов в почвах. Исходя из вышеупомянутых нормативов, в двух исследуемых пробах (ПП 3 на глубине 90–110 см и ПП 16) обнаружен очень высокий уровень загрязнения с содержанием нефтепродуктов более 5000 мг/кг, в ряде проб – высокий уровень загрязнения: ПП 2, ПП 3 (2–15 см, 2–32 см), ПП 15, во всех остальных пробах содержание нефтепродуктов в почвах находится в пределах допустимого уровня. По результатам измерения содержания тяжелых металлов в целом по шести пробным площадкам (в том числе фоновая территория), на которых были заложены почвенные разрезы, суммарный уровень загрязнения находится в пределах допустимого (значения $Z_{с\text{т}(г)}$ меньше 16), но отмечены превышения установленных нормативов по отдельным элементам, и в некоторых горизонтах наблюдается превышение допустимого уровня суммарного химического загрязнения почв (рис. 1, 2). Исходя из этого, можно выделить пробные площадки 5, 13 и 14, подверженные наиболее высокому загрязнению тяжелыми металлами.

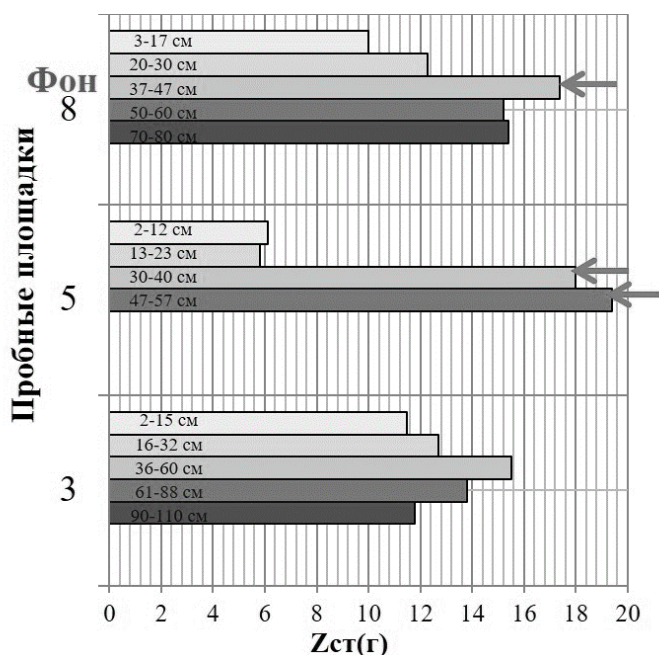


Рисунок 1. Суммарное химическое загрязнение почв тяжелыми металлами на ПП 3, 5, 8 (фон).

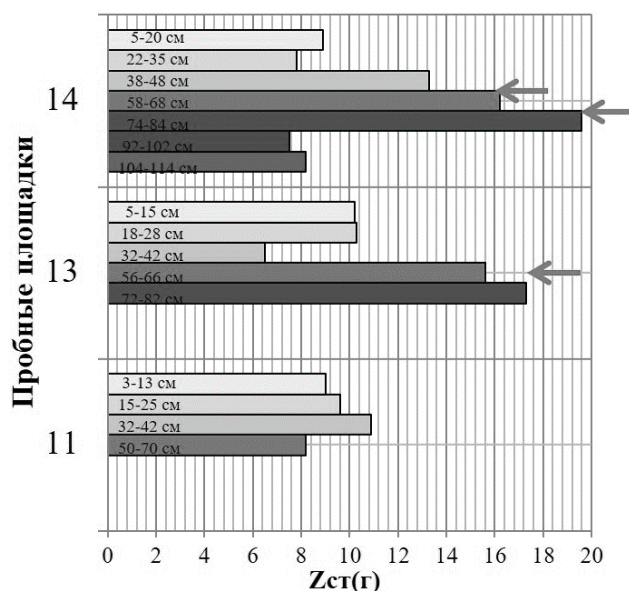


Рисунок 2. Суммарное химическое загрязнение тяжелыми металлами на ПП 11, 13, 14.

На рис. 3 отображено суммарное химическое загрязнение верхних горизонтов почв тяжелыми металлами. Все полученные значения находятся в пределах допустимого уровня суммарного химического загрязнения почв тяжелыми металлами. Наибольший уровень суммарного загрязнения верхних горизонтов почв выявлен на пробных площадках 3, 12, 16 (значения выше, чем на фоновой территории). На ряде пробных площадок (0, 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 14, 15) уровень суммарного химического загрязнения почв тяжелыми металлами ниже, чем на фоновой территории.

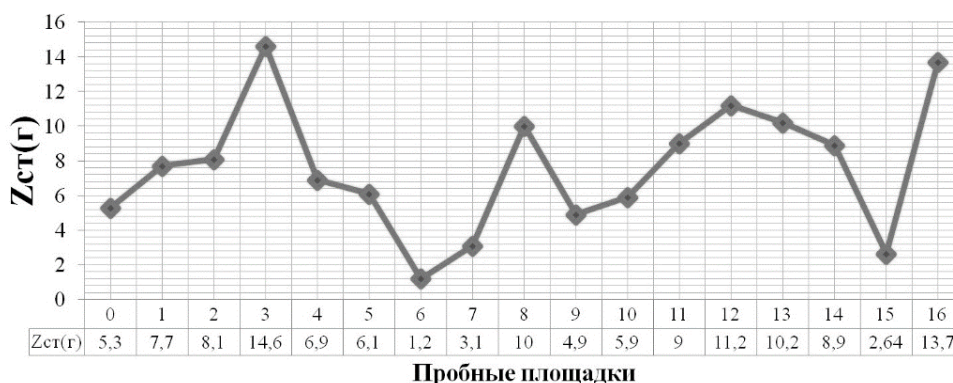


Рисунок 3. Суммарное химическое загрязнение верхних горизонтов почв тяжелыми металлами.

На исследуемой территории ряд элементов имеют неоднородное распределение (исходя из коэффициента вариации – CV, %) по анализируемым пробным площадкам. Например, распределение Sr (рис. 4) в верхних горизонтах почв исследуемых площадок неоднородное (CV=40 %). Выделяется ПП 7 с максимальным содержанием данного элемента, на остальных площадках наблюдается однородное распределение Sr (CV=26 %).

Распределение Pb в верхних горизонтах почв исследуемых площадок неоднородное (CV=44 %), хотя выделяющихся из общей картины пробных площадок, отличающихся содержанием Pb нет. Распределение As в верхних горизонтах почв исследуемых площадок однородное с допустимой степенью вариации (CV=28 %). Распределение Zn – однородное с допустимой степенью вариации (CV=17 %). Максимальное содержание данного элемента наблюдается на ПП 14. Распределение Cu, наоборот, неоднородное, со значительной степенью вариации (CV=88 %). Максимальное содержание Cu обнаружено на ПП 16 (рис. 4).

Распределение Ni в верхних горизонтах почв исследуемых площадок однородное (CV=18 %), его максимальное содержание наблюдается на ПП 16. Распределение Co – однородное, с допустимой степенью вариации (CV=25 %). Распределение Fe₂O₃ в целом однородное, с допустимой степенью вариации (CV=20 %), но из общего числа выделяется ПП 7 с

минимальным значением. Распределение MnO – неоднородное (CV=31 %) с максимальным содержанием на ПП 14. Распределение Sr в верхних горизонтах почв исследуемых площадок однородное, с незначительной степенью вариации, (CV=7 %), что отображено на рис. 4.

Распределение V в верхнем горизонте исследуемых площадок однородное, с допустимой степенью вариации (CV=22 %). Распределение TiO₂ в верхнем горизонте исследуемых площадок однородное, с допустимой степенью вариации (CV=15 %).

Определена степень коррелятивной связи между содержанием в почвах нефтепродуктов и тяжелых металлов. Прямая связь с высокой степенью корреляции выявлена между содержанием нефтепродуктов и накоплением Sr. Средняя степень корреляции обнаружена между содержанием нефтепродуктов и количеством Co и MnO. Слабая степень корреляции – между содержанием нефтепродуктов и загрязнением Pb, Zn, Cu, Ni, Cr, V.

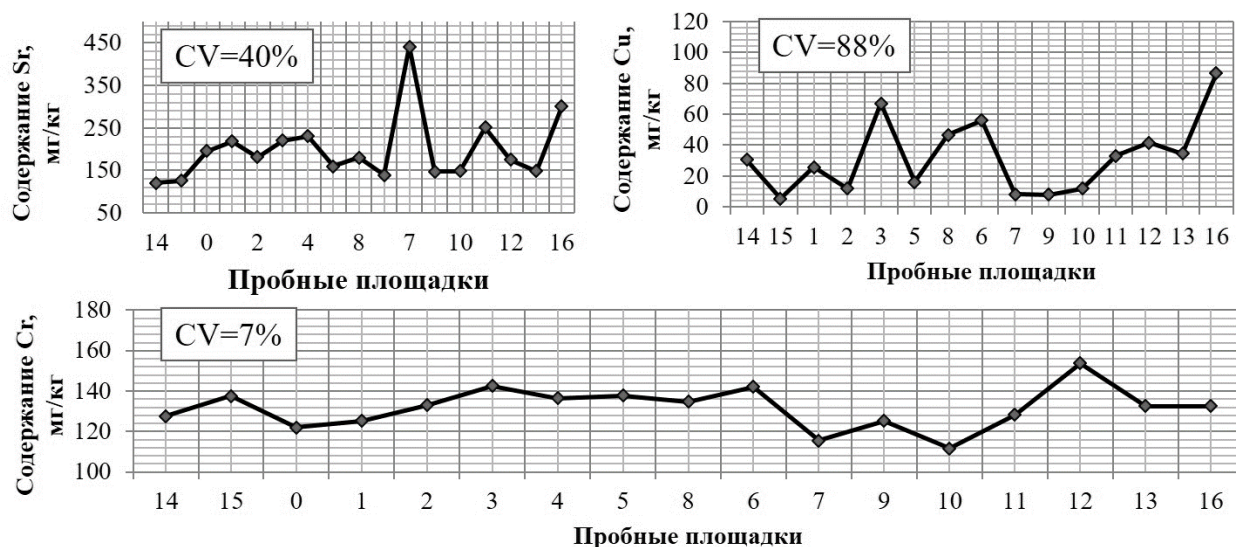


Рисунок 4. Распределение Sr, Cu и Cr в почвах пробных площадок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сопоставляя полученные данные по содержанию тяжелых металлов в верхних горизонтах почв исследуемых пробных площадок с фоновыми значениями, можно сделать вывод о том, что значительных отклонений от фонового содержания в основном не наблюдается. Есть единичные исключения, существенно отличающиеся от фона (рис. 1, 2).

Суммарное химическое загрязнение территории и содержание тяжелых металлов в почвах находятся в пределах допустимого уровня.

Распределение ряда тяжелых металлов (As, Zn, Ni, Co, Fe₂O₃, V, TiO₂) в верхних горизонтах почв исследуемой территории можно характеризовать как однородное.

Выявлена прямая связь с высокой степенью корреляции между содержанием в почвах нефтепродуктов и накоплением Sr.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев В.А. Металлы в окружающей среде. Почвы геохимических ландшафтов Ростовской области / В.А. Алексеев, А.В. Суворин, В.А. Алексеев. – М.: «Логос», 2002. – 312 с.
2. Алексеев В.А. Экологическая геохимия: Учебник. – М.: Логос, 2000. – 627 с.
3. Атлас Пермского края / под общ. ред. А.М. Тартаковского. Перм. гос.-нац. иссл. ун-т. – Пермь, 2012. – 124 с.
4. Бузмаков С.А. Антропогенная трансформация природной среды // Географический вестник. – Пермь, 2012. – № 4 (23). – С. 46–50.
5. Бузмаков С.А., Костарев С.М. Техногенные изменения компонентов природной среды в нефтедобывающих районах Пермской области. Пермь, Изд-во Пермского университета, 2003. – 171 с.

6. Бузмаков С.А., Кулаков С.А. Формирование природно-техногенных экосистем на территории нефтяных месторождений // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2007. № 1. С. 20–24.
7. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвоведение // Учебник для вузов. – М.: МарТ, Ростов н/Д: МарТ, 2004. – 496 с.
8. Вернадский В.И. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения (Серия «Библиотека трудов академика В.И. Вернадского»). – М.: Наука, 2001, 376 с.
9. Водяницкий Ю.Н. Современные тенденции загрязнения почв тяжелыми металлами // Агрохимия. 2013. № 9. С. 88–96.
10. Водяницкий Ю.Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами // Почвоведение. 2010. № 10. С. 1276–1280.
11. Водяницкий Ю.Н. Об опасных тяжелых металлах/металлоидах в почвах // Бюллетень Почвенного института В.В. Докучаева. 2011. Вып. 68. С. 56–82.
12. Дорожкуева С.Л., Янин Е.П. Буровые амбары как источники загрязнения природных вод в нефтедобывающих районах // Геохимия биосферы. М.; Смоленск, 2006. С. 123–125.
13. Иларионов С.А. Экологические аспекты восстановления нефтезагрязненных почв. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. 192 с.
14. Коротаев Н.Я. Почвы Пермской области. Пермь: Перм. кн. изд-во. 1962. – 287 с.
15. Максимович Н.Г., Мещерякова О.Ю. Методы борьбы с нефтяным загрязнением на закарстованных берегах водохранилищ // Экология урбанизированных территорий. 2009. № 4. С. 55–58.
16. Мещерякова О.Ю. Карст района Полазненского месторождения нефти Пермского края // Фундаментальные исследования. 2013. – № 6 (3). С. 628–633.
17. Новиков В.Н. География, история и экономика Ординского района Пермского края с древнейших времен до 2006 года. – Орда, 2005. 178 с.
18. Органическая геохимия / Под ред. Эглинтон Дж., Мерфи М.Т. Дж. Л.: Недра, 1974. 487 с.
19. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеводородов в окружающей среде. М.: Изд-во МГУ, 1993. 207 с.
20. Пиковский Ю.И., Смирнова М.А., Ковач Р.Г., Пузанова Т.А., Хлынина А.В., Хлынина Н.И. Поведение углеводородов в карстовых ландшафтах // Естественные и технические науки. 2014. № 9–10. С. 133–143.
21. ПНД Ф 16.1.42-04. Методика выполнения измерений массовой доли металлов и оксидов металлов в порошковых пробах почв рентгенофлуоресцентным методом, г. Санкт-Петербург, 2010 г, 50 с.
22. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами, от 27.12.1993, [Электронный ресурс], режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/9033369>, (дата обращения: 01.04.2018 г.).
23. Теория и практика химического анализа почв (Под редакцией Л.А. Воробьевой). – М.: ГЕОС, 2006. – 400 с.
24. Черников А.А. Особенности формирования геохимических барьеров в приповерхностной и глубинной зонах гипергенеза // Геохимические барьеры в зоне гипергенеза. М.: Изд-во МГУ, 2002. С. 154–161.
25. Goodbar J. Oil and gas drilling in cave and karst a: a process of mitigating impacts // Proceedings of the 1997 Karst and Cave Management Symposium 13th National Cave Management Symposium. – 1997. – P. 196–201.
26. Leorn L., Parise M. Managing environmental problems in Cuban karstic aquifers // Environmental geology 58. – 2009. – P. 257–283.
27. Parise M. Flood history in the karst environment of Castellana-Grotte (Apulia, southern Italy) // Natural hazards and Earth system sciences 3. – 2003. P. 593–604.

Работа рекомендована д.г.н., профессором С.А. Бузмаковым.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ АГРОПОЧВ ТУВЫ

Ш.К. Донгак, А.А. Куулар, А.С. Лопсан

Тувинский государственный университет, г. Кызыл,
shenneshka01@icloud.com, kuular.aylana@list.ru, lopsanartysh@yandex.ru

В статье рассматривается биологическая активность тувинских зональных почв сенокосного, пастбищного и пахотного использования и залежей. Выявлено, что в каштановых почвах пашни и залежи интенсивность разрушения клетчатки составляет 75–79 %, на пастбищных и сенокосных угодьях – 44–49 %.

ВВЕДЕНИЕ

Тува характеризуется суровыми природно-климатическими условиями. Территория Тувы расположена на стыке южно-сибирского таежного и центрально-азиатского пустынно-степного ландшафтов. Сельскохозяйственное производство в регионе приурочено к межгорным котловинам [1, 5].

Экстремальные климатические условия на территории оказывают большое воздействие на процессы жизнедеятельности организмов. Почва – это среда обитания множества организмов. Нарушение экосистем происходит в процессе сельскохозяйственной деятельности человека. При выращивании сельскохозяйственных культур плодородие почвы зависит главным образом от активности полезной микрофлоры и других компонентов почвенной биоты [3]. Цель нашей работы – изучить биологическую активность зональных каштановых почв сельскохозяйственного использования Чаа-Хольского района Республики Тувы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проведены в 2016–2017 гг., объектами стали почвы с. Булун-Терек Чаа-Хольского района: пахотного, сенокосного и пастбищного использования, а также залежи. Для изучения морфологических признаков, химических и физико-химических свойств были заложены 4 почвенных разреза, где погоризонтно были отобраны образцы, в которых определены: гумус – по Тюрину, подвижный фосфор и калий – по Мачигину, нитратный азот – ионометрическим методом (ГОСТ 20951-86).

Для определения целлюлозной активности почвы использовали аппликационный метод. В почву на глубину 0–20 см на весь вегетационный период была заложена льняная ткань. Через 90 дней льняное полотно осторожно извлекли, отмыли, высушили и взвесили [6].

Полученные данные были обработаны статистическими методами с использованием программных пакетов Microsoft Excel, Statistica.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На территории с. Булун-Терек Чаа-Хольского района каштановые почвы занимают площадь 15049 га: пашни 6315 га, сенокосов 5 га, пастбищ 8729 га. Средний балл оценки пашни по плодородию составляет 14.25. Каштановый тип почв является господствующим и представлен темно-каштановыми, каштановыми и светло-каштановыми легкими почвами. Эти почвы в хозяйстве распространены на равнинном рельефе. По мощности гумусового горизонта (А+В) каштановые почвы подразделяются на: среднемощные – 30–45 см, маломощные – 20–30 см и почвы укороченного профиля 15–20 см. Характерная особенность почв степных районов – податливость их ветровой эрозии. Интенсивное использование сельскохозяйственных земель в Туве во второй половине XX века, при низком уровне агротехнических технологий, привело почвы супесчаного гранулометрического состава к деградации.

Климат данного района резко континентальный, с частыми повторениями засух в вегетационный период. Лето короткое и жаркое. Зима длинная (150–170 дней) с сильными морозами. Осадков выпадает мало 250–300 мм. Безморозный период длится в среднем 100–

120 дней. Рельеф в основном среднегорный и низкогорный. Широкие межгорные долины являются основными землями, которые используются для орошаемого земледелия. Источник орошения – река Чаа-Холь. Водный режим р. Чаа-Холь характеризуется весенне-летним половодьем, с максимумом в конце мая – первой половине июня и формируется за счет таяния снега.

Растительный покров отличается большой специфичностью, но в основном преобладают полынно-злаковые, холодно-полынно-типчаковые и злаково-разнотравные ассоциации [1].

Активность биоты тесно связана с содержанием и распределением по профилю гумуса, который является основой жизнедеятельности почвообитающих организмов. Среднее содержание гумуса (в % от массы) составляет: в пахотном слое темно-каштановых почв 3.41 ± 0.10 , каштановых почв – 2.34 ± 0.15 и светло-каштановых – 1.82 ± 0.11 . По профилю количество гумуса резко снижается (в 2–4 раза) (рис. 1). Это можно объяснить тем, что основная масса органического вещества в виде корней и опада находится в верхней части профиля. Продукты гумификации закрепляются на месте и поэтому каштановые почвы региона имеют небольшую мощность гумусированного слоя (18–22 см). Для повышения плодородия изученных почв предлагается использование сидеральных культур и многолетних трав в севооборотах, внесение органических удобрений [2].

По исследованиям О.А. Назын-оол [4], причиной снижения содержания гумуса в почвах сельскохозяйственного назначения является дефляция и вдувание мелкозема, которые усиливаются после распашки целинных земель.

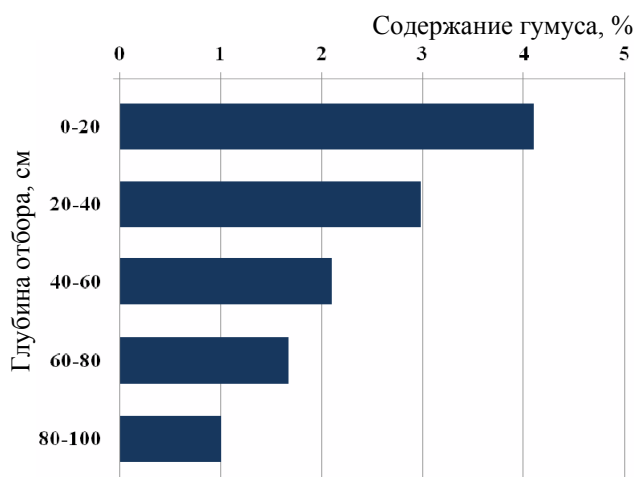


Рисунок 1. Содержание гумуса в профиле темно-каштановой почвы.

Биологическая активность почв была максимальной на залежных участках и пашне. Интенсивность разрушения клетчатки в каштановой почве на залежи составила 79 %, на пашне – 75 %, на сенокосных угодьях – 49 % и пастбищах – 44 % (рис. 2). Средняя целлюлолитическая активность наблюдается в почвах сенокосных и пастбищных биоценозов и высокая – в агроэкосистемах. Вероятно, это связано с тем, что в окультуренных почвах численность и активность микроорганизмов выше, чем на целине, так как, в отличие от пахотных, почвы естественных сенокосов и пастбищ имеют большую плотность сложения верхнего слоя, меньшую воздухопроницаемость и пониженное содержание свежего органического вещества.

Таким образом, на основании результатов исследований выявлено, что среднее содержание гумуса составляет: в пахотном слое темно-каштановых почв – 3.41 %, каштановых почв – 2.34 % и светло-каштановых – 1.82 %. Обеспеченность подвижным фосфором и обменным калием – средняя. Тувинские степные каштановые агропочвы различного сельскохозяйственного использования по степени интенсивности разрушения клетчатки выстраиваются в следующий убывающий ряд: залежь > пашня > сенокосы > пастбища.

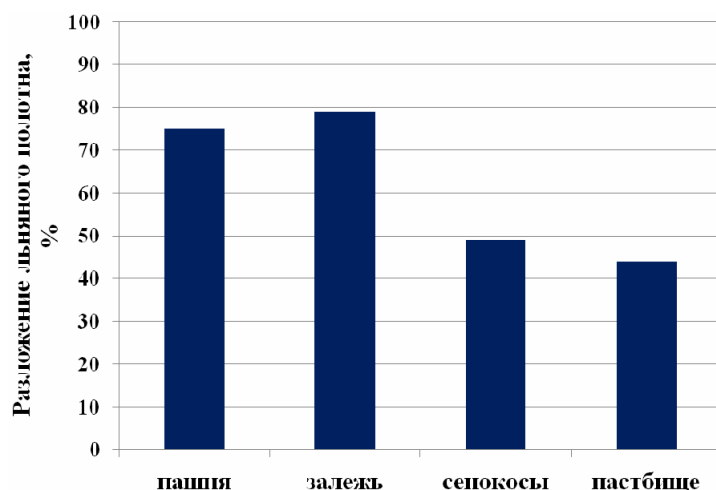


Рисунок 2. Интенсивность разрушения клетчатки в темно-каштановой почве

ЛИТЕРАТУРА

1. Жуланова В.Н. Агрогенная эволюция почв Тувы. – Кызыл: Изд-во ТувГУ, 2016. – 232 с.
2. Жуланова В.Н., Жарова Т.Ф. Влияние севооборотов на плодородие почв и продуктивность яровой пшеницы / Вестник КрасГАУ. № 1. 2015. С. 18–22.
3. Жуланова В.Н., Натпит-оол А.А. Агрохимические и биологические свойства каштановых почв Тувы // Отражение био-, гео-, антропогенных взаимодействий в почвах и почвенном покрове: сборн. мат-лов V Междунар. научн. конф., посвящ. 85-летию каф. почв. и экологии почв ТГУ. – Томск: Издат. Дом Томского гос. ун-та, 2015. – С. 406–409.
4. Назын-оол О.А. Плодородие дефлированных почв Центрально-Тувинской котловины. – Автореф. дисс. на соиск. учен. степени доктора с-х наук. – Барнаул, 2004. – 39 с.
5. Носин В.А. Почвы Тувы. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 342 с.
6. Теннер Е.З. Практикум по микробиологии. – М.: Колос, 1979. – 216 с.

Работа рекомендована д.б.н., проф. ТувГУ В.Н. Жулановой.

УДК 631.467.1

МИКРООРГАНИЗМЫ, АССОЦИИРОВАННЫЕ С МИКСОМИЦЕТАМИ, В ЛЕСНОМ БИОЦЕНОЗЕ

Н.Б. Захарова, Л.В. Лысак, Е.В. Лапыгина, В.И. Гмошинский

Московский государственный университет

Миксомицеты – уникальная группа спорообразующих протистов со сложным жизненным циклом. Миксомицеты представляют основную группу простейших в почве и могут регулировать численность и состав микроорганизмов, так как трофическая стадия может питаться бактериями и другими микроорганизмами. Но взаимоотношения миксомицетов и бактерий изучены крайне фрагментарно. Это исследование направлено на изучение численности и бактериального состава, ассоциированного с миксомицетами.

ВВЕДЕНИЕ

Миксомицеты или неклоточные слизевики – уникальная группа спорообразующих протистов [1, 6]. В их жизненном цикле есть несколько стадий: трофическая стадия представлена одноклеточными (амебоидными, жгутиковыми или амёбофлагелятными) клетками и (или) такими надклеточными структурами, как плазмодий и псевдоплазмодий, передвижение которого можно заметить невооруженным глазом, и неподвижная стадия – спорокарп (плодовое тело). В настоящее время миксомицеты относят к домену эукариоты, типу *Amoebozoa*,

отделу *Мухомycota*. Благодаря наличию микроцист, миксомицеты способны иметь широкие ареалы и даже выживать в условиях сильной антропогенной нагрузки [2, 6, 7, 8, 15].

Миксомицеты широко распространены в лесной зоне, часть жизненного цикла проходят на поверхности разлагающейся древесины, а часть в почве. Несмотря на широкое распространение, биоценотические связи бактерий и миксомицетов практически не изучены, однако известно, что большинство миксомицетов на различных стадиях жизненного цикла питаются бактериями, играя определенную роль в регуляции численности и состава бактериальных сообществ почв и сопредельных субстратов [13, 14, 15].

Целью нашей работы было определение показателей общей численности бактерий, а также численности и таксономического разнообразия культивируемых сапротрофных бактерий, ассоциированных с плодовыми телами миксомицетов, в лесном биоценозе.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследования служили образцы плодовых тел (спорокарпов) миксомицетов, отобранных на территории Ботанического сада (БС) МГУ на Ленинских горах, Центрально-лесного государственного природного биосферного заповедника в Тверской области (ЦЛГЗ), УОПЦ «Чашниково» и Звенигородской биологической станции (ЗБС) (2015–2017 гг.).

В процессе работы были изучено бактериальное население 22 видов миксомицетов, принадлежащих к 12 родам. Анализировали образцы плодовых тел следующих видов миксомицетов: *Arcyria denudata*, *Arcyria ferruginea*, *Arcyria stipata*, *Badhamia affinis*, *Badhamia capsulifera*, *Badhamia macrocarpa*, *Brefeldia maxima*, *Ceratiomyxa fruticulosa*, *Cribraria purpurea*, *Fuligo leviderma*, *Fuligo septica*, *Hemitrichia clavata*, *Hemitrichia serpulula*, *Lycogala epidendrum*, *Physarum album*, *Physarum leucophaeum*, *Stemonitis axifera*, *Trichia decipiens*, *Trichia favoginea*, *Trichia persimilis*, *Trichia varia*, *Tubifera ferruginosa*.

Определение общей численности бактерий проводилось при помощи метода прямой микроскопии с использованием люминесцентного микроскопа «Ахископ 2+» (объектив x100, масляная иммерсия). Для окрашивания приготовленной суспензии использовался краситель акридин оранжевый. Приготовление препаратов, их последующая окраска акридином оранжевым проводилась по стандартной методике, используемой для определения общей численности бактерий в почве [5].

Для определения численности и таксономического состава сапротрофного бактериального комплекса проводили посев суспензии образцов на глюкозо-пептонно-дрожжевую среду из разведений 1:1000, 1:10000 в 3-х кратной повторности. Учет бактерий, выросших на агаризованной среде, проводили на 7–10 сутки, определяя общее число колоний и численность отдельных таксономических групп. Идентификация проводилась на основании изучения культуральных, микроморфологических и некоторых физиолого-биохимических признаков (тест Хью-Лейфсона, наличие каталазы и оксидазы) при помощи ключа для определения родов почвенных бактерий [4] и по общепринятым определителям [9].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общая численность бактерий определялась при помощи прямого микроскопического метода с использованием красителя акридина оранжевого. Результаты прямого учета представлены на рис. 1.

Общая численность бактерий, ассоциированных с плодовыми телами миксомицетов, составляла от 1.7 до 46 млрд клеток в 1 г плодового тела. Максимальная численность была зарегистрирована у *Hemitrichia clavata* (БС МГУ), минимальная – у *Lycogala epidendrum* (ЦЛГЗ). Показатели общей численности бактерий варьировали у представителей отдельных видов. Следует отметить, что показатели общей численности у образцов *Lycogala epidendrum*, отобранных на территории БС МГУ на Ленинских горах в десятки раз выше, чем у представителей тех же видов, отобранных в Тверской области. Возможно, это связано с тем, что БС МГУ находится на территории города, где воздух в большей степени загрязнен пылью, органическими веществами и микроорганизмами.

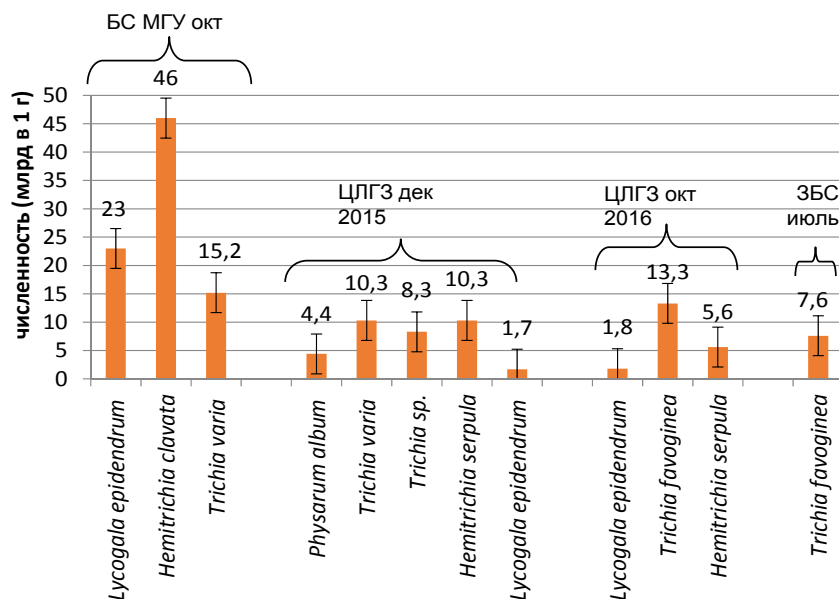


Рисунок 1. Общая численность бактерий (млрд в 1 г) в исследованных образцах плодовых тел миксомицетов.

Была также определена численность бактерий на поверхности спорокарпа *Lycogala epidendrum* и бактерий, ассоциированных со спорами внутри спорокарпа. Численность бактерий внутри спорокарпа (плодового тела) ниже почти в 4 раза (6 млрд клеток в 1 г.), чем на его поверхности (23 млрд клеток в 1 г.), что может быть связано с попаданием на поверхность спорокарпа бактерий с подстилки и листьев деревьев, а также с воздействием метаболитов миксомицеты внутри спорокарпа на бактерии.

Сравнение численности бактерий на поверхности спорокарпа *Fuligo septica* и субстрате, на котором рос миксомицет (разлагающаяся древесная кора), показало, что численность бактерий на поверхности плодового тела выше, чем в субстрате почти в 4 раза – 17,6 и 4,6 млрд клеток в 1 г. Это может быть обусловлено повышенной адсорбцией бактерий на поверхности спорокарпа, связанной с выделением слизи миксомицетом.

Также была определена длина актиномицетного мицелия в плодовых телах миксомицетов (*Trichia*, *Lycogala*, *Hemitrichia*), варьирующая от 330 до 1200 м в 1 г, что несколько выше, чем обычно регистрируется в верхнем горизонте (подстилка) соответствующих почв. Максимальная длина актиномицетного мицелия зарегистрирована у миксомицеты *Hemitrichia serpula*, а минимальная у *Lycogala epidendrum*.

Длина грибного мицелия варьировала от 120 до 650 м в 1 г плодового тела, что ниже, чем обычно регистрируется в верхнем горизонте (подстилка) соответствующих почв. Максимальная длина грибного мицелия зарегистрирована у миксомицеты *Trichia favoginea*, отобранного на территории ЗБС, а минимальная у *Lycogala epidendrum*.

Следует отметить, что полученные показатели численности бактерий на плодовых телах миксомицетов близки и даже превышают показатели численности бактерий в подстилке лесных биоценозов и ниже, чем подобные показатели, зафиксированные для поверхности древесной растительности [3, 11].

Определение численности и структуры комплекса культивируемых сапротрофных бактерий проводилось на глюкозо-пептонно-дрожжевой среде (ГПД). Полученные данные представлены на рис. 2. Численность сапротрофных бактерий колебалась от 16 до 583 млн КОЕ в 1 г плодового тела. Максимальная численность была зарегистрирована у образцов, отобранных летом. Возможно, это связано с погодными условиями и видовыми особенностями миксомицетов.

Определение структуры комплекса на родовом уровне было проведено в соответствии с критериями, разработанными на кафедре биологии почв: доминанты (>30 %), субдоминанты (20–30 %), группу среднего обилия (10–20 %) и минорные компоненты (<10 %) [4].

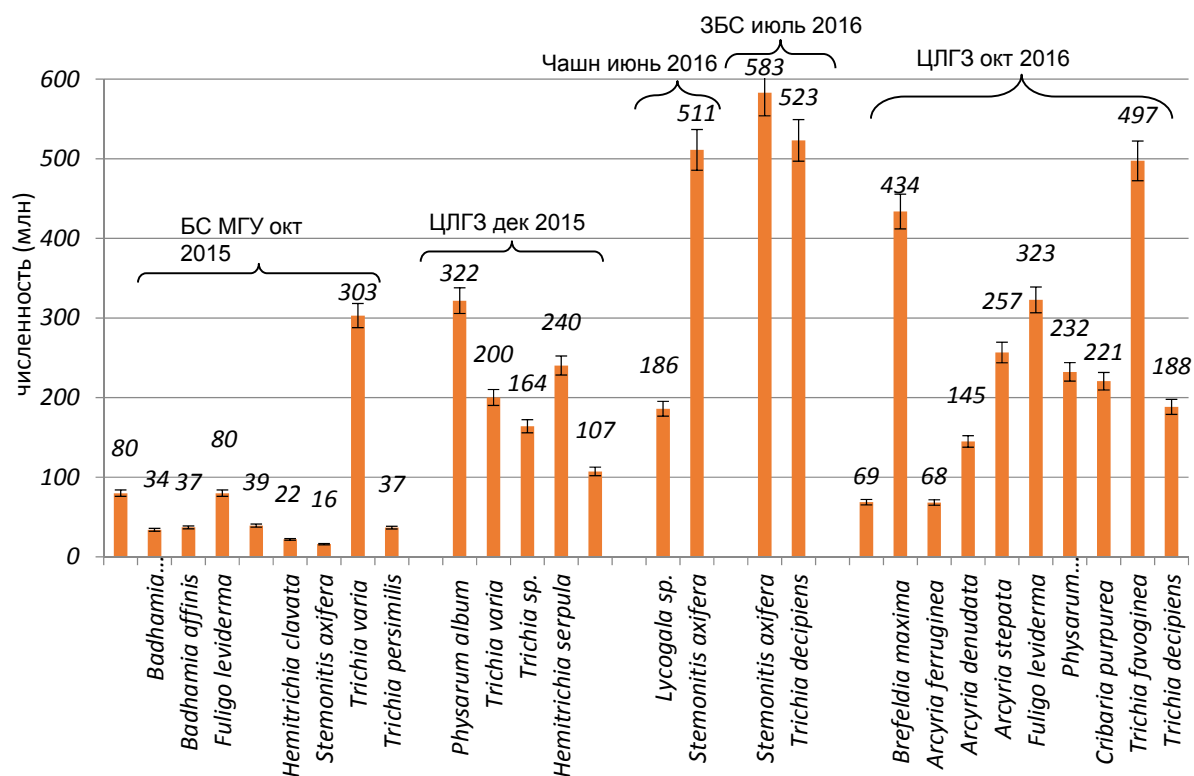


Рисунок 2. Численность (млн КОЕ/г) сапротрофного бактериального комплекса (ГПД среда).

В сапротрофном бактериальном комплексе подавляющего большинства исследованных видов миксомицетов доминируют грамотрицательные бактерии родов *Mycobacterium*, *Cytophaga*, реже обнаруживались представители родов *Polyangium*, *Beijerinckia*, *Pseudomonas*, а также не идентифицированные до рода грамотрицательные бактерии. Только у представителей видов *Badhamia capsulifera*, *Badhamia macrocarpa*, *Physarum album* и *Fuligo septica* доминировали грамположительные бактерии родов *Bacillus*, *Cellulomonas* и *Streptomyces* соответственно.

У представителей миксомицетов *Badhamia capsulifera*, *Badhamia macrocarpa*, *Badhamia affinis*, *Hemitrichia serrula*, *Lycogala epidendrum* доминировали представители рода *Cytophaga*. Следует отметить, что у *Badhamia capsulifera* в равном соотношении представлены рода *Cytophaga* (40 %) и *Bacillus* (40 %). Возможно, это является специфической особенностью вида и требует дополнительного изучения.

У миксомицетов *Hemitrichia clavata*, *Hemitrichia serrula*, *Lycogala epidendrum*, *Stemonitis axifera*, *Trichia varia*, *Trichia decipiens* в качестве доминантов выступает род *Mycobacterium*. Следует отметить, что у миксомицета *Hemitrichia serrula* доминируют бактерии родов *Mycobacterium* (45 %) и *Cytophaga* (35 %). Представители рода *Mycobacterium*, как правило, выделялись в виде бинарной культуры со спиралями.

Таким образом, в сапротрофном бактериальном комплексе подавляющего большинства исследованных видов миксомицетов доминируют грамотрицательные бактерии родов *Mycobacterium*, *Cytophaga*, реже обнаруживались представители родов *Polyangium*, *Beijerinckia*, *Pseudomonas* и другие грамотрицательные бактерии. Значительно реже доминировали грамположительные бактерии родов *Bacillus*, *Cellulomonas* и *Streptomyces*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе работы были изучено бактериальное население 22 видов миксомицетов, принадлежащих к 12 родам. Показатели общей численности и численности сапротрофного блока бактерий, ассоциированных с миксомицетами, довольно велики и сравнимы с численностью бактерий в подстилке леса и выше, чем те же показатели, обычно регистрируемые в верхнем горизонте почвы. Это позволяет сделать вывод, что попадающие в почву плодовые

тела миксомицетов создают локусы повышенной концентрации грамотрицательных бактерий родов *Cytophaga*, *Muxococcus*, *Beijerinckia*.

Полученные результаты могут представлять определенный теоретический интерес в плане изучения биоценологических связей, возникающих между бактериями и миксомицетами в лесном биоценозе в природных условиях, а также представляют практический интерес для направленного поиска бактерий для целей биотехнологии.

ВЫВОДЫ

1. Определение показателей общей численности бактерий (прямой люминесцентный метод), ассоциированных с представителями 12 родов (22 вида) миксомицетов в лесных биоценозах показало, что численность бактерий варьировала от 1.7 до 46 млрд клеток в 1 г плодового тела. Численность бактерий на поверхности плодового тела *Fuligo septica* выше, чем в субстрате, на поверхности плодового тела *Lycogala epidendrum* выше, чем внутри спорокарпа.

2. Длина актиномицетного мицелия в плодовых телах миксомицетов (*Trichia*, *Lycogala*, *Hemitrichia*) варьировала от 330 до 1200 м в 1 г, что несколько выше, чем обычно регистрируется в верхнем горизонте (подстилка) соответствующих почв. Длина грибного мицелия варьировала от 120 до 650 м в 1 г плодового тела, что ниже, чем обычно регистрируется в верхнем горизонте (подстилка) соответствующих почв.

3. Численность сапротрофных бактерий (ГПД среда), ассоциированных с миксомицетами, колебалась от 16 до 583 млн КОЕ в 1 г плодового тела. Численность бактерий в образцах, отобранных в летний период, значительно выше, чем в других.

4. В сапротрофном бактериальном комплексе большинства исследованных видов миксомицетов доминировали грамотрицательные бактерии родов *Muxococcus*, *Cytophaga*, реже обнаруживались представители родов *Polyangium*, *Beijerinckia*, *Pseudomonas*. У представителей 4 видов миксомицетов доминировали грамположительные бактерии родов *Bacillus*, *Cellulomonas* и *Streptomyces*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глуценко В.И., Леонтьев Д.В., Акулов А.Ю. Слизевики. Харьков: ХНУ. 2002. 135 с.
2. Гмошинский В.И. Миксомицеты Москвы и Московской области. Диссертация на соискание учёной степени кандидата биологических наук. Москва: 2013. 268 с.
3. Звягинцев Д.Г., Добровольская Т.Г., Бабьева И.П. Роль микроорганизмов в биогеоценологических функциях почв // Структурно-функциональная роль почвы в биосфере. М.: Геос. 1999. С. 113–121.
4. Лысак Л.В., Добровольская Т.Г., Скворцова И.Н. Методы оценки бактериального разнообразия и идентификации почвенных бактерий. М.: МАКС Пресс. 2003. 120 с.
5. Методы почвенной микробиологии и биохимии (под ред. Звягинцева Д.Г.). Изд-во МГУ. 1991. 160 с.
6. Новожилов Ю.К. Обзор миксомицетов СССР // Новости систематики низших растений. 1985. Т. 22. С. 137–143.
7. Новожилов Ю.К., Шнитлер М., Землянская И.В. Синэкология миксомицетов в пустыне северо-западного Прикаспия // Микология и фитопатология. 2005а. Т. 39. N 4. С. 40–52.
8. Новожилов Ю.К., Землянская И.В., Шнитлер М. Миксомицеты (*Muxomycetes*) пустынь северо-западного Прикаспия // Новости систематики низших растений. 2005б. Т.38. С. 164–171.
9. Определитель бактерий Берджи. В 2-х томах. Пер. с англ./ Под редакцией Дж. Хоулта, Н. Крига, П. Снита, Дж. Стейли, С. Уильямса. – М.: Мир. 1997. 700 с.
10. Переведенцева Л.Г. Микология: грибы и грибоподобные организмы. СПб.: Лань. 2012. 273 с.
11. Полянская Л.М., Добровольская Т.Г., Павлова О.С., Лысак Л.В., Звягинцев Д.Г. Микробные комплексы в разных типах биоценозов Окского заповедника // Микробиология. 1995. т. 64. № 4. с. 540–547.
12. Ячевский А.А. Микологическая флора Европейской и Азиатской России. Слизевики. – М.: Типо-литография В. Рихтера, 1907. 410 с. (Цит. по Гмошинский, 2013).

13. *Esteban G.F., Clarke K.J., Olmo J.L., Finlay B.J.* Soil protozoan intensive study of population dynamics and community structure in an upland grassland // *Applied Soil Ecology* 2006. Vol. 33. P. 137–151.
14. *Madelin M.F.* Myxomycete data of ecological significance // *Trans. Br. Mycol. Soc.* 1984. Vol. 83. N. 1. P. 1–19.
15. *Stephenson S.L., Fiore-Donne A.M., Schnittler M.* Myxomycetes in soil // *Soil biology et biochemistry*. 2011. Vol. 43. P. 2237–2242.

УДК 502/504

ВЛИЯНИЕ СОРБЕНТОВ НА СКОРОСТЬ БИОРЕМЕДИАЦИИ И СВОЙСТВА ПОЧВЫ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ НЕФТЕПРОДУКТАМИ

Л.В. Зиннатшина^{1,2}, В.С. Кондрашина¹, Г.К. Васильева¹

¹Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,

²Пущинский государственный естественнонаучный институт

Изучалось влияние ряда натуральных сорбентов (минеральные: цеолит, каолинит, вермикулит и диатомит; углеродистые: гранулированный активированный уголь и биочар; органические: торф и опилки) на скорость биоремедиации серой лесной почвы, загрязненной смесью состаренного отработанного моторного масла и дизельного топлива. Установлено, что внесение всех сорбентов в оптимальных дозах в начале обработки заметно ускоряло биоремедиацию почвы. Оптимальные дозы варьировали в пределах 0.2–2.0 % для минеральных и 2–5 % – для углеродистых и органических сорбентов.

ВВЕДЕНИЕ

Нефть и нефтепродукты являются одними из приоритетных загрязнителей окружающей среды. Одна из основных причин загрязнения урбаноземов – это утечка и разлив нефти и нефтепродуктов на территории нефтеперегонных заводов, автозаправочных станций и автотранспортных организаций. Присутствие в почве углеводородов нефти (УВН) приводит к сильным изменениям ее химического состава, структуры и свойств: повышается гидрофобность почв, снижается водопроницаемость, влагоёмкость, изменяются плотность и пористость почв. Это ведет к пересыханию верхних слоев почвы и избыточному накоплению влаги в нижних ее слоях, снижению растворимости микроэлементов и, следовательно, их доступности растениям, ингибируются процессы нитрификации и аммонификации. Все это неблагоприятно сказывается на развитии микроорганизмов и растений, а, следовательно, самоочищения почв [5].

Несмотря на экологичность и экономичность метода биоремедиации его применение весьма ограничено. Это связано с высокой гидрофобностью и повышенной токсичностью загрязненных почв, что затрудняет активацию микроорганизмов-деструкторов и рост растений. Ранее нами был разработан метод сорбционной биоремедиации почв, загрязненных высокими концентрациями органических химикатов разных классов [21]. С 2008 г. в лаборатории ведутся исследования по разработке метода сорбционной биоремедиации нефтезагрязненных почв. В экспериментах с 3 типами почв была доказана целесообразность проведения очистки нефтезагрязненных почв методом сорбционной биоремедиации с использованием гранулированного активированного угля (ГАУ), иногда вместе с биопрепаратами [1].

Имеется ряд публикаций, указывающих на способность различных сорбентов ускорять биоремедиацию нефтезагрязненных почв. Среди них углеродистые сорбенты (ГАУ, биочар, сажа и др.) способны поглощать углеводороды нефти, снижая токсичность почвы, при этом, не оказывая негативного воздействия на сообщество почвенных микроорганизмов [11, 10, 18, 17, 14]. В последнее время большую популярность приобрел биочар благодаря его низкой себестоимости и высокой сорбционной способности [15]. В качестве разрыхляющих агентов при биоремедиации нефтезагрязненных почв методом ландфарминга часто используют дре-

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 16-05-00617, № 16-35-50089.

© Л.В. Зиннатшина, В.С. Кондрашина, Г.К. Васильева, 2018

весные опилки, щепа, солома, шелуха и другие отходы деревообрабатывающей и пищевой промышленности [19, 16], а также разные виды торфов (натуральных и модифицированных) благодаря их высокой поглотительной способности по отношению к углеводородам нефти [6, 7]. Из минералов для целей биоремедиации используют природные цеолиты [3, 6, 12], а также глинистые и слоистые минералы: монтмориллонит, каолинит, вермикулит [5]. Однако пока нет четкого представления о механизме действия этих сорбентов.

В задачу данного исследования входило изучить влияние ряда натуральных сорбентов на свойства и скорость биоремедиации серой лесной почвы, загрязненной смесью состаренного отработанного моторного масла и выветренного дизельного топлива с целью расширения возможностей метода сорбционной биоремедиации нефтезагрязненных почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на серой лесной почве, отобранной из верхнего слоя (до 20 см) на незагрязненном участке широколиственного леса вблизи в г. Пушкино Московской области. Почва легкоглинистая, pH 6.5, содержание $C_{орг}$ 1.7 %. В качестве загрязнителей использовали отработанное моторное масло (ОММ) и дизельное топливо (ДТ). Ранее почва была поверхностно загрязнена ОММ из расчета 50 г/кг в пересчете на верхний 10 см слой почвы и не обрабатывалась в течение двух лет. Затем на поверхность загрязненной почвы дополнительно внесли дизельное топливо в количестве 15 г/кг в том же слое. Через 5 сут. почву перемешивали и отбирали образцы для проведения эксперимента. Общая концентрация углеводородов нефти в почве составила около 52 г/кг. В эксперименте использовали натуральные сорбенты, условно разделенные на три типа.

1. Минеральные: цеолит (природный цеолит Нор-Кохбского месторождения, Зеолит Про, ЗАО, Волгоград), каолинит (марка КР-1 ГОСТ 19608-84. Новэра, ООО, Челябинск), вспученный вермикулит (ГОСТ 12865-67, Полимер, ООО, Иркутск) и диатомит (диатомовый порошок, ООО «ИЗФМ»).

2. Углеродистые: гранулированный активированный уголь (марки ГАУ ВСК, г. Дзержинск) и биочар, полученный из древесины березы (пр-во Хельсинского Ун-та, Финляндия).

3. Органические: коммерческий верховой торф и древесные опилки лиственницы сибирской (средний размер 0.5 см).

Исследования проводили в условиях микрокосмов. Загрязненную почву помещали по 1 кг (на сухой вес) в вегетационные сосуды объемом 2 л. Сорбенты вносили в почву в следующих дозах: 0.2; 0.5; 1.0; 2.0 или 5.0 %. Через сутки в каждый вариант вносили нитроаммофоску ($N_{16}P_{16}K_{16}$), из расчета 10 мг по д.в./100 г. Половинные дозы удобрений вносили повторно в конце первого месяца и 2 раза в начале второго сезона (на заключительном этапе вместо нитроаммофоски вносили мочевины). Таким образом, расчетное окончательное соотношение $C:N:P:K=190:1:0.4:0.8$. Контролем служили варианты с загрязненной и чистой почвой без сорбентов, которые обрабатывали аналогичным образом. Доза минеральных удобрений в чистом контроле была уменьшена в 5 раз. Повторность в опыте трехкратная. Почву в сосудах инкубировали в условиях, приближенных к естественным (под дугами с укрывным материалом), на территории экспериментальной площадки Института. Образцы периодически увлажняли дистиллированной водой для поддержания оптимальной влажности, а в теплое время перемешивали 1 раз в месяц.

На протяжении эксперимента велись наблюдения за изменением токсичности почвы, содержанием углеводородов нефти (УВН) и изменением ее водно-физических свойств. Концентрацию УВН определяли методом ИК-спектроскопии (ПНД Ф 16.1:2.2.22-98). Фитотоксичность почвы оценивали с помощью разработанного нами экспресс-метода по всхожести семян клевера ползучего (белого) (*Trifolium repens*), а в конце инкубирования – сертифицированным методом по задержке роста корня 7-мидневных проростков пшеницы (*Triticum vulgare*) (ИСО 11269-1). Величины ППВ, пористость и объемную массу почвы определяли методом трубок с насыпными образцами (Кауричев, 1986). Статистическую обработку результатов проводили с помощью программы Статистика.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На рис. 1 показано влияние разных видов и доз сорбентов на остаточную концентрацию УВН в почве через 4, 6, 13 и 16 месяцев после начала очистки. В большинстве вариантов с сорбентами во все сроки наблюдений остаточное содержание УВН в почвах ниже, чем в контроле. В некоторые сроки в присутствии повышенных доз сорбентов (2–5 %) эти показатели повышаются по сравнению с умеренными дозами, однако практически во всех случаях концентрация УВН в вариантах с сорбентами остается ниже контроля, либо разница между этими вариантами является недостоверной. Это указывает на отсутствие эффекта резкого замедления разложения УВН за счет снижения доступности сорбированных углеводов, хотя нельзя исключить замедление процесса микробного разложения некоторых фракций нефтепродуктов в результате их сорбции во внутрисорбционном пространстве сорбентов.

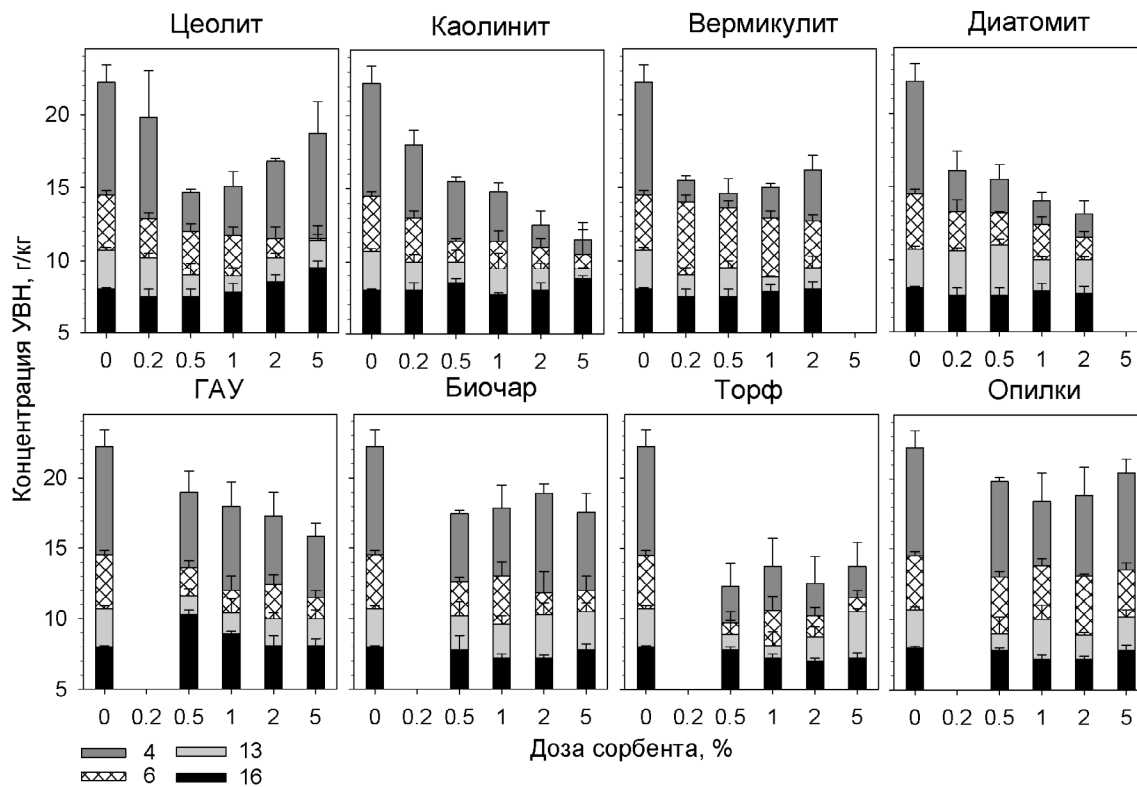


Рисунок 1. Влияние сорбентов на остаточную суммарную концентрацию углеводородов нефти (УВН) через 4, 6, 11 и 16 месяцев после начала очистки.

Динамика разложения УВН в почве в условиях, приближенных к естественным, носит ступенчатый характер. Основная часть УВН (75–85 %) разлагается в течение первых 7 месяцев. Во 2-й вегетационный сезон разложение УВН возобновляется, однако дополнительно концентрация УВН снижается только на 2–10 %. Внесение сорбентов наиболее сильно ускорило разложение УВН в первые 4 месяца. Максимальное действие оказали каолинит, диатомит, торф и ГАУ. В их присутствии концентрация УВН через 4 мес. снизилась до 11, 12, 16 и 17 г/кг соответственно по сравнению 22 г/кг в контроле без добавок. Существенная разница между концентрацией УВН в вариантах с сорбентами и контролем наблюдалась и через 6 и 11 месяцев. В то же время, к концу эксперимента (через 16 мес.) концентрация УВН во всех почвах снизилась до 8–9 г/кг, а разница между остаточным содержанием УВН в разных вариантах нивелировалась.

На рис. 2 показано влияние разных доз сорбентов на снижение фитотоксичности почвы, оцененной с помощью экспресс-метода, через 4, 5 и 11 месяцев после начала. Уже к четвертому месяцу можно увидеть значительное снижение токсичности почв с добавками 2 и 5 % ГАУ или торфа. Наиболее значимая разница наблюдалась через 11 мес. К этому времени фитотоксичность всех почв с добавкой сорбентов снизилась практически до нетоксичного уровня ($\leq 20\%$), тогда как контрольная почва проявляла еще слабую токсичность ($30 \pm 5\%$).

Полученные результаты согласуются с данными определения фитотоксичности почвы с помощью сертифицированного метода по задержке роста корня пшеницы, посеянной в конце 2-го сезона (рис. 3). В то время как загрязненная контрольная почва проявляла заметную фитотоксичность (35 ± 5 % по отношению к чистому контролю), этот же показатель для остальных вариантов с сорбентами (за исключением цеолита) снизился до практически нетоксичного уровня (от 0 до ≤ 20 %). Внесение тех же сорбентов в чистую контрольную почву во многих образцах стимулировало рост корней пшеницы на 30 % и более.

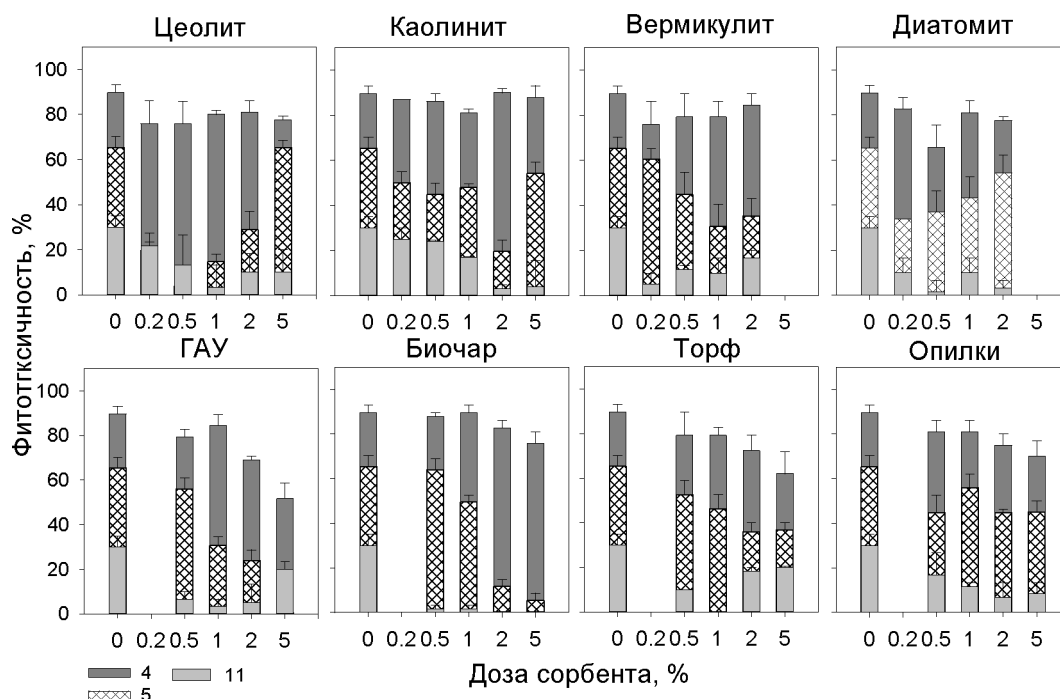


Рисунок 2. Влияние сорбентов на изменение фитотоксичности загрязненной почвы через 4, 5 и 11 месяцев после начала очистки.

Снижение длины корней пшеницы при максимальной дозе цеолита можно объяснить либо повышенными концентрациями остаточных углеводородов нефти, либо изменением кислотности почвы в область неблагоприятных рН (<6.0 – 6.5 или >7.5) для роста растений.

На основании полученных данных был сделан вывод о том, что оптимальные дозы сорбентов, способные ускорять биоремедиацию почвы, загрязненной нефтепродуктами, в данных условиях для минеральных сорбентов находятся в интервале 0.2–2.0 %, а для углеродистых и органических – в интервале 2–5 %.

Для выяснения механизма действия сорбентов изучали также их влияние на водно-физические свойства почвы. На рис. 4 представлены данные о влиянии всех исследованных сорбентов (в дозе 1 %) на эти свойства загрязненной и чистой почвы в конце инкубирования. Из рисунка следует, что большинство сорбентов положительно влияют на ППВ и пористость как чистых, так и загрязненных почв. При этом ППВ этих почв возрастает на 2–17 %, а пористость – на 4–9 % в зависимости от сорбента. Положительное влияние сорбентов на влагоемкость чистых и загрязненных почв можно объяснить повышением пористого пространства за счет объема микропор внесенных сорбентов. Причина снижения влагоемкости загрязненной почвы в присутствии 1 % диатомита еще требует выяснения.

Повышение объема пор в присутствии сорбентов может объяснить снижение фитотоксичности загрязненных почв за счет преимущественно обратимой сорбции токсичных компонентов углеводородов и особенно их метаболитов. Кроме того, повышение влагоемкости, а также общего пористого пространства, включая влагопроводящие и влагосохраняющие поры, может объяснить улучшение условий роста корней пшеницы, как в чистой, так и в загрязненной почве.

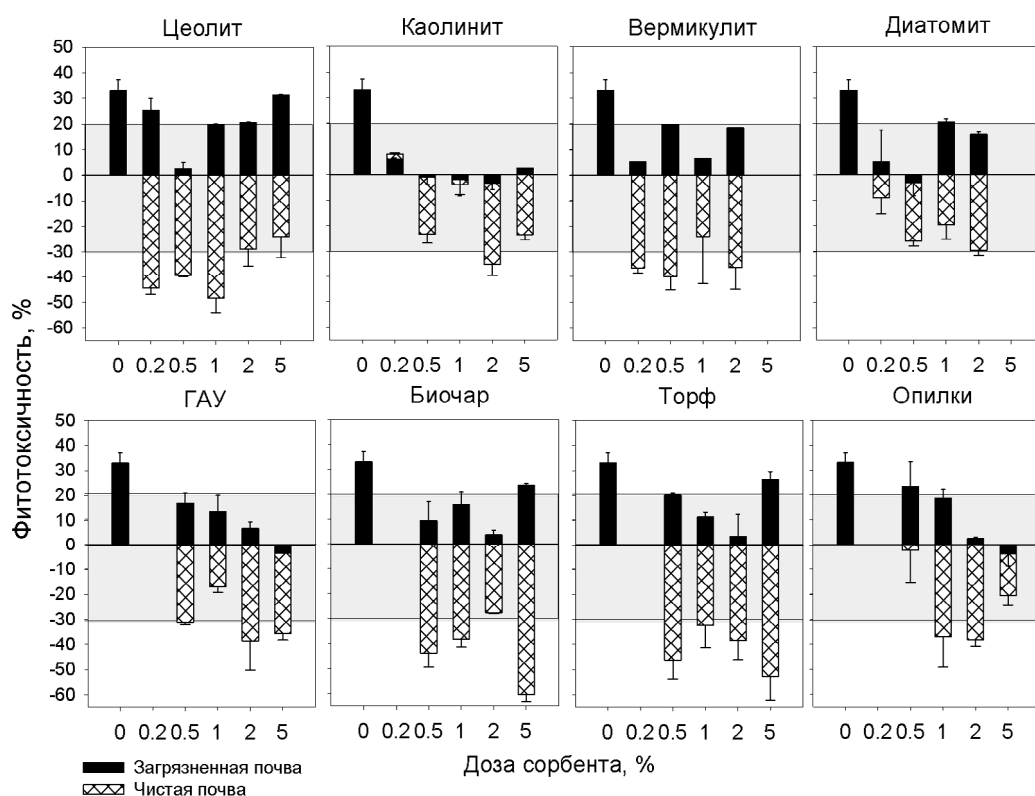


Рисунок 3. Влияние разных доз сорбентов на фитотоксичность нефтезагрязненной и контрольной чистой почвы через 16 месяцев после начала очистки. Серым цветом выделена область величин от верхней границы практически полного отсутствия фитотоксичности до принятого уровня стимулирования роста корня, т.е. от 20 до 30 %.

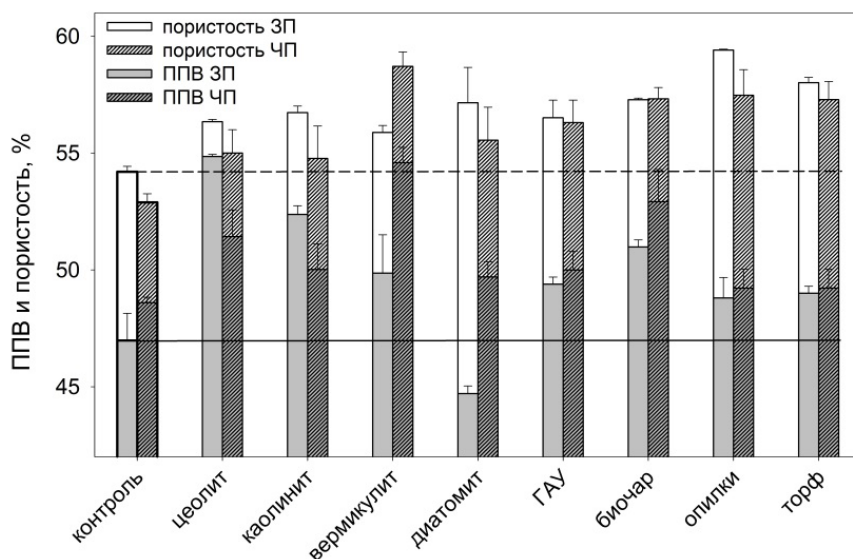


Рисунок 4. Влияние сорбентов, внесенных в дозе 1 % на ППВ и пористость загрязненной и чистой почв (ЗП и ЧП соответственно) через 16 мес. после начала очистки.

Результаты данного эксперимента показали, что, при проведении биоремедиации почв, загрязненных смесью отработанного моторного масла и дизельного топлива с исходной концентрацией УВН 52 г/кг, за два сезона разложилось 85–87 % УВН. Можно считать, что оставшиеся углеводороды в концентрации 7–8 г/кг в силу своей инертности и низкой скорости высвобождения в присутствии сорбентов, уже не представляют серьезной опасности для окружающей среды, о чем свидетельствует отсутствие фитотоксичности. Тогда как контрольная загрязненная почва проявляет еще некоторую фитотоксичность.

Доочистка почвы, слабо загрязненной нефтью и нефтепродуктами, обычно проводится с помощью фиторемедиации [3]. Внесение оптимальных доз сорбентов создает более благо-

приятные условия для роста растений за счет снижения токсичности, а также более благоприятных водно-физических условий, а, следовательно, должно способствовать дальнейшей очистке почвы вплоть до достижения допустимых концентраций (1–5 г/кг), однако для этого может потребоваться еще 1 или более сезонов.

В литературе имеются немногочисленные работы, в которых показано положительное влияние некоторых сорбентов на скорость биоремедиации нефтезагрязненных почв.

Разными авторами высказывались предположения о механизме действия сорбентов. Например, при внесении микроорганизмов, иммобилизованных на поверхности биочара, разница в разложении УВН после 7-дневной инкубации достигала 79 % [20]. Эффективность удаления УВН из почвы в присутствии биочара достигала 78–85 % за 5 мес., по сравнению с 61 % в контроле [17]. В качестве носителей для микроорганизмов-нефтедеструкторов использовали также ГАУ [14] и цеолит [6, 3]. Наблюдения с помощью электронной микроскопии показали, что тяжелая нефть и микробные клетки имеют тенденцию прикрепляться к поверхности глинистых частиц таких минералов как каолинит и вермикулит, образуя биопленку [9]. Добавки диатомита к альгинату натрия заметно повышали скорость размножения иммобилизованных на нем нефтедеструкторов и ускоряли разложение УВН [22]. На опилках, внесенных в нефтезагрязненную почву, интенсивно размножались УВН-разлагающие бактерии родов *Actinobacterium*, *Micrococcus* и *Rhodococcus*, а также микромицеты родов *Candida*, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Rhizopus*, *Cladosporium* и др. [8]. При использовании торфа, золы и древесных опилок в качестве сорбентов для очистки от нефти водных поверхностей численность микроорганизмов увеличивалась быстрее, соответственно возрастала и степень окисления субстрата [2].

Выводы о механизме действия сорбентов основываются преимущественно на результатах экспериментов с иммобилизованными микроорганизмами. Предполагается, что сорбенты, имея высокопористую структуру и большую площадь удельной поверхности, могут обеспечивать одновременно как сорбцию УВН, так и адгезию клеток микроорганизмов-нефтедеструкторов. Таким образом, в загрязненной почве формируются центры активной деструкции поллютантов, что в конечном итоге обеспечивает ускоренное разложение углеводородов [22, 9].

Наши исследования также указывают на то, что основной механизм положительного действия сорбентов, внесенных в сильнозагрязненные углеводородами почвы, связан с уменьшением токсичности почвы по отношению к растениям и, по-видимому, к микроорганизмам-деструкторам, за счет обратимой сорбции углеводородов и их токсичных и подвижных метаболитов в поровом пространстве и на поверхности частиц сорбентов. Кроме того внесенные сорбенты в оптимальных дозах снижают гидрофобность нефтезагрязненных почв, а также повышают ее влагоемкость и пористость, что создает более благоприятные условия для микроорганизмов-деструкторов и растений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В условиях вегетационного эксперимента с серой лесной почвой, загрязненной смесью состаренного отработанного моторного масла и дизельного топлива, показана способность ряда натуральных сорбентов разных классов ускорять процесс биоремедиации. Механизм действия сорбентов можно объяснить снижением токсичности загрязненных почв за счет преимущественно обратимой сорбции токсичных компонентов углеводородов и продуктов их разложения. Об этом свидетельствует снижение фитотоксичности почв, измеренной по всхожести семян клевера ползучего и длине проростков пшеницы. Другой механизм положительного действия сорбентов на скорость биоремедиации объясняется понижением гидрофобности почв и связанным с ним повышением их влагоемкости и пористости. Это создает более благоприятные условия для деятельности микроорганизмов-деструкторов и растений в почве и способствует ее очищению. Оптимальные дозы для минеральных сорбентов (цеолит, каолинит, вермикулит и диатомит) находятся в пределах 0.2–2.0 %, а для углеродистых (гранулированный активированный уголь и биочар) и органических (торф и древесные опилки) – 2–5 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильева, Г.К. Стрижакова Е.А., Бочарникова Е.А. и др. Технология комбинированной физико-биологической очистки почв от нефти и нефтепродуктов // Российский химический журнал, № 1. 2013. С. 97–104.
2. Жукова О.В., Морозов Н.В. Взаимодействие микроорганизмов с твердыми поверхностями – при снятии локального нефтяного загрязнения // Вестник ТГГПУ, № 3. 2010. С. 21.
3. Кузнецов А.Е., Градова Н.Б., Лушников С.В., Энгельхарт М., Вайсер Т., Чеботаева М.В. Прикладная экобиотехнология: учебное пособие: в 2 т., т. 1. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 629 с.
4. Rogozina, E.A., Shimanский В.К. Некоторые теоретические аспекты восстановления нефтезагрязненных почвенных экосистем // Нефтегазовая геология. Теория и практика. Т. 2. 2007.
5. Садовникова Л.К., Орлов Д.С., Лозановская И.Н. Экология и охрана окружающей среды при химическом загрязнении / М.: Высшая школа, 2008. – 334 с.
6. Середина В.П., Андреева Т.А., Алексеева Т.П., Бурмистрова Т.И., Терещенко Н.Н. Нефтезагрязненные почвы: свойства и рекультивация. Томск: изд-во ТПУ, 2006. 270 с.
7. Чухарева Н.В., Шишмина Л.В., Маслов С.Г. Определение нефтеемкости торфов Томской области // Химия растительного сырья, № 2. 2013. С. 227–235.
8. Ali N., Elias M., Al-Sarawi H. et al. Hydrocarbon-utilizing microorganisms naturally associated with sawdust // Chemosphere, v. 83(9). 2011. P. 1268–1272.
9. Chaerun S.K., Tazaki K., Asada R. Interaction between clay minerals and hydrocarbon-utilizing indigenous microorganisms in high concentrations of heavy oil: implications for bioremediation // Clay Minerals, v. 40(1). 2005. P. 105–114.
10. Chen B., Chen Z. Sorption of naphthalene and 1-naphthol by biochars of orange peels with different pyrolytic temperatures // Chemosphere, v. 76(1). 2009. P. 127–133.
11. Hale S.E., Hanley K., Lehmann J. Effects of chemical, biological, and physical aging as well as soil addition on the sorption of pyrene to activated carbon and biochar // Environ Sci Technol, v. 45(24). 2011. P. 10445–10453.
12. Kaimi E., Mukaidani T., Tamaki M. Screening of twelve plant species for phytoremediation of petroleum hydrocarbon-contaminated soil // Plant Prod Sci, v. 10(2). 2007. P. 211–218.
13. Kirk J.L., Moutoglou P., Klironomos J., Lee H., Jack T. Design, installation and preliminary testing of a permeable reactive barrier for diesel fuel remediation at Casey Station, Antarctica // Cold Regions Science & Technology, v. 96. 2005. P. 96–107.
14. Liang Y.T., Zhang X., Dai D.J. Porous biocarrier-enhanced biodegradation of crude oil contaminated soil // Inter Biodeter Biodeg, v. 63(1). 2008. P. 80–87.
15. Mahtab A., M., Rajapaksha A.U., Lim J.E., Zhang M., Bolan N., Mohan D., Vithanage M., Lee S.S., Ok Y.S. Biochar as a sorbent for contaminant management in soil and water: A review // Chemosphere, v. 99. 2014. P. 19–33.
16. Namkoong W., Hwang E.Y., Park J.S., Choi J.Y. Bioremediation of diesel-contaminated soil with composting // Environ. Pollut, v. 119. 2002. P. 23–31.
17. Qin G., Gong D., Fan MY. Bioremediation of petroleum-contaminated soil by biostimulation amended with biochar // Inter Biodeter Biodeg, v. 2013. P. 150–155.
18. Rhodes A.H., McAllister L.E., Chen R.R. Impact of activated charcoal on the mineralisation of C-14-phenanthrene in soils // Chemosphere, v. 79(4). 2010. P. 463–469.
19. Rhykerd R., Crews B., McInnes K. Impact of bulking agents, forced aeration, and tillage on remediation of oil-contaminated soil // Bioresource Technology, v. 67(3). 1999. P. 279–285.
20. Zhang X.K., Wang H.L., He L.Z., Lu K.P., Sarmah A., Li J.W., Bolan N., Pei J.C., Huang H.G. Using biochar for remediation of soils contaminated with heavy metals and organic pollutants // Environmental Science and Pollution Research, v. 20(12). 2013. P. 8472–8483.
21. Vasilyeva G.K., Strijakova E.R., Shea P.J. Use of activated carbon for soil bioremediation // Viable methods of soil and water pollution monitoring, protection and remediation / Serial NATO Collection, Netherlands, Springer 624 p., 2006. P. 309–322.
22. Wang Z.Y., Xu Y., Wang H.Y. Biodegradation of crude oil in contaminated soils by free and immobilized microorganisms // Pedosphere, v. 22(5). 2012. P. 717–725.

ГИС ТЕХНОЛОГИИ В ТОЧНОМ ЗЕМЛЕДЕЛИИ

Н.Е. Игнашев

Казанский (Приволжский) федеральный университет

В данном исследовании было изучено распределение различных форм азота (щелочногидролизующий, аммиачный, нитратный) на серых лесных почвах в условиях Предкамья Республики Татарстан с использованием геоинформационных карт. Показано, что распределение носит неравномерный характер в пределах участка исследуемого поля. На основании построенных карт распределения различных форм азота в программе «QGIS» были даны рекомендации производству по применению минеральных форм удобрений.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что основным источником азотного питания для растений являются нитраты и ион аммония. Бобовые культуры могут усваивать атмосферный азот в симбиозе с клубеньковыми бактериями, однако остальные не имеют такой способности и усваивают минеральные соединения азота, в указанных выше формах, которые поступают в корни растения и подвергаются ферментативному восстановлению до нитритов и далее до аммиака [1, 2]. В пахотных почвах содержание различных форм азота неоднородно даже в пределах одного поля, и его содержание может пространственно изменяться в зависимости от поступления в почву. В последние годы происходит активное снижение плодородия серых лесных почв в условиях Предкамья Республики Татарстан. Связано это с неравномерным содержанием основных элементов питания в пахотном слое почвы и необоснованным внесением минеральных удобрений. В связи с этим рост и развитие сельскохозяйственных культур происходит не равномерно. Поэтому для оценки и рекогносцировки этих неоднородностей используются новейшие технологии, такие как системы глобального позиционирования, т.е. приемы точного земледелия [3]. Необходимо разработать точный, научно-обоснованный подход к приемам внесения расчетных доз минеральных удобрений с использованием ГИС технологий, который позволит снизить расходы на производство единицы продукции, а также снизить нагрузку на окружающую среду. Цель исследования – изучить пространственную закономерность распределения различных форм азота.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Местом проведения исследования был Высокогоский район Республики Татарстан, находящийся в 20 км от г. Казань на участке полевого опыта со следующей схемой чередования культур в пространстве и во времени: 1. озимая рожь, 2. картофель, 3. гречиха, 4. ячмень + клевер, 5. клевер 1 г.п. на сидерат. С площади участка полевого опыта в 25 га из 12-ти точек с точно заданными координатами (координаты точек пробоотбора были зафиксированы с помощью техники GPS) был произведен отбор почвенных образцов из пахотного слоя серой лесной почвы (глубина 25 см) (рис. 1).

Исследуемое поле после кукурузы, вводимое в севооборот, согласно вышеприведенной схеме, почвенные образцы были отобраны после уборки урожая (03.10.2017 г.) Начальные характеристики пахотного слоя почвы (на момент первого исследования), были следующие: плотность – 1,4 г/см³, влажность – 22,9 %, гумус – 1,1 %.

Отобранные из пахотного горизонта образцы готовились к анализу стандартным методом. Каждый отобранный образец анализировался на содержание различных форм азота тремя методами, использующимися в практике агрохимического обследования почв: а) определение щелочногидролизующего азота по Корнфилдсу; б) определение обменного аммония по методу ЦИНАО (ГОСТ 26489-85); в) определение нитратов ионометрическим методом (ГОСТ 26951-86). На основе данных лабораторных анализов были построены карты распределения различных форм азота в программе «QGIS» методом обратных взвешенных расстояний. Был рассчитан коэффициент вариации (V , %) для участка опытного поля.



Рисунок 1. Схема отбора почвенных образцов

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В таблице приведены значения содержания различных форм азота в пахотном слое почвы. Значительные изменения в содержании ($V = 71\%$) наблюдались в распределении аммонийного азота. Изменение показателей наблюдалось в пределах $0.25\text{--}6.48\text{ мг/кг}$ (рис. 3, а). Обратив внимание на карту, можно заметить, что содержание аммонийного азота неравномерно по площади опытного участка. Так, наименьшее содержание данного показателя было установлено на первой точке отбора образцов – 0.25 мг/кг . На дальнейших точках отбора содержание аммонийного азота было примерно одинаковым. Однако, на карте хорошо заметны участки с наибольшим содержанием аммонийного азота (точки 6–8) – $5.81\text{--}6.48\text{ мг/кг}$. На дальнейших точках отбора содержание аммонийного азота было примерно одинаковым и совпадало с содержанием на начальном этапе маршрута.

Установлено, что содержание щелочногидролизуемого азота изменялось на исследуемом участке в пределах среднего показателя вариабельности ($V = 17\%$). Изменение показателей находилось в пределах от 3.20 до 5.50 мг/кг (рис. 3, б). Так, наименьший показатель установлен на одиннадцатой точке отбора образцов – 3.20 мг/кг . На дальнейших точках отбора содержание щелочногидролизуемого азота было примерно одинаковым. Обеспеченность оценивалась, как очень низкая.

Пространственное распределение нитратного азота изменялось значительно ($V = 56\%$). Распространение содержания варьировалось в пределах от 0.83 до 4.21 мг/кг (при интерполяции данных произошло сглаживание показателей, поэтому максимальный показатель 4.21 мг/кг не отобразился в легенде карты) (рис. 3, в). Так, наименьшее содержание данного показателя было установлено на восьмой точке отбора образцов – 0.83 мг/кг . На дальнейших точках отбора содержание аммиачного азота было примерно одинаковым.

Исходя из результатов содержания аммонийного и нитратного азота, были подсчитаны его запасы в пахотном слое почвы (25 см). Посмотрев гистограмму (рис. 2), можно заметить, что распределение было неравномерным. Запасы азота находились в пределах от $71.7\text{--}240.6\text{ кг/га}$. На точке номер один обеспеченность азота оценивалась, как низкая. Тогда как, на точке номер семь обеспеченность азота оценивалась, как высокая. Примерное расстояние между точкой один и точкой семь 90 метров . Поэтому внедрение точного земледелия в аграрную практику позволяет решать проблемы пестроты почвенного покрова, даже в пределах небольших расстояний.

Таблица. Результаты определения содержания различных форм азота в пахотном слое серой лесной почвы участка опытного поля.

№	Координаты точек	Аммонийный азот, мг/кг	Нитратный азот, мг/кг	Щелочно-гидролизуемый азот, мг/кг	Минеральный азот, мг/кг	Запасы азота в пахотном слое почвы (25 см), кг/га
1.	380587 мВ, 6210872 мС	0.25	1.66	3.80	1.91	71.73
2.	380712 мВ, 6210822 мС	1.88	1.23	3.80	3.11	101.15
3.	380644 мВ, 6211028 мС	1.42	1.27	5.50	2.69	101.01
4.	380787 мВ, 6210988 мС	1.96	4.21	4.30	6.18	231.63
5.	380845 мВ, 6211119 мС	2.46	1.23	3.80	3.69	119.97
6.	380710 мВ, 6211174 мС	5.81	1.46	4.90	7.26	236.11
7.	380973 мВ, 6211237 мС	6.48	0.93	5.40	7.40	240.56
8.	380774 мВ, 6211340 мС	6.48	0.83	4.90	7.30	237.36
9.	381103 мВ, 6211490 мС	2.46	1.63	3.90	4.10	133.12
10.	380889 мВ, 6211596 мС	3.43	1.97	4.40	5.39	188.73
11.	381299 мВ, 6211804 мС	1.04	1.15	3.20	2.19	76.77
12.	381126 мВ, 6211889 мС	2.21	1.47	5.00	3.68	128.77

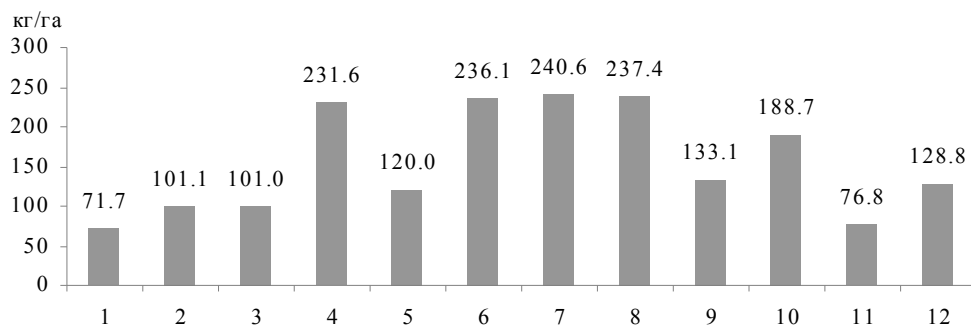


Рисунок 2. Запасы азота в пахотном слое почвы.

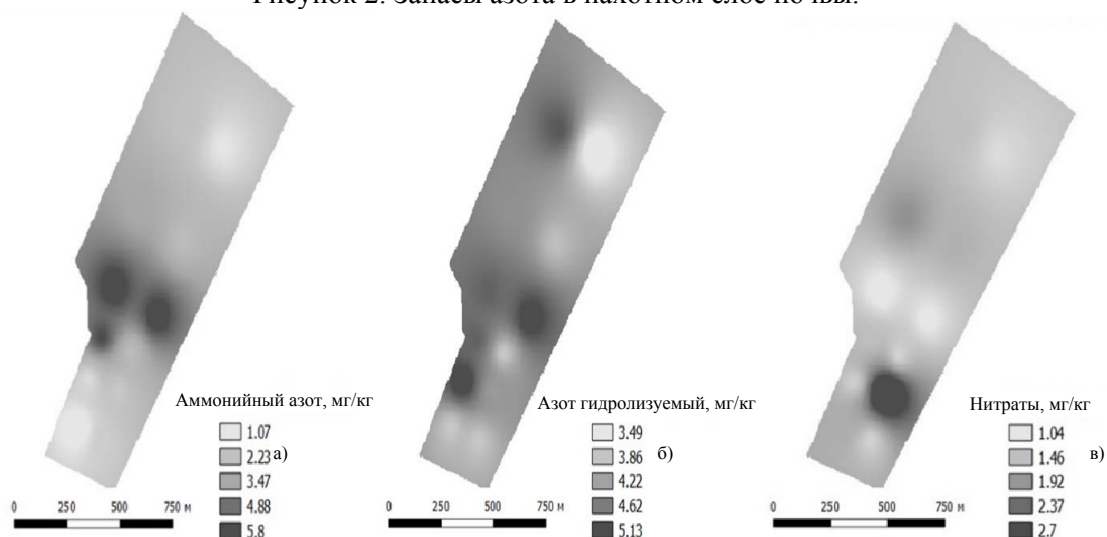


Рисунок 3 (а, б, в). Пространственное распределение различных форм азота на серых лесных почвах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, точное земледелие и ГИС позволяют использовать новейшие технологии для оценки и рекогносцировки различных неоднородностей в системе глобального позиционирования. Построив карту распределения можно видеть точные координаты точек недостатка и избытка различных форм азота в пространстве. Данная карта позволит рационально распределить расчетные дозы перед внесением азотных удобрений и проведением дальнейших подкормок под следующую культуру севооборота. Такой подход позволит снизить расходы на производство единицы продукции, а также снизить нагрузку на окружающую среду. Точное земледелие позволяет не усреднять полученные лабораторные результаты по содержанию различных форм азота, а давать точную характеристику заданных участков поля с целью внесения точных доз минеральных удобрений в данные участки, тем самым, экономить средства на их приобретение. Так же, рекомендуется рассчитывать дозы минеральных удобрений по содержанию щелочногидролизуемого азота и вносить сложные удобрения на данном поле, например, азофоска.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гречишкина Ю.И., Есаулко А.Н., Агеев В.В. и др.* Термины и определения в агрохимии / Ставропольский государственный аграрный университет. – Ставрополь: АГРУС, 2012. – 136 с.
2. *Кидин В.В.* Агрохимия. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 351 с.
3. *Плескачев Ю.Н., Беленков А.И., Николаев В.А., Кривцов И.В., Мазиров М.А.* Земледелие. М.: НИЦ ИНФА-М, 2016. – 224 с.

Работа рекомендована к.б.н., доц. К.Г. Гиниятуллин, к.с.-х.н. ассис. Л.Ю. Рыжих.

УДК 631.47 : 550.42

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ПОЧВАХ ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ПРИРОДНОГО БИОСФЕРНОГО ЗАПОВЕДНИКА

А.Д. Иовчева

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

В работе дается оценка содержания редкоземельных элементов (Sc, Y, La и лантаноидов) в почвах Центрально-лесного заповедника и выявляется их участие в почвообразовательных процессах. Распределение редкоземельных элементов в почвах носит элювиально-иллювиальный характер, что, предположительно, связано с миграцией некоторых лантаноидов, скандия и иттрия в составе илестых частиц.

ВВЕДЕНИЕ

К редкоземельным элементам (РЗЭ) относят Sc, Y, La и 14 лантаноидов. Их содержание в почвах, а также участие в почвообразовательных процессах слабо изучено. Основное внимание уделяется макроэлементам: Fe, Ca, Na или микроэлементам – активным участникам биологического круговорота. Однако в последнее время интерес к РЗЭ в почвах растет, что связано как с появлением более чувствительных методов их определения (например, масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой – ICP-MS), так и с их возрастающим участием в техногенных потоках (лантаноиды используют при легировании стали, в электронике и оптике, атомной промышленности).

Цель данной работы – проанализировать содержание и распределение РЗЭ: Sc, Y, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu в почвах Центрально-Лесного заповедника, а также выявить корреляцию между содержанием илистой фракции в почвах и следующими РЗЭ: Sc, Y, La, Ce, Sm, Eu, Er, Tb, Yb, Lu. Зависимость между содержанием РЗЭ и илистой фракцией описана в работе [5].

Исследование выполнено в рамках договора № 04/2017/РГО-РФФИ (рук. Н.С. Касимов).

© А.Д. Иовчева, 2018

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования выступили 4 почвенных разреза, заложенных на различных ландшафтно-геохимических позициях в пределах ядра заповедника. В автономной и транслювиальной позициях сформировались дерново-палево-подзолистые легкосуглинистые почвы, в аккумулятивной перегнойно-торфяно-подзолистая глеевая и торфяно-подзолистая глеевая почвы. Образцы почв отбирались из средней части генетических горизонтов. Определение валового содержания РЗЭ проводилось методом ICP-MS в Аналитическом сертификационном испытательном центре Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья. Определение гранулометрического состава осуществлялось автором совместно с Енчилик П.Р. на лазерном гранулометре Analysette-22 MicroTec plus. Статистическая обработка результатов была проведена в программе STATISTICA 10. Для оценки характера распределения РЗЭ в профиле исследуемых почв использовался коэффициент радиальной дифференциации (R_x), который представляет собой отношение содержания элемента в горизонте почвы к его содержанию в породе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Полученные в процессе статистической обработки средние содержания Sc, Y и лантаноидов сравнивались с региональными почвенными и породными кларками (табл. 1). В основном средние содержания РЗЭ не превышают их средние содержания в почвах Восточно-Европейской равнины по [2]. Небольшие превышения региональных кларков наблюдаются у Ce (60 мг/кг против 53), Eu (0.9 мг/кг против 0.8), Gd (4.5 мг/кг > 4.2), Dy (3.3 мг/кг > 3.0). Более серьезные превышения концентраций РЗЭ в почвах заповедника над значениями, полученными А.П. Виноградовым, наблюдаются у Er (1.8 мг/кг против 0.8) и Yb (1.9 мг/кг против 0.8). Данные превышения не указывают на геохимическую аномалию или техногенное загрязнение. В 1957 году методы определения многих лантаноидов отличались низкой чувствительностью. По современным данным содержание Er и Yb в глинах Русской платформы около 3 мг/кг [4]. Следовательно, содержание лантаноидов в почвах заповедника находится в пределах нормы для Русской платформы и определяется породными особенностями. Так ледниковые моренные отложения, служащие почвообразующей породой, могут включать материал, привнесенный с Кольского полуострова, где наблюдается повышенное содержание РЗЭ в апатит-нефелиновых рудах и лопаритах [1].

Таблица 1. Среднее содержание РЗЭ в почвах и породах в мг/кг.

РЗЭ	В почвах ЦЛГПБЗ	В почвах Восточно-Европейской равнины	В глинах Русской платформы [2]
Y	17.0	40.0	–
Sc	6.1	7.0	–
La	27.3	27.0	37.5
Ce	60.2	53.0	74.8
Pr	6.3	6.7	8.6
Nd	24.9	25.0	32.2
Sm	4.7	6.4	6.2
Eu	0.9	0.8	1.3
Gd	4.5	4.2	5.2
Tb	0.6	0.7	0.8
Dy	3.3	3.0	4.9
Ho	0.6	0.7	1.0
Er	1.8	0.8	2.8
Tm	0.3	0.7	0.4
Yb	1.9	0.8	2.7
Lu	0.3	0.7	0.4

Примечание: составлено автором по [2] и [4] с дополнениями.

Помимо среднего содержания были проанализированы соотношения легких, средних и тяжелых лантаноидов (к легким относятся элементы в периодической системе химических элементов стоящие в ряду от La до Pr, к средним от Nd до Dy, к тяжелым от Ho до Lu, с включением Y). Легкие и средние лантаноиды преобладают над тяжелыми, причем максимальный вклад в сумму легких элементов вносит церий. Согласно [1] такая ситуация характерна для кислой стадии кор выветривания, по которой развиваются подзолистые почвы.

Распределение редкоземельных элементов по профилям почв имеет слабо выраженный элювиально-иллювиальный характер. Значения коэффициента R_x изменяются от 0.5 в верхней части почв (в органогенных и подзолистых горизонтах) до 1.5 в горизонтах A2B (BEL) и B (BT). В целом дифференциация валового содержания РЗЭ лучше выражена в дерново-палево-подзолистых почвах (разрезы ЦЛЗ-0 и ЦЛЗ-1), а в торфяно-подзолистой глеевой слабее (ЦЛЗ-3), что можно увидеть на рис. 1, где показано изменение коэффициента радиальной дифференциации R_x по профилям почв. (Разница показана на примере Се, так как содержание данного элемента в почвах заповедника максимальное, кроме того все РЗЭ имеют высокие коэффициенты корреляции между собой и имеют общий вид распределения). Для дерново-палево-подзолистой почвы в автономной позиции (ЦЛЗ-0) наблюдается обеднение горизонта В (глубина 80 см) редкоземельными элементами по сравнению с породой, которое связано с его сильной опесчаненностью (доля среднего песка в горизонте составляет 12.2 %, а в выше- и нижележащих менее 1 %). Песчаная фракция обеднена РЗЭ [1], поэтому наблюдается «разбавление» общего содержания элементов при пересчете полученных концентраций на массу почвенной навески.

Характер дифференциации элементов различен не только для разных подтипов (типов) почв, но и для разных групп лантаноидов (легких и тяжелых). Так дифференциация тяжелых лантаноидов в профиле почв выражена сильнее, чем легких (R_x максимальный для Tm=1.5, а для La $R_x=1.3$).

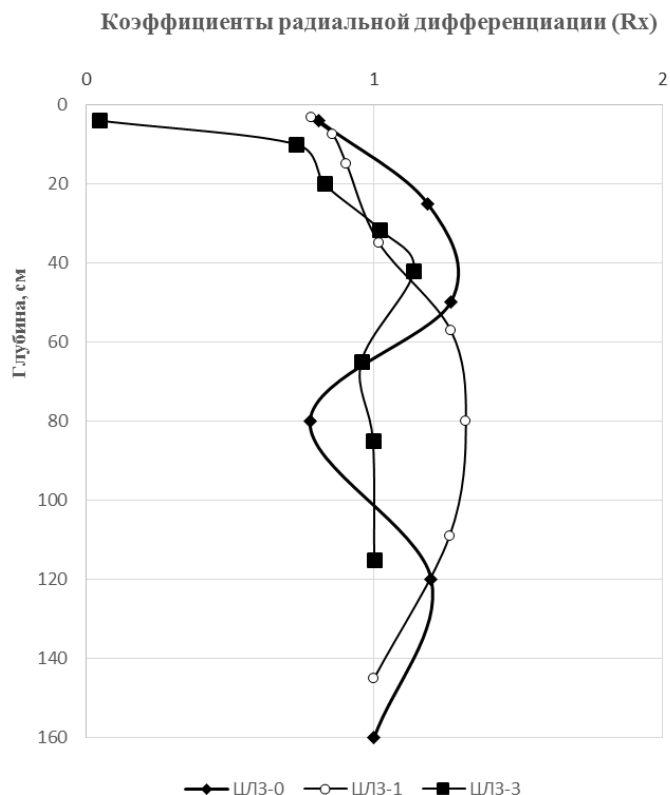


Рисунок 1. Дифференциация Се в почвах заповедника.

Существуют исследования, что РЗЭ могут мигрировать в составе илистой фракции [3, 5]. Для оценки тесноты связи распределения валового содержания РЗЭ с илистой фракцией был проведен корреляционный анализ. В результате была обнаружена значимая положительная связь между содержаниями Sc, La, Y, Er, Tb, Eu и процентом илистой фракции

в почве. Коэффициенты корреляции для Sm, Ce, Yb, Lu были статистически незначимы, то есть связь между концентрациями данных элементов в почвах и процентным содержанием ила в исследуемых образцах не обнаружена.

ВЫВОДЫ

В почвах подзолистого ряда Центрально-Лесного заповедника средние содержания Y, Sc, La и лантаноидов не превышают кларковые значения, следовательно, техногенное воздействие на ландшафты отсутствует.

В большинстве исследуемых почв отмечался слабоконтрастный элювиально-иллювиальный тип распределения валового содержания лантаноидов и иттрия, что указывает на участие РЗЭ в подзолистом процессе. Для некоторых элементов Sc, La, Y, Er, Tb, Eu была статистически выявлена положительная связь с илистой фракцией почв, следовательно, возможна миграция РЗЭ в почве в составе илистых частиц.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Балашов Ю.А.* Геохимия редкоземельных элементов. М: Наука. 1976. 267 с.
2. *Виноградов А.П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР, 1957. 237 с.
3. *Водяницкий Ю.Н., Горячкин С.В., Савичев А.Т.* Распределение редкоземельных (Y, La, Ce) и других тяжелых металлов в профиле почв подзолистого ряда // Почвоведение. 2011. № 5. с. 546–555.
4. *Ладонин Д.В.* Лантаноиды в почвах зоны воздействия Череповецкого металлургического комбината // Почвоведение. 2017. № 6. С. 680–689.
5. *Самонова О.А.* Редкоземельные элементы в почвах ландшафтов Смоленско-Московской возвышенности. // Вестник МГУ. Серия 5. География, 2013. № 3. С. 73–79.

Работа рекомендована к.г.н., в.н.с. О.А. Самоновой.

УДК 504.064.2

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Д.С. Колетвинов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

В статье обсуждается вопрос оценки и нормирования окружающей природной среды (ОПС). Рассматривается конкретный метод оценки качества окружающей среды на примере Тульской области. Результаты проведенной работы, сравниваются с аналогичными исследованиями 90-х годов.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, оценке и нормированию состояния окружающей природной среды (ОПС), уделяют все больше внимания. Это связано с негативными последствиями антропогенной нагрузки на природные среды, вследствие которых страдает и человек. В нашей стране существует ряд законодательных документов, касающихся охраны окружающей среды. Главный из них [2]. В нем прописано, что экологическое нормирование осуществляется с целью регулирования антропогенного воздействия на среду, гарантирующее обеспечение экологического благополучия. Однако, каким методом регулировать экологическую обстановку – не указано. Конечно, существует множество исследовательских работ, в которых предлагается использовать ту или иную систему оценки качества среды. Но пока какая-либо методика не будет утверждена законом, она не может являться общепринятой для оценки состояния ОПС. Так как вопрос метода оценки качества среды остается открытым, в данной статье мы рассмотрим подход, описанный в книге [1].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом нормирования была выбрана Тульская область, вследствие сильного влияния промышленности на ее окружающую среду, и возможности рассмотрения состояния среды во всех пяти уровнях потери качества. В основе предлагаемой методики лежит пятиуровневая система оценки качества природной среды (табл. 1). Каждый уровень соответствует определенному состоянию среды, которое, в свою очередь, определяется по трем характеристикам: функционирование экосистем, комфортность природного окружения человека и сохранность физико-географической основы природно-территориальных комплексов (ПТК). При этом, представленные характеристики оценивают по пяти параметрам: запыленность территории, радиоактивное загрязнение, эродированность почв (используются для оценки физико-географической основы ПТК), состояние естественных и антропогенных биоценозов (функционирование экосистем) и заболеваемость населения (комфортность природного окружения человека).

Для того чтобы изучить состояние среды региона, нужно построить пять картосхем, каждая из которых, показывает уровень потери качества (УПК) среды по одному из пяти параметров. После этого, на основе полученных картосхем составляется обобщенная карта экологического состояния окружающей среды рассматриваемого объекта нормирования. В результате объединения пяти картосхем на общей карте образуется множество контуров, для которых предлагается рассчитать показатель экологического качества (ПЭК) и площадь полученных контуров. Для расчета ПЭК использовалась следующая формула:

$$ПЭК = Pd + \sum(Pdni) / (\sum(Pdni) + n),$$

где Pd – доминирующего параметра, $Pdni$ – значение дополнительного параметра, n – число дополнительных параметров.

Доминирующий параметр – ранжированный параметр высшего уровня потери качества среды, который встречается в условиях конкретного ПТК. Дополнительный параметр – параметр по уровню потери качества среды меньший, чем доминирующий.

Таблица 1. Критериальная таблица оценки экологического состояния ОПС.

Оценочный балл	Качественные признаки состояния природной среды	Уровни потери качества
0–1	Отсутствие признаков: 1. угнетения биоценозов; 2. нарушений состояния здоровья; 3. нарушения природных сфер.	Нулевой
1.1–2.0	1. заметное угнетение биоценозов; 2. состояние природной среды удовлетворительно для человека; 3. нарушение природных сфер обратимого характера.	Слабый
2.1–3.0	1. биоценозы сильно угнетены, производство пищевой продукции неэффективно; 2. здоровье населения заметно ухудшено; 3. ОПС не справляется с антропогенными нагрузками.	Средний
3.1–4.0	1. противопоказанность использования земель для производства продовольственной продукции; 2. плохое состояние здоровья населения; 3. необратимые нарушения природных сфер.	Высокий
>4.1	1. нулевая биопродуктивность земель; 2. контакт человека с природной средой опасен для здоровья человека; 3. природные сферы не могут выполнять своих экологических функций в окружающей среде.	Катастрофический

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Применив рассматриваемую методику, сравнив данные исследования 90-х годов с актуальными и построив в компьютерной программе QGIS пять картосхем пяти параметров ОПС Тульской области, мы получили следующие результаты:

1. Сравнивая запыленность территории 2017 и 90-х годов, можно сказать, что ситуация несколько ухудшилась, потому что площадь контуров со вторым и третьим уровнем потери качества среды стала больше.

2. По эродированности почвы, не наблюдается заметных изменений. Даже наоборот, один из районов области – Веневский, по эродированности перешел из второго уровня потери качества к первому. Возможно, это связано с разными методами оценки эродированности почв, примененными для исследований 90-х и 2017 годов.

3. Радиоактивное загрязнение в почве на 2017 год заметно уменьшилось. Это произошло в силу естественных причин. Так как за 30 лет после аварии на ЧАЭС ядра основного техногенного радионуклида цезия – 137, излучающего радиацию, претерпели полураспад и намного уменьшили вредное воздействие на ОПС. Это единственный параметр среды, по которому наблюдается заметное улучшение.

4. Состояние естественных и антропогенных биоценозов, также говорит нам о некотором ухудшении своего состояния. Так, Засечный район ботанико-географического районирования Тульской области из первого уровня потери качества, который был присвоен ему в 90-х годах, на данный момент перешел во второй уровень, что связано с влиянием промышленных выбросов и вырубкой деревьев.

5. Заболеваемость населения заметно увеличилась. Это связано со многими причинами. Но главной остаются промышленные выбросы, которые влияют на все параметры среды существенно отрицательно. По сравнению с 90-ми годами в наше время, семь районов области перешли в 4 уровень потери качества среды, что заставляет задуматься о принятии мер по улучшению экологической обстановки. Ведь выбросы промышленных предприятий пагубно влияют не только на окружающую среду, но и на человека.

6. Итоговая карта экологического состояния Тульской области (рис. 1) показала, что экологическая обстановка ухудшилась, по сравнению с 90-ми годами (рис. 2). Площадь контуров с третьим и четвертым уровнем потери качества среды, по актуализированным данным, увеличилась (табл. 2). Также появился пятый (катастрофический) уровень потери качества среды, что свидетельствует о необратимых негативных изменениях ОПС.

Таблица 2. Площади контуров по ПЭКу
на картах экологического состояния ОПС Тульской области 90-х и 2017 годов.

Уровень	Площадь в км ² по ПЭКу 90-х годов	Площадь в км ² по ПЭКу 2017 года
1	–	–
2	16613	10596.73
3	1567.929	7074.83
4	7428.254	7723.4
5	–	214.22

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, по результатам актуальной оценки ОПС Тульской области, можно сказать о заметном ухудшении экологического состояния среды. Это свидетельствует о том, что антропогенное влияние все более пагубно сказывается на природных средах. Но мало того, что мы умеем оценивать состояние окружающей среды, нужно официально закрепить какую – либо методику оценки потери качества среды, иначе промышленные предприятия бесконтрольно будут продолжать выбрасывать вредные вещества, отрицательно влияя не только на природу, но и на человека.

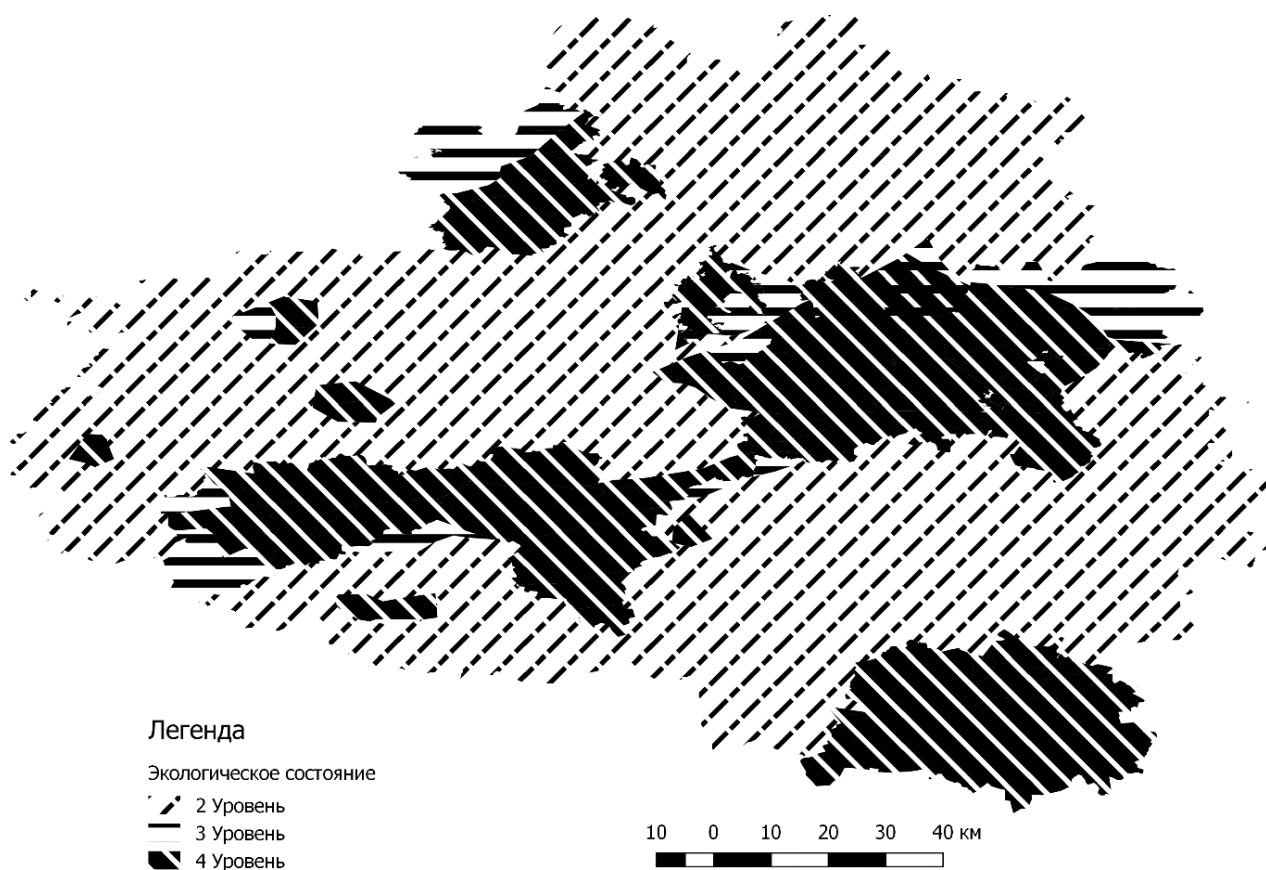


Рисунок 1. Экологическое состояние ОПС Тульской области по данным 90-х годов.



Рисунок 2. Экологическое состояние ОПС Тульской области по данным 2017 года

ЛИТЕРАТУРА

1. *Оценка экологического состояния почвенно-земельных ресурсов региона в зонах влияния промышленных предприятий (на примере Тульской области)*, 1999. / Ред. Г.В. Добровольский, С.А. Шоба. М.: Изд-во Московского университета. 252 с.
2. *Федеральный закон от 10.01.2002 № 7 «Об охране окружающей среды».*

Работа рекомендована д.б.н., профессором А.С. Яковлевым.

УДК 504.53.06

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СУКЦЕССИОННОЙ ДИНАМИКИ ЭМИССИИ CO₂ ПРИ ЗАРАСТАНИИ ЗАЛЕЖИ НА ДЕРНОВО-ПАЛЕВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВАХ

Т.В. Комарова

РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва

Проведен круглогодичный мониторинг интенсивности почвенной эмиссии CO₂ на сопоставимых участках разновозрастных залежей в условиях Центрально-Лесного заповедника. Установлено значительное снижение почвенной эмиссии CO₂ при увеличении возраста залежных участков. Также зафиксирована прямая корреляционная зависимость почвенных потоков CO₂ от температуры почвы и обратная корреляционная зависимость от влажности почвы.

ВВЕДЕНИЕ

Увеличивающаяся концентрация парниковых газов в атмосфере в настоящее время относится к числу основных современных экологических проблем [9, 10]. Источником парниковых газов является не только техногенная деятельность человека, но и естественные микробиологические процессы, протекающие в почве [2, 5].

Самыми агрессивными парниковыми газами, которые выделяются почвой в результате ее функционирования, являются диоксид углерода (CO₂), метан (CH₄) и закись азота (N₂O). Причем наибольший вклад (около 80 %) в усиление парникового эффекта вносит CO₂ [2, 7].

Эмиссия почвой CO₂ является показателем весьма динамичным, сильно варьирующим как в пространстве, так и во времени. Интенсивность почвенных потоков CO₂ зависит от многих факторов: температуры воздуха, температуры и влажности почвы, характера растительности, фенофазы растений [3]. Интенсивность почвенных потоков CO₂ определяется дыханием почвенных микроорганизмов и корней растений, при чем 70 % эмиссии CO₂ приходится на деятельность гетеротрофных микроорганизмов, которые минерализуют органическое вещество почвы [2].

Величина годовых потоков CO₂ определяется типом почвы, типом ценоза и погодными условиями. При чем определяющее влияние на величину эмиссии CO₂ оказывает температура почвы [4], а также влажность почвы [8].

Одним из основных факторов, влияющих на изменение потока парниковых газов, является изменение режимов землепользования, включая сведение и восстановление лесов. Отличительной особенностью антропогенно-измененных почв является не только возникновение несбалансированного развития микробных популяций в сообществе почвенных микроорганизмов (доминирование), но и возрастание биологической активности, как показателя одного из первых этапов нарушения экологических свойств почв [1]. В тоже время заброшенные пахотные земли – залежи – основной территориальный резерв для восстановления и расширения природного каркаса. Восстановленные леса могут служить стоком CO₂ [12].

В связи с этим, проблемы изменения климата, поиск путей и методов сокращения поступления парниковых газов в атмосферу являются весьма актуальными.

Одним из наименее изученных регионов в этом отношении является южно-таежная зона Центрального региона России, к наиболее представительным объектам которой относится Центрально-Лесной заповедник.

Центрально-Лесной заповедник – уникальный объект в южно-таежной зоне, где в аналогичных геоморфологических, литологических и климатических условиях исследуются залежи разновозрастного зарастания.

Цель исследования – проведение комплексных экологических исследований почвенных потоков CO₂ на представительных объектах разновременной залежи с дерново-палево-подзолистыми почвами в условиях Центрально-Лесного заповедника.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Центрально-Лесной заповедник (Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник, ЦЛГПБЗ) учрежден в 1931 г. для сохранения и изучения ненарушенных участков южной тайги в центре европейской части России. Заповедник расположен на территории Нелидовского и Андреапольского районов Тверской области (56°30' С.Ш.; 32°55' В.Д.) в юго-западной части Валдайской возвышенности, занимая площадь равную 24.4 тыс. га, охранной зоны – 42.3 га [11].

Объектом данного исследования послужил ряд разновозрастной залежи, охватывающий основные стадии развития вторичной сукцессии: от зарастания травянистой растительностью до формирования близкой к зональной экосистемы ельника кислично-щитовникового. Исследуемые залежные участки находятся в средней части длинного склона западной экспозиции, что обеспечивает автоморфные условия увлажнения. Участки являются постепенно зарастающей пашней, где почти все культурные растения сменились естественной флорой.

Объекты исследования представлены 5 разновозрастными участками залежей:

1. свежая залежь с травостоем;
2. залежь, заросшая березняком возрастом 10–15 лет с включением подроста осины и ели;
3. залежь, заросшая березняком возрастом 20–30 лет с включением подроста осины и ели;
4. березняк с примесью осины и ели возрастом 80–100 лет;
5. ельник кислично-щитовниковый неморальный возрастом старше 120 лет.

Исследования проводились в хронологическом ряду сопоставимых между собой залежных участков на дерново-палево-подзолистых легкосуглинистых почвах, подстилаемых моренным суглинком (табл. 1).

Таблица 1. Строение профилей исследуемых почв разновозрастных залежей.

Залежь с травостоем		Залежь с подростом березы возрастом 10–15 лет		Залежь с подростом березы возрастом 20–30 лет		Березняк с подростом ели возрастом 80–100 лет		Ельник с включением березы возрастом старше 120 лет	
Горизонт	Глубина, (см)	Горизонт	Глубина, (см)	Горизонт	Глубина, (см)	Горизонт	Глубина, (см)	Горизонт	Глубина, (см)
Ad	0–3	0	0–3	0	0–2	0	0–2	0	0–2
A1(P)	3–12	A1A2d	0–3	A1A2d	0–2	A1A2d	0–2	A1	0–7
A1A2p	12–29	A1A2p	3–15	A1A2p	2–11	A1A2p	2–11	A1A2	7–15
A2(f)	29–35	A2A1p	15–28	A2A1p	11–28	A2A1p	11–28	A2(f)	15–32
A2B	35–50	A2(f)	28–43	A2(f)	28–39	A2(f)	28–39	A2B	32–52
B1(t)	50–70	A2B	43–55	A2B	39–50	A2B	39–50	B1	52–70
–	–	B1	55–70	B1	50–70	B1	50–70	–	–

Для оценки качества почв и их пулов углерода отобранные почвенные образцы анализировались в лаборатории (по стандартным методикам).

Мониторинг почвенной эмиссии CO₂ проводили в период с января по декабрь 2017 года. На территории каждого участка сезонная динамика почвенной эмиссии измерялась в 5 пространственных повторностях. Измерения проводились с помощью мобильного инфракрасного газоанализатора Li-820 методом напочвенных экспозиционных камер с параллельным измерением температуры воздуха, температуры (термометр Checktemp, Hanna, Германия, усреднение для слоя 0–10 см, измерение 5 см от камеры) и влажности почвы (датчик SM300, Eijkelkamp, Нидерланды, усреднение 0–7 см, измерение 5 см от камеры) в трех повторностях. Эмиссию CO₂ рассчитывали в г CO₂ м⁻²·сутки⁻¹ для каждого месяца, после чего суммировали за весь период измерения.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Для исследуемых дерново-подзолистых почв характерно профильное распределение основных физико-химических свойств: сверху вниз по профилю отмечается постепенное уменьшение содержания гумуса, снижение кислотности (увеличение pH_{KCl}), увеличение плотности сложения и, как правило, утяжеление гранулометрического состава (табл. 2).

Таблица 2. Физико-химические свойства разновозрастных участков залежей.

Горизонт	Глубина, см	ρ_b , г см ⁻³	pH _{KCl}	Гумус, %
Залежь с травостоем				
Ad	0–3	–	3.78	4.14
A1(P)	3–12	0.7	3.75	3.05
A1A2p	12–29	0.95	3.93	2.87
A2(f)	29–35	1.13	3.47	0.69
A2B	35–50	1.59	4.05	0.46
B1(t)	50–70	1.45	3.77	0.18
Залежь, заросшая березняком возрастом 20–30 лет				
0	0–2	–	–	–
A1A2d	0–2	1.04	3.71	2.95
A1A2p	2–11	1.33	3.75	2.57
A2A1p	11–28	1.38	3.97	1.92
A2(f)	28–39	1.44	3.64	0.88
A2B	39–50	1.57	4.16	0.62
B1	50–70	1.64	4.13	0.34
Ельник кислично-щитовниковый возрастом старше 120 лет				
0	0–2	–	–	–
A1	0–7	1.16	3.32	3.50
A1A2	7–15	1.20	3.97	3.20
A2(f)	15–32	1.48	3.69	0.91
A2B	32–52	1.59	4.04	0.30
B1	52–70	1.71	3.92	0.18

Проведенные исследования выявили максимальную интенсивность почвенной эмиссии CO₂ на залежи с травостоем, с постепенным ее снижением при зарастании залежи, что сочетается с повышенным содержанием гумуса и процессами его минерализации. Зависимость почвенных потоков CO₂ от возраста залежных участков фиксировалась в сукцессионном ряду зарастания залежей на протяжении всего сезона исследования.

Для зимнего периода исследования характерна наименьшая эмиссия CO₂ по абсолютным значениям (до 3 г CO₂ м⁻²·сутки⁻¹). Что обусловлено низкими значениями температуры воздуха и почвы.

Весной почвенная эмиссия CO₂ постепенно увеличивается (до 7–8 г CO₂ м⁻²·сутки⁻¹).

Период наибольшей почвенной эмиссии CO_2 составляют летние месяцы. Максимальная эмиссия CO_2 была зафиксирована в июле на залежи с травостоем и составляла 40–41 г $\text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \cdot \text{сутки}^{-1}$. Что значительно выше интенсивности почвенных потоков CO_2 на залежи, заросшей березняком возрастом 10–15 лет (30–31 г $\text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \cdot \text{сутки}^{-1}$). В тоже время эмиссия CO_2 в экосистеме ельника неморального возрастом старше 120 лет достигала только 16–17 г $\text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \cdot \text{сутки}^{-1}$.

Осенью температура воздуха значительно снижается, постепенно снижается и температура почвы. А влажность почвы, наоборот, повышается, что определяет постепенное снижение интенсивности почвенных потоков CO_2 (рис. 1).

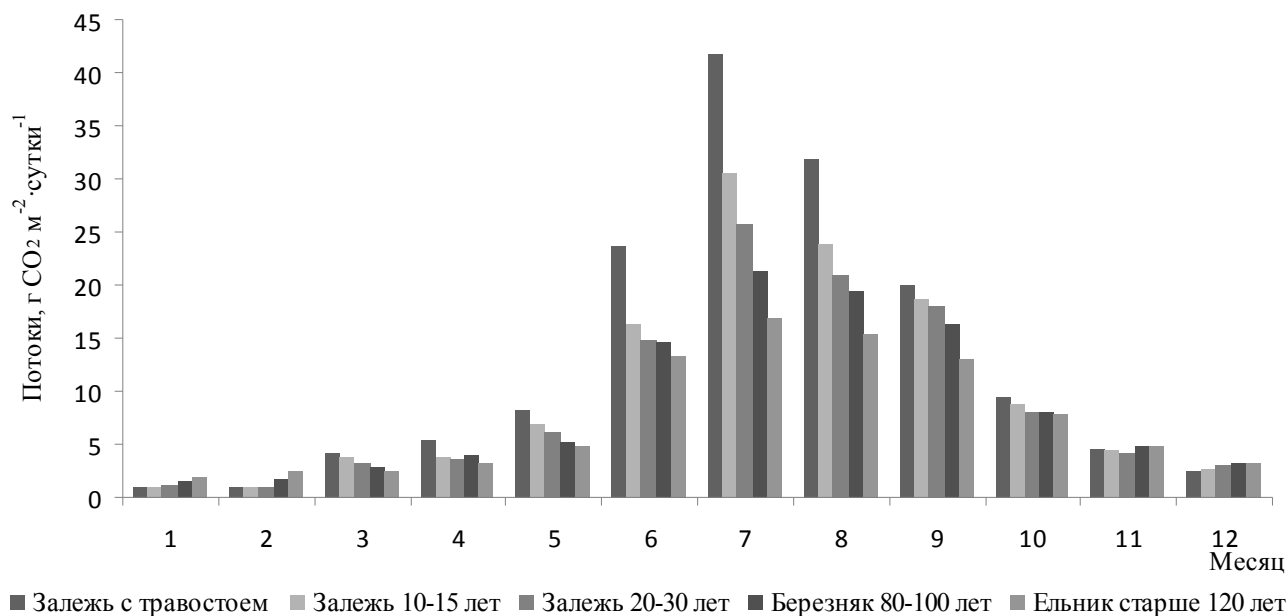


Рисунок 1. Годовая динамика почвенной эмиссии CO_2 на разновозрастных участках залежей.

На протяжении всего сезона исследования фиксировалась зависимость почвенных потоков CO_2 от температуры и влажности почвы, которые могут считаться основными экологическими факторами, определяющими сезонную динамику почвенных потоков CO_2 .

При оптимальном соотношении температуры и влажности почвы наблюдается максимальная эмиссия CO_2 . Установлена прямая корреляционная зависимость почвенных потоков CO_2 от температуры почвы (R от 0.92 до 0.95), а также обратная корреляционная зависимость от влажности почвы (R от –0.40 до –0.54).

Данные по сезонной динамике эмиссии CO_2 были использованы для расчета общей суммарной эмиссии CO_2 почвами разновозрастных залежей за год исследований (рис. 2).

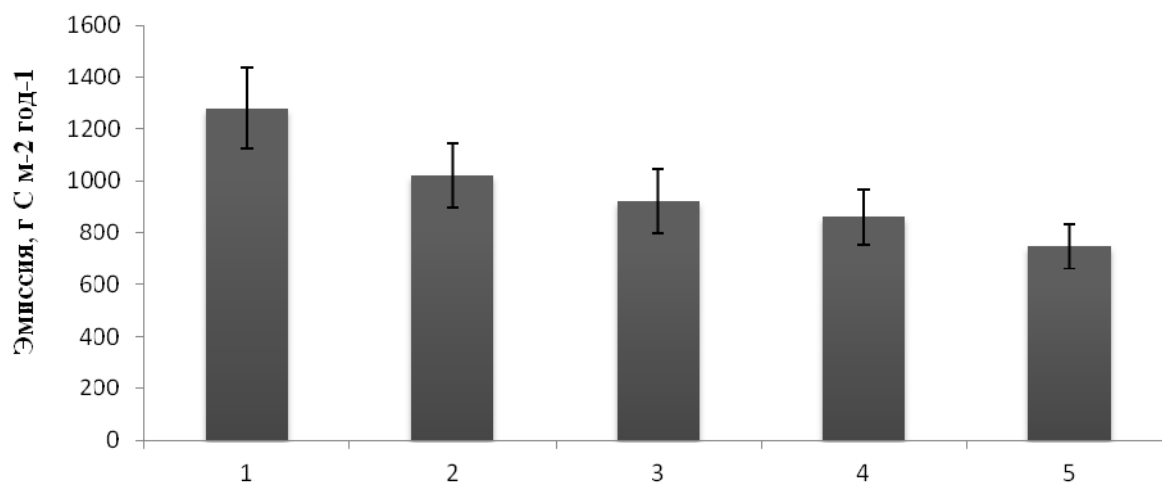


Рисунок 2. Годовая эмиссия CO_2 на разновозрастных участках залежей.

Максимальная эмиссия CO₂ характерна для участка свежей залежи с травостоем (потери органического углерода составили 1.28 кг С м⁻²·год⁻¹). По мере увеличения возраста залежи эмиссия CO₂ уменьшается, и минимальное значение было получено для почв конечной стадии зарастания залежи, экосистемы ельника кислично-щитовникового возрастом старше 120 лет (0.75 кг С м⁻²·год⁻¹). Лесная экосистема постепенно становится депоном углерода.

ВЫВОДЫ

1. В ходе залежной сукцессии происходит существенное снижение почвенной эмиссии CO₂, наблюдается стабилизация запасов органического углерода в почве с увеличением растительных и почвенных пулов углерода, что является важной составляющей регионального стока из атмосферы.

2. Температура и влажность почвы являются ведущими экологическими факторами, которые определяют интенсивность и сезонную динамику почвенных потоков CO₂.

3. Установлена прямая корреляционная зависимость почвенных потоков CO₂ от температуры почвы (R от 0.92 до 0.95), а также обратная корреляционная зависимость от влажности почвы (R от -0.40 до -0.54).

ЛИТЕРАТУРА

1. Добровольский Г.В. Задачи почвоведения в решении современных экологических проблем // Доклады Международного экологического форума «Сохраним планету Земля». Санкт-Петербург, 1–5 марта 2004 г. С.-Пб., 2004. с. 15–18.
2. Кудеяров В.Н. и др. Потоки и пулы углерода в наземных экосистемах России / отв. ред. Г.А. Заварзин. – М.: Наука, 2007. – 315 с.
3. Ларионова А.А., Розанова Л.Н. Суточная, сезонная и годовая динамика выделения CO₂ из почвы. // Дыхание почвы. Под ред. чл.-кор. РАН Г.А. Заварзин, д-р биол. наук, проф. В.Н. Кудеяров. – Пушкинский научный центр, 1993 – с. 59–68.
4. Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Розанова Л.Н., Кудеяров В.Н. Годовая эмиссия диоксида углерода почв южнотаежной зоны России. Почвоведение, 2001. № 9. – С. 1045–1059.
5. Смагин А.В. Газовая фаза почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 301 с.
6. Стапанов А.Л. Микробное образование и поглощение парниковых газов в почвах. М.: Издательство МГУ, 2009. – 225 с.
7. Buchkina N. P., Rizhiya E. Y., Pavlik S. V., Balashov E. V. 2013. Soil Physical Properties and Nitrous Oxide Emission from Agricultural Soils. In: Advances in Agrophysical Research. (S. Grundas Ed.), ISBN: 978-953-51-1184-9, InTech, Shanghai, p. 193–220.
8. Davidson E.A. Climate change and soil microbial processes: secondary effects are hypothesized from better known interacting primary effects // Soil responses to climate change // Ed. M.D.A. Rounsevell and P.J. Loveland. NATO ASI Series.V.1.№ 23. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1994. P.155–168.
9. IPCC. *Climate change 2007: Mitigation*. In: Metz, B., et al. (Eds.), Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, ISBN 978-0-521-88011-4.
10. IPCC: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, // Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2013. – P. 867–869.
11. Центрально-Лесной заповедник [официальный сайт] URL: <http://www.clgz.ru>.

Работа рекомендована д.б.н., профессором И.И. Васеневым.

ПОЧВЫ АНТРОПОГЕННО-ИЗМЕНЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ
ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

М.А. Лазарева

ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева, Санкт-Петербург,
ФГБНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва

Проведен предварительный анализ цифровой почвенной карты (ЦПК) Ленинградской области (ЛО), масштаба 1:200 000, и базы данных (БД) к ней, которые создаются в ЦМП им. В.В. Докучаева в соответствии с госзаданием № 0671-2014-0002. На территории ЛО выделены естественные, антропогенно-измененные и антропогенные почвы различных в зависимости от рода деятельности человека ландшафтов: лесохозяйственных, сельскохозяйственных, урбанизированных, болотных. Отмечено, что около 50 % территории ЛО занимают антропогенно-измененные почвы. Среди антропогенно-измененных преобладающими являются агрогенные почвы и почвенные комбинации (> 50 % от общего числа антропогенно-измененных почв). Широко распространены турбированные и подвергнутые осушительной мелиорации почвы (1/3 от общего числа антропогенно-измененных почв), а также комбинации антропогенных и естественных почв с непочвенных образований – НПО (50 % от общего числа почвенных комбинаций).

Ключевые слова: антропогенно-измененные почвы, почвы и ландшафты Ленинградской области, цифровое почвенное картографирование, интродуцированные почвы

ВВЕДЕНИЕ

Отмечено, что за последние 25–30 лет на территории Ленинградской области произошли существенные изменения, связанные со строительством зданий, сооружений, карьеров, распашкой земель, проведением авто- и железных дорог, продуктопроводов и т.п. Современные исследования показывают, что многогранное воздействие человека на природу повлекло за собой изменение основных компонентов естественных экосистем: климат, рельеф, растительность, почвы [2, 4].

Поскольку последние широкомасштабные работы по почвам Ленинградской области, являющиеся в настоящий момент научным раритетом (среднемасштабная почвенная карта Ленинградской области (1967 г.) и монография «Почвы Ленинградской области» [9]), изданы около 50 лет назад, то становится невозможным решение многих научных и практических задач, требующих информацию о текущем состоянии почв и почвенного покрова Ленинградской области. Такими задачами являются: оценка ресурсного потенциала и экологического состояния почв; оценка земель под объекты строительства; проведение мероприятий по мелиорации, реабилитации загрязненных почв и рекультивации нарушенных земель; разработка законодательной базы по охране почв и пр. [6]. В связи с этим, важно создать новый информационный ресурс, в котором будут представлены актуализированные данные о современном состоянии почв и почвенного покрова Ленинградской области.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В Центральном музее почвоведения им. В.В. Докучаева (ЦМП), в соответствии с госзаданием № 0671-2014-0002, завершается создание цифровой почвенной карты (ЦПК) Ленинградской области, масштаба 1:200 000 (составители: Б.Ф. Апарин, Е.Ю. Сухачева, Г.А. Касаткина, Т.А. Андреева, М.А. Лазарева).

Карта составляется в геоинформационной системе QGIS, ее редактирование проводится в программном продукте MicroStation V8i.

Методологической основой при создании карты является единство сравнительно-географического и сравнительно-исторического методов исследования: сравниваются разновременные карты и сопоставляются с современными представлениями о почвах и почвенном покрове, выявляются связи между почвами и факторами почвообразования.

В основе составления ЦПК лежит создание картографической основы, представляющей собой бумажную версию космоснимка по масштабу в 2–3 раза крупнее масштаба создаваем-

мой карты. На картографической основе происходит предварительное выделение контуров почв. Затем растровое изображение космоснимка с почвенными выделами переносится в ГИС-систему и по подложке, в качестве которой используются спутниковые снимки, переводится в векторный формат [5].

Применяются методы традиционного (с использованием традиционно-составленных бумажных карт) и цифрового почвенного картографирования (автоматическое и полуавтоматическое дешифрирование спутниковых снимков) [7, 8, 10].

Основными используемыми материалами при составлении ЦПК являются картографические данные: финские карты территории Карельского перешейка, масштабов 1:100 000 и 1:20 000 (1930–1940-х гг.), почвенная карта Ленинградской области, масштаба 1:300 000 (1967 г.), топографические карты Ленинградской области, масштаба 1:100 000 (1997 г.); данные спутниковых снимков (Landsat 7, 8; SPOT 4; Bing Aerial Maps). Также используются данные литературных источников; материалы отчетов экспедиций, проведенных в ЦМП в последние десятилетия. Названия почв в легенде к ЦПК приводятся в соответствии с Классификацией и диагностикой почв России 2004 года [3].

Чтобы не обеднять содержание почвенной карты из-за невозможности отразить ареалы почв, определяющих специфичность почвенного покрова (ПП) территории, контуры почв генерализуются с отражением структуры почвенного покрова (СПП).

Для уточнения диагностики почв и границ почвенных контуров применяется метод ключей, который состоит в проведении выборочного полевого обследования территории ЛО с заложением ключевых участков. На исследуемых участках осуществляется ряд описаний, включающий: морфологическое описание почв; описания растительности, рельефа; фиксацию антропогенной трансформации территории и пр. Также отбираются образцы для лабораторных исследований.

Параллельно с ЦПК создается база данных (БД), являющаяся неотъемлемой частью карты. В БД вносится информация о характеристиках почв, отображенных картографически, а также о факторах и условиях почвообразования ЛО. В качестве технической основы для построения БД используется СУБД с открытым исходным кодом PostgreSQL с пространственным расширением PostGIS. Благодаря инструментам QGIS создаются топологичные и согласованные наборы пространственных данных, которые без посреднического программного обеспечения вносятся в СУБД [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

На сегодняшний день на ЦПК ЛО выделено более 12 тыс. почвенных контуров. В БД по факторным, морфогенетическим и аналитическим показателям свойств почв охарактеризованы: 271 почвенный разрез, 1387 почвенных горизонтов, что составляет более половины легенды ЦПК.

На территории ЛО выделены различные в зависимости от рода деятельности человека ландшафты (табл.), основными из которых являются:

- лесохозяйственные (собственно лесные, лесозаготовительные, мелиоративно-лесные);
- сельскохозяйственные (агрогенные, постагрогенные, агромелиоративные);
- урбанизированные (магистральные, селитебные);
- болотные (собственно-болотные, мелиоративно-болотные).

В данных ландшафтах выявлено большое количество структур почвенного покрова, компонентами которых являются: естественные, антропогенно-измененные, антропогенные почвы и непочвенные образования.

Естественные почвы. Это все почвы, профиль которых не затронут антропогенным влиянием.

На ЦПК выделены 31 тип, 54 подтипа естественных почв, среди которых: подзолы, подбуры, дерново-подзолистые, дерново-элювиально-метаморфические, торфяные олиготрофные и эутрофные, торфяно-глеевые, перегнойно-глеевые, аллювиальные серогумусовые, петроземы, псаммоземы, литоземы, карболитоземы; а также 100 почвенных комбинаций с ними.

Максимальные площади (более 1000 км²) характерны для торфяных олиготрофных почв, а также подзолов и подбуров иллювиально-железистых, торфяно-подзолов глеевых и торфяно-глеевых почв.

Крупные площади (100–1000 км²) занимают: торфяные эутрофные перегнойно-торфяные и торфяные олиготрофные остаточно-эутрофные почвы; подзолы иллювиально-гумусовые; подзолистые глееватые, перегнойно-глеевые, дерново-подзолистые, подзолистые почвы; дерново-подзолы иллювиально-железистые; дерново-подзолистые остаточно-карбонатные почвы; торфяно-подзол-элювоземы глеевые; дерново-подзолистые глееватые почвы; подзолы глееватые; дерново-подзолистые глеевые почвы; подзол-элювоземы, подбуры оподзоленные; дерново-элювиально-метаморфические глееватые почвы; дерново-подзолы контактно-осветленные, буроземы темные.

На территории Ленинградской области выделены комбинации с естественными почвами, максимальные площади (от 500 до 1000 и более км²) из которых занимают комбинации: подбуров и подзолов; подзолов, торфяно-подзолов глеевых и торфяно-глеевых почв; подзолистых, торфяно-подзолистых глеевых и торфяно-глеевых почв; подбуров, петроземов и серогумусовых глеевых почв; дерново-подзолистых глееватых, торфяно-подзолистых глеевых и торфяно-глеевых почв.

Коренные леса сохранились, в основном, в Приозерском, Выборгском, а также в восточных и юго-западных районах Ленинградской области. Крупные массивы болот встречаются на территориях Волховского, Бокситогорского, Тихвинского, Подпорожского, Лужского, Тосненского и Всеволожского районов ЛО.

Антропогенно-измененные почвы. Горизонты таких почв изменены человеком и несут признаки: урбопедогенеза (артефакты), распашки, проведения осушительной мелиорации, механического нарушения естественного залегания почвенных горизонтов, искусственного поступления материала.

На ЦПК выделены 35 типов, 69 подтипов антропогенно-измененных почв, среди которых: торфоземы, турбированные, стратифицированные, окисленно-глеевые, агрогенные и постагрогенные почвы; а также 206 почвенных комбинаций с ними.

Максимальные площади (более 1000 км²) характерны для: торфоземов, агроземов альфегумусовых иллювиально-железистых, агродерново-подзолов иллювиально-железистых, агроземов альфегумусовых окисленно-глеевых.

Крупные площади (100–1000 км²) занимают: подзолы и дерново-подзолистые турбированные почвы; торфяно-подзолы окисленно-глеевые, агроземы структурно-метаморфические темные, агроземы текстурно-дифференцированные; агродерново-подзолистые почвы; агродерново-элювиально-метаморфические почвы; агроземы структурно-метаморфические; агротемногумусовые метаморфизованные и глинисто-иллювиированные почвы; агроземы текстурно-дифференцированные окисленно-глеевые, агроземы торфяно-минеральные; агродерново-подзолистые окисленно-глеевые почвы; агроземы структурно-метаморфические окисленно-глеевые, агродерново-подзолы окисленно-глеевые.

Также большие площади (100–1000 км²) занимают комбинации антропогенно-измененных почв и непочвенных образований (НПО), выделенные в пределах агрогенных и агромелиоративных ландшафтов ЛО: НПО и агрозем альфегумусовый; НПО и агродерново-подзолистая почва; НПО и агрозем альфегумусовый окисленно-глеевый; НПО и агрозем текстурно-дифференцированный окисленно-глеевый; НПО и агрозем текстурно-дифференцированный.

Ареалы агрогенных почв (агроземы и агропочвы) приурочены к границам сельскохозяйственных угодий. В центре контуров часто находятся населенные пункты с различными комбинациями почв с непочвенными образованиями. Основная масса агрогенных почв выделена в южных районах Ленинградской области в условиях выхода ордовикских известняков (Гатчинский, Волосовский р-ны), а также на территориях, прилегающих к г. Санкт-Петербург – Ломоносовский р-н, север Кировского, Тосненского р-нов.

Таблица. Характеристика антропогенно-измененных ландшафтов Ленинградской области.

Тип ландшафта*	Подтип ландшафта**	Характеристика ландшафта	Административно-территориальное местоположение	Преобладающие почвы
Лесо-хозяйственный	Собственно лесной (заповедный)	Территории коренных лесов	Приозерский, Выборгский, Подпорожский, Бокситогорский, Тихвинский, Лодейнопольский, Лужский, Сланцевский, Кингисеппский р-ны	Подбуры, подзолы, дерново-подзолистые, подзолистые глееватые и глеевые, их комбинации с торфяно-глееземами
	Лесозаготовительный	Территории вырубок	Крупные территории – Бокситогорский, Тихвинский, Подпорожский, Лодейнопольский р-ны	Подзол и подбур турбированные, дерново-подзолистая и подзолистая турбированные, дерново-подзолистая глеевая турбированная
	Мелиоративно-лесной	Лесные территории с проведением осушительной мелиорации	Крупные территории – Лодейнопольский, Бокситогорский, Подпорожский, Киришский, Лужский, Сланцевский, Кингисеппский р-ны	Торфяно-подзол окисленно-глеевый, торфяно-элювозем окисленно-глеевый, торфяно-подзолистая окисленно-глеевая, дерново-подзолистая окисленно-глеевая, торфяно-глеезем окисленный
Сельско-хозяйственный	Агрогенный	Земли сельскохозяйственного назначения	Крупные территории – Гатчинский, Волосовский, Ломоносовский, а также север Тосненского и Кировского р-нов	Агроземы и агропочвы. Прежде всего – агроземы текстурно-дифференцированный, структурно-метаморфический, альфегумусовый, агротемногумусовая, агродерново-подзол, агродерново-подзолистая, агрогумусовая аллювиальная
	Постагрогенный	Залежные земли	Выборгский, Приозерский р-ны	Агродерново-элювиально-метаморфическая, агрозем структурно-метаморфический, агродерново-подзол, агрозем альфегумусовый
	Агромелиоративный	Территории сельхозугодий с проведением осушительной мелиорации	Крупные территории – Ломоносовский, Волосовский р-ны, а также север Тосненского, Кировского р-нов	Агроземы и агропочвы. Прежде всего – агроземы текстурно-дифференцированный окисленно-глеевый, структурно-метаморфический окисленно-глеевый, альфегумусовый окисленно-глеевый, торфяно-минеральный окисленно-глеевый, торфяной окисленно-глеевый, агродерново-подзол окисленно-глеевый, агродерново-подзолистая окисленно-глеевая, агрогумусовая аллювиальная окисленно-глеевая

Таблица. Продолжение.

Тип ландшафта*	Подтип ландшафта**	Характеристика ландшафта	Административно-территориальное местоположение	Преобладающие почвы
Урбанизированный	Магистральный	Территории автомагистралей, железных дорог, продуктопроводов	Крупные магистрали выделены в пределах густонаселенных и прилегающих к Санкт-Петербургу территорий – Гатчинский, Волосовский, Ломоносовский, Всеволожский, Кировский, Тосненский р-ны	Различные комбинации турбированных, абрадированных, стратифицированных почв с псаммоземами и НПО
	Селитебный	Территории под застройками	Крупные поселения – Гатчинский, Волосовский, Ломоносовский, Всеволожский р-ны, а также север Кировского и Тосненского р-нов	Комбинации интродуцированных почв, агроземов и НПО
Болотный	Собственно болотный (природоохранный)	Территории болот	Крупные территории – Волховский, Бокситогорский, Подпорожский, Тихвинский, Лодейнопольский, Лужский, Тосненский, Кировский, Всеволожский р-ны	В основном торфяные олиготрофные, торфяные олиготрофные остаточн-эутрофные почвы. Также встречаются торфяные эутрофные почвы
	Мелиоративно-болотный	Территории торфоразработок	Всеволожский, Кировский, Тосненский р-ны. А также на территориях крупных населенных пунктов: г. Тихвин, г. Кингисепп, г. Луга	Торфоземы

Примечания:

* Тип ландшафта выделен по доминирующему фактору в формировании ландшафта (заболачивание суши; урбанизация; сельскохозяйственное освоение земель; развитие лесных сообществ).

** Подтип ландшафта выделен по характеру антропогенной деятельности (строительство зданий и сооружений; прокладка авто-, железных дорог, продуктопроводов; проведение осушительных мероприятий в границах сельхозугодий; распашка земель; оставление земель под залежь; проведение осушительных мероприятий в границах территорий лесного фонда; осушение болот; вырубки лесов; сохранение болот и лесов).

Использована классификационная система антропогенных ландшафтов Милькова (1973 г.).

Почвы залежей (постагрогенные агроземы, агропочвы) распространены на территориях бывших сельскохозяйственных угодий, в настоящее время находящихся под лесом, но сохранивших следы былого освоения. Это территории с мелиоративными канавами, старыми рубками. Основная масса залежных земель выделена на территории Карельского перешейка, особенно в северной его части (север Выборгского, Приозерский р-нов), где с давних времен жили Финские поселения.

Вдоль авто- и железных дорог, в местах заложения продуктопроводов по всей территории ЛО, в зависимости от характера антропогенной трансформации, выделены контуры стратифицированных, абрадированных и турбированных почв. Стратифицированные почвы сформировались в результате искусственного привноса материала (мощность стратифицированной толщи < 40 см), абрадированные – при механическом срезании верхнего диагностического горизонта почвы, турбированные – при механическом перемешивании материала диагностических горизонтов почвы [3]. Также турбированные, стратифицированные почвы распространены на территориях вырубок, военных полигонов. Большие контуры турбированных почв выделены в восточных районах ЛО.

При осушении глеевых типов почв широко распространенных на территории ЛО, вследствие изменения водно-воздушного режима, формируются, соответственно, окисленно-глеевые подтипы, выделенные в мелиоративно-лесных и агромелиоративных ландшафтах на ЦПК. На территориях интенсивной добычи и переработки торфа (Всеволожский, Тосненский, Кировский р-ны ЛО) выделены контуры торфоземов.

Антропогенные почвы. Это почвы, профиль которых сконструирован человеком. Верхний горизонт таких почв состоит из материала гумусового горизонта естественных почв, свойства которого частично сохранились, а частично трансформировались под воздействием города.

В условиях ЛО на территориях с застройками (селитебные, магистральные зоны) в комбинациях с непочвенными образованиями выделены интродуцированные почвы, имеющие в своем строении привнесенный гумусовый горизонт мощностью менее 40 см, лежащий на породе, которая является для него подстилающей, а не материнской (почвообразующей) [2]. В местах обнажения породы вследствие техногенного воздействия (добычи полезных ископаемых, заложения продуктопроводов, строительства водохранилищ, зданий, сооружений) выделены непочвенные образования.

Комбинации интродуцированных почв с непочвенными образованиями занимают довольно большую площадь территории ЛО, которая составляет 334 км².

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На территории Ленинградской области выделены различные в зависимости от рода деятельности человека ландшафты, основными из которых являются: лесохозяйственные, сельскохозяйственные, урбанизированные, болотные.

В данных ландшафтах выявлено большое количество структур почвенного покрова, компонентами которых являются: естественные, антропогенно-измененные, антропогенные почвы и непочвенные образования.

Отмечено, что около 50 % территории ЛО занимают антропогенно-измененные почвы. Среди антропогенно-измененных преобладающими являются агрогенные почвы и почвенные комбинации (> 50 % от общего числа антропогенно-измененных почв). Широко распространены турбированные и подвергнутые осушительной мелиорации почвы (1/3 от общего числа антропогенно-измененных почв), а также комбинации антропогенных и естественных почв с НПО (50 % от общего числа почвенных комбинаций).

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреева Т.А. Цифровое среднемасштабное почвенное картографирование как основа региональной политики по рациональному природопользованию на примере Ленинградской области / Андреева Т.А., Сухачева Е.Ю., Апарин Б.Ф., Лазарева М.А., Казаков Э.Э. // Сборник материалов II Международной научно-практической конференции «Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. От идеи до внедрения». – 2017. – С. 262–266.

2. Апарин Б.Ф. Принципы создания почвенной карты мегаполиса (на примере Санкт-Петербурга) / Б.Ф. Апарин, Е.Ю. Сухачева // Почвоведение. – 2014. – № 7. – С. 790–802.
3. Классификация и диагностика почв России / Почв. ин-т им. В.В. Докучаева Рос. акад. с.-х. наук и др.; [Л.Л. Шишов и др. Отв. ред. акад. РАН, проф. Г.В. Добровольский. – 2-е изд., доп. и испр.]. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 341 с.
4. Красная книга почв Ленинградской области = Red data soil book of the Leningrad region / Б.Ф. Апарин, Г.А. Касаткина, Н.Н. Матинян, Е.Ю. Сухачева. – Санкт-Петербург: Аэроплан, 2007. – 315 с.
5. Лазарева М.А. Методика создания среднемасштабной почвенной карты Карельского перешейка / М.А. Лазарева // Материалы по изучению русских почв. – 2017. – № 9 (36). – С. 177–181.
6. Лазарева М.А. Структура базы данных цифровой среднемасштабной почвенной карты Ленинградской области / М.А. Лазарева // Тезисы докладов XXIV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов». – 2017. – С. 82–83.
7. Лисицкий Д.В. Основные принципы цифрового картографирования местности / Д.В. Лисицкий. – Москва: Недра, 1988. – 261 с.
8. Почвенное картирование: учебно-методическое пособие / Под ред. Б.Ф. Апарина, Г.А. Касаткиной. – Санкт-Петербург: СПбГУ, 2012. – 128 с.
9. Почвы Ленинградской области / Под ред. канд. с.-х. наук В.К. Пестрякова. – Ленинград: Лениздат, 1973. – 344 с.
10. Садовников И.Ф. Почвенные исследования и составление почвенных карт / И.Ф. Садовников. – Москва: Сельхозгиз, 1953. – 160 с.

Работа рекомендована проф. Б.Ф. Апариним.

УДК 332.37

МУНИЦИПАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В СФЕРЕ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ И ОХРАНЫ ПОЧВ (НА ПРИМЕРЕ МУНИЦИПАЛЬНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ТУЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ)

А.А. Мельникова

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

В статье рассматриваются правовые проблемы учета земельных ресурсов и управления ими на муниципальном уровне, на примере Тульской области. Не для всех районов наблюдается четкая зависимость урожайности от кадастровой стоимости и балла бонитета почв. Выявлено, что сведения о плодородии обобщаются на уровне районов без учета принадлежности почв к тому или иному типу. Для решения этой проблемы в оценке земельных ресурсов предлагается использовать метод кластерного анализа.

ВВЕДЕНИЕ

Полномочия муниципальных образований в сфере управления земельными ресурсами и охраны почв регулируются двумя Федеральными Законами: № 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в РФ» и Земельным Кодексом. Согласно № 131-ФЗ органы местного самоуправления определяют условия землепользования и осуществляют контроль над ними. Эти функции реализуются через разработку генеральных планов, правил землепользования, осуществление муниципального земельного контроля [5]. Земельный Кодекс трактует полномочия муниципальных властей более широко, относя к их компетенции установление правил землепользования, разработку местных программ использования и охраны земель, изъятие земель и иные полномочия [3].

По состоянию на 1 января 2015 г. на территории РФ насчитывается 22923 муниципальных образований. В каждом из них необходима реализация перечисленных выше функций. Зачастую для этого не хватает специалистов и средств. Муниципальные власти не обладают полной информацией о имеющихся в их распоряжении земельных ресурсах.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Цель работы: оценить эффективность управления земельными ресурсами муниципальных образований Тульской области.

Объект исследования – почвенные и экономические показатели, характеризующие состояние земельных ресурсов Тульской области.

В работе применялись методы кластерного анализа, ГИС технологий, сравнения и обобщения.

Для оценки эффективности управления сельскохозяйственным землепользованием муниципальных образований Тульской области использован подход, предложенный Р.А. Ждановой [2].

Для оценки состояния земельных ресурсов на уровне области нами предлагается использовать кластерный анализ (методом Варда) [4] по следующим показателям: подвижный фосфор, обменный калий, рН, гумус, урожайность картофеля, овощей и зерновых. Данные для анализа взяты из Доклада о состоянии и использовании земель в Тульской области в 2016 году и Территориального органа Федеральной службы государственной статистики по Тульской области [1].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

На рис. 1 представлена диаграмма, демонстрирующая состояние различных показателей в разрезе районов области. Из рисунка видно, что балл бонитета более объективно отражает уровень урожайности пшеницы, чем кадастровая стоимость. Между тем, величина налога на землю определяется на основе ее кадастровой стоимости. Видно, что в Дубенском, Киреевском, Суворовском районах урожайность ниже, чем в других. Это соответствует баллу бонитета. При этом кадастровая стоимость находится примерно на одном уровне. Заниматься сельскохозяйственной деятельностью в этих районах менее рентабельно. Следует привести размер кадастровой стоимости к уровню фактической урожайности культур.

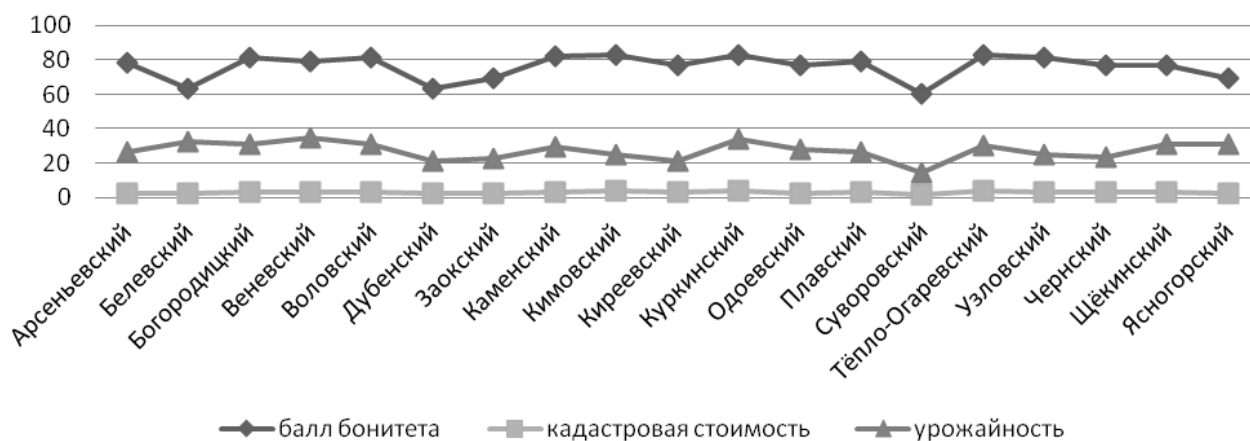


Рисунок 1. Диаграмма сравнения валовой продукции сельского хозяйства, кадастровой стоимости и балла бонитета.

Для управления земельными ресурсами на уровне субъекта проведен кластерный анализ. Районы были разделены на три кластера. Основные характеристики кластеров приведены в табл. 1.

Таблица 1. Значения урожайности и почвенных показателей, характеризующих кластеры.

Кластер	Подвижный фосфор, мг/кг	Обменный калий, мг/кг	рН	Гумус, %	Урожайность, ц/га		
					картофеля	овощей	зерновых
Кластер 1	127.0–165.6	126.3–172.0	5.1–5.5	2.5–6.0	97.9–137.4	198.3–259.3	22.8–38.5
Кластер 2	88.0–145.2	84.0–127.0	5.0–5.6	2.1–5.5	100.6–132.3	209.7–239.2	12.6–31.1
Кластер 3	115.0–160.3	114.4–151.2	5.1–5.5	3.8–5.8	140.1–246.1	210.4–220.3	27.1–35.9

Видно, что интервалы значений показателей для разных кластеров пересекаются между собой. Поэтому без применения методов кластеризации, выделить их было бы невозможно.

Для того чтобы определить связано ли получившееся разбиение на кластеры с почвенными ареалами обратимся к рис. 2. На нем показано территориальное расположение районов, относящихся к различным кластерам.

Сравнивая полученные результаты с почвенной картой Тульской области, можно заключить, что к первому кластеру относятся районы, в которых преобладают выщелоченные и оподзоленные черноземы, за исключением Алексинского района, для которого характерны серые лесные почвы. Попадание данного района в эту группу можно объяснить эффективной системой землепользования. Ко второму кластеру относятся районы, на территории которых преобладают дерново-подзолистые и серые лесные почвы. В третий кластер попали районы, на территории которых серые лесные почвы и черноземы присутствуют примерно в равном соотношении. Исключением является Воловский район, вся территория которого занята черноземами различных типов. Можно прийти к выводу, что в данном районе земельные ресурсы используются неэффективно.

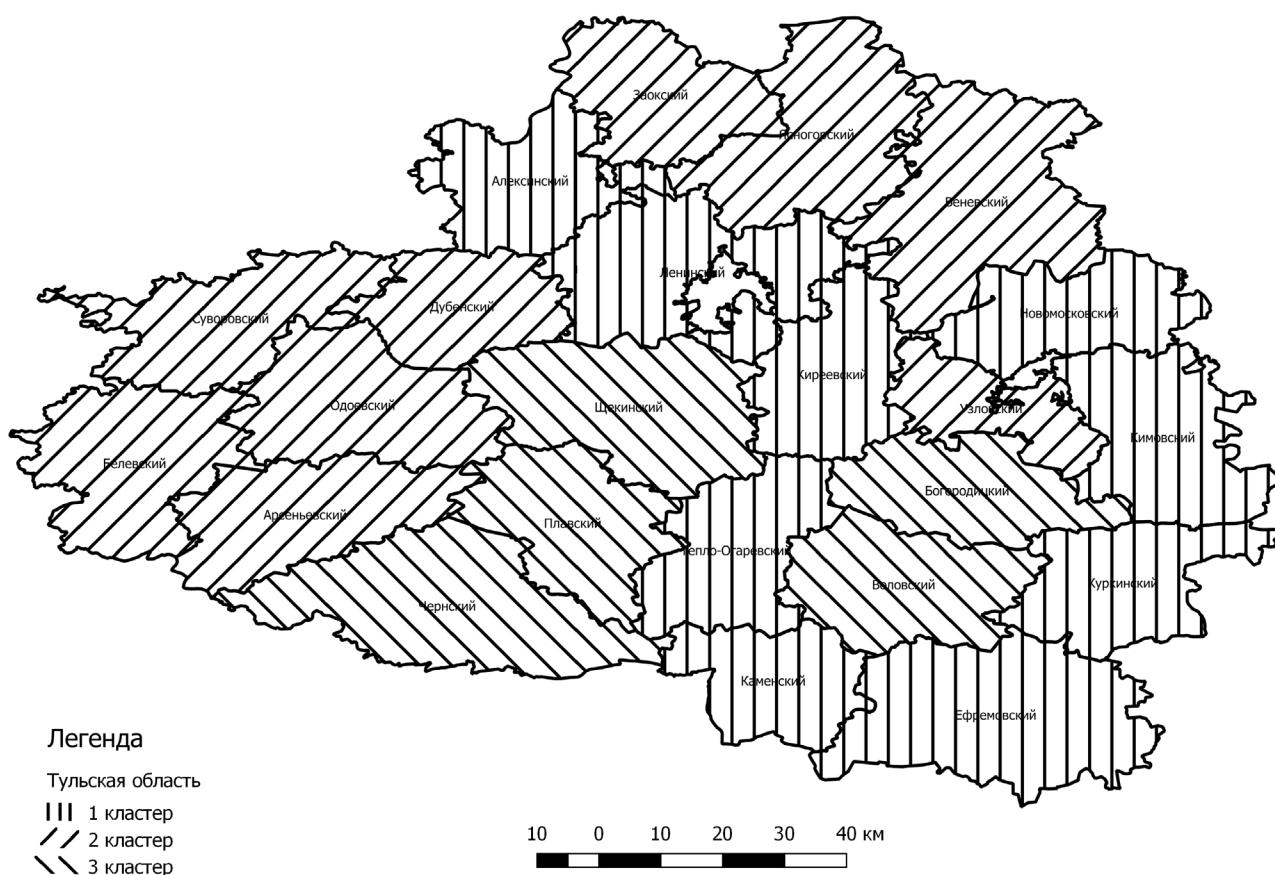


Рисунок 2. Картограмма разбиения муниципальных образований на кластеры по показателям плодородия и урожайности

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По уровню плодородия и величине урожайности территория области разделяется на три кластера. На первый взгляд урожайность сельскохозяйственных культур и даже почвенные свойства (за исключением содержания гумуса) не сильно зависят от преобладающего в муниципальном образовании типа почв. Однако проведенный кластерный анализ показывает, что урожайность и показатели плодородия связаны с типом почвы.

Необходимо разработать федеральную программу по организации эффективного землепользования на территории Тульской области. Прежде всего, требуется пересмотреть размер кадастровой стоимости земель и привести его в соответствие с реальной урожайностью и баллом бонитета.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Доклад о состоянии и использовании земель в Тульской области в 2016 году*; <https://rosreestr.ru/site/open-service/statistika-i-analitika/svedeniya-o-sostoyanii-i-ispolzovanii-zemel/> (дата обращения 05.04.2018 г.)
2. *Жданова Р.А.* Эффективность управления сельскохозяйственным землепользованием муниципальных образований на основе кадастровой информации. дисс. канд. эконом. наук. М.: ГУЗ. 2010. 162 с.
3. *Земельный кодекс РФ* по сост. на 01.03.18 с таблицей изменений и с путеводителем по судебной практике // М.: Проспект. 2018. 224 с.
4. *Мандель И.Д.* Кластерный анализ. М.: Финансы и статистика. 1988. 176 с.
5. *Федеральный закон РФ № 131-ФЗ «Об общих принципах организации местного самоуправления в Российской Федерации»* // Собрание законодательства РФ. 2003. № 40.

Работа рекомендована д.б.н., заслуженным профессором, зав. каф. «Земельных ресурсов и оценки почв» МГУ имени М.В. Ломоносова А.С. Яковлевым.

УДК 631.4

СОДЕРЖАНИЕ ЕСТЕСТВЕННЫХ РАДИОНУКЛИДОВ (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K) В ПОЧВАХ ЮЖНОГО БЕРЕГА КРЫМА 1926 ГОДА ОТБОРА

Е.В. Мингареева

ФГБНУ Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева, г. Санкт-Петербург,
ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт
радиологии и агроэкологии, г. Обнинск

Исследована удельная активность естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K в образцах двух буроземов (типичном и оподзоленном), сформированных на элюво-делювии карбонатов и карбонатных глинистых отложениях. Почвенные монолиты были заложены в 1926 году на территории Южного берега Крыма Прасоловым Л.И. Установлено содержание естественных радионуклидов в почвах и почвообразующих породах. Проведено сравнение содержания естественных радионуклидов в почвах, сформированных на разных типах почвообразующих пород.

ВВЕДЕНИЕ

Земная кора является основным резервуаром естественных радионуклидов на Земле. Естественные радиоизотопы широко распространены в земной коре, поэтому в той или иной мере человек находится в поле их излучения. Вместе с другими элементами радионуклиды входили в состав первичного вещества, из которого была сформирована Земля [10].

До середины XX в. природные источники ионизирующих излучений были единственными в облучении человека, создавая естественный радиационный фон [2, 3, 5]. Основным дозообразующим компонентом естественного радиационного фона, к которому адаптирована биота, было космическое излучение и излучение природных радионуклидов, содержащихся в почве, воде и воздухе.

В связи с этим, исследования содержания естественных радионуклидов (ЕРН) в почвах и почвообразующих породах имеют важное значение для оценки степени радиационного загрязнения почв и окружающей среды и разработки мероприятий по охране окружающей среды и предотвращению последствий загрязнения.

В современной научной литературе можно найти данные по содержанию радионуклидов в почвах, но они сильно усреднены и не учитывают всех особенностей почвообразования. Так по данным Sources and Effects of Ionizing Radiation [11] типичные диапазоны содержания ЕРН в почвах Мира и их средние значения (ΔX) составляют: ^{226}Ra , 17–60 Бк/кг, $\Delta X =$

35 ± 4 Бк/кг; ^{232}Th , 11–64 Бк/кг, $\Delta X = 33 \pm 3$ Бк/кг; ^{40}K , 140–850 Бк/кг, $\Delta X = 400 \pm 24$ Бк/кг. Также в научной литературе можно найти данные по содержанию радионуклидов в различных типах почв и геологических породах, но они также не позволяют в полной мере привязать их к району с конкретными условиями почвообразования [9]. При этом не известна методика пробоотбора образцов (цели исследования, глубина отбора и др.).

Уникальную возможность для проведения комплексного почвенно-экологического мониторинга почв разных регионов России, в частности, исследование содержания радионуклидов в разных типах почв и почвообразующих породах, а также оценки изменения этих параметров со временем дают коллекции почвенных монолитов и образцов хранящиеся в ФГБНУ Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева (ЦМП) [4].

Цель работы – исследование содержания естественных радионуклидов ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K как составной части почвенно-экологического мониторинга в почвах буроземах южного берега Крыма (ЮБК) с использованием коллекции монолитов ЦМП.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами явились почвенные образцы из 2 почвенных монолитов, отобранные Прасоловым Л.И. в 1926 г. на территории ЮБК. Первая почва (Р.1168; авторское название – бурая горно-лесная почва сильнооподзоленная) – бурозем оподзоленный [6] на элюво-делювии карбонатных отложений, расположенный под дубово-грабовым лесом. Почвенный разрез заложен на вершине горы Кагель (438 м над уровнем моря), являющаяся в настоящее время памятником природы. Вторая почва (Р.1283; авторское название – бурая горно-лесная почва) – бурозем типичный [6] на карбонатных глинистых отложениях, расположенный под буково-ясеневым лесом, и, заложен на территории бывшего Царского заказника, реорганизованного в Крымский природный заповедник в 1923 году [7].

Почвенные монолиты, доведенные до воздушно-сухого состояния, хранились при комнатной температуре в фондах Музея. Образцы из монолитов отбирались послойно – каждые 5 (10) см. Пробоподготовка и последующий анализ образцов проводились однотипно и по общепринятым методикам [4].

Удельная активность радионуклидов (^{226}Ra , ^{232}Th , ^{40}K , ^{137}Cs) определялась методом гамма-спектрометрии [1] в ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии в образцах с глубин: 0–5 см, 5–10 (0–10) см, 10–20 см и 40–50 см.

Статистическая обработка полученных данных проводилась методом описательной статистики (среднее арифметическое (ΔX), стандартное отклонение (σ), коэффициент вариаций (V_σ)) и расчета корреляционных взаимосвязей [8].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Радий-226. Диапазон удельной активности (R_A) ^{226}Ra во всех образцах почв 1926 г. отбора варьирует в пределах 12.2–31.1 Бк/кг (среднее значение, $\Delta X = 20.8$ Бк/кг; стандартное отклонение, $\sigma = 7.8$ Бк/кг) (рис.1). бурозем оподзоленный Р.1168 (г. Кагель) имеет более низкие значения R_A по профилю в отличие бурозема типичного Р.1283 (Крымский природный заповедник).

Содержание радия-226 в почвообразующей породе обеих почв составляет 13.2–30.3 Бк/кг ($\Delta X = 21.8$ Бк/кг, $\sigma = 9.7$ Бк/кг). Стоит отметить, что в почвообразующей породе Р.1283 отмечено практически самое высокое содержание радионуклида (по абсолютным значениям) по отношению к профилю почвы и почти в два с половиной раза больше, чем в почвообразующей породе Р.1168. Содержание ^{226}Ra в слое 0–5 см обеих почв практически такое же как и в почвообразующих породах, хотя по абсолютным значениям диапазон несколько шире – 12.2–31.1 Бк/кг ($\Delta X = 21.5$ Бк/кг, $\sigma = 10.4$ Бк/кг). Коэффициент вариаций для обеих почв в поверхностном слое (0–5 см) и почвообразующей породе высокий и составляет – 48.5 и 44.7 %, соответственно. На основании литературных данных и статистической обработки полученного материала, $V_\sigma > 30$ %, был принят как показатель неоднородности R_A ЕРН.

По распределению ^{226}Ra по профилю бурозем оподзоленный характеризуется увеличением активности радионуклида до глубины 10–20 см. В почвообразующей породе этой почвы содержание практически такое же как на глубине 0–5 см. В буроземе типичном Р.1283 распределение ^{226}Ra по профилю отличается от Р.1168. Наиболее высокая R_A наблюдается в слое 0–5 см. Ниже на глубине 5–10 см удельная активность уменьшается (до 24.2 Бк/кг), а в слое 10–20 см она (активность) практически такая же как и в 5–10 см. В почвообразующей породе содержание радия-226 близкое к значениям с глубины 0–5 см. Стоит отметить, что для почв 1926 г. отбора (для каждой в отдельности) характерны близкие значения R_A в слоях 0–5 см и почвообразующей породе. В целом, в буроземе на карбонатных глинистых отложениях R_A ^{226}Ra почти вдвое выше, чем в буроземе на элювии карбонатных отложений. Стоит отметить, что разница в удельной активности радия-226 между глубинами для обеих почв незначительная и находится в пределах погрешности.

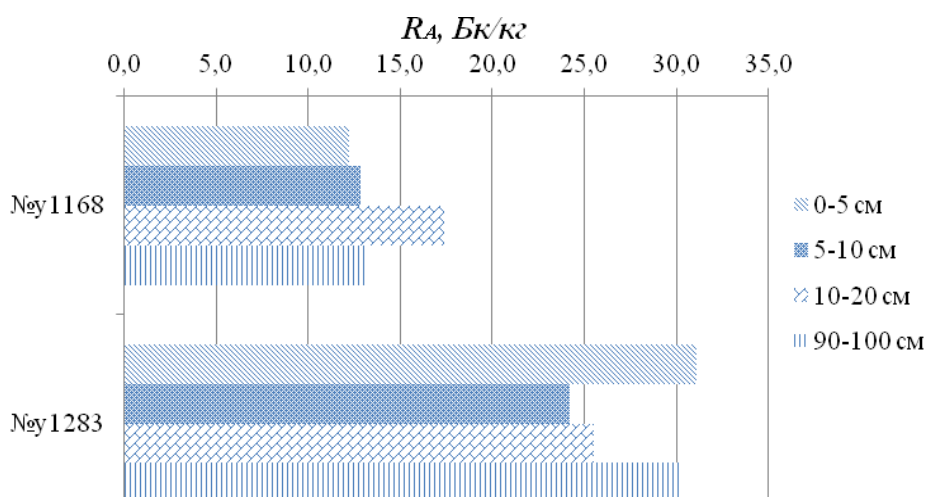


Рисунок 1. Удельная активность ^{226}Ra в почвах на глубине 0–5 см, 5–10 см 10–20 см и 90–100 см.

Торий-232. Диапазон R_A ^{232}Th в обеих почвах составляет 24.7–56.9 Бк/кг ($\Delta X = 39.3$ Бк/кг, $\sigma = 12.8$ Бк/кг) и определяется содержанием радионуклида в почвообразующей породе ($\Delta X = 41.0$ Бк/кг, $\sigma = 18.2$ Бк/кг) (рис. 2). При этом, как и в случае с радием-226, почва Р.1168 содержит практически вдвое меньше тория-232, чем Р.1283.

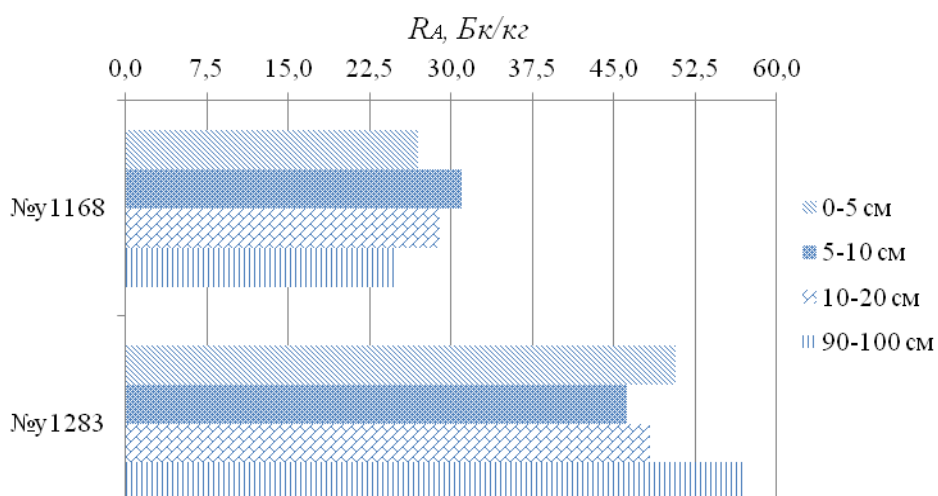


Рисунок 2. Удельная активность ^{232}Th в почвах на глубине 0–5 см, 5–10 см 10–20 см и 90–100 см.

Содержание тория-232 в слое 0–5 см для обеих почв близко (в пределах погрешности) к содержанию в почвообразующей породе (40–50 см), но по абсолютным значениям диапазон в слое 0–5 см более узкий: 27.0–50.7 Бк/кг ($\Delta X = 38.9$ Бк/кг, $\sigma = 13.7$ Бк/кг). $V\sigma$ для слоя 0–

5 см и почвообразующей породы (так же как и для радия-226) оказался высоким: 35.4 и 44.4 %, соответственно.

По характеру распределения ^{232}Th по профилю бурозема оподзоленного Р.1168 слой 5–10 см выделяется наиболее высокой удельной активностью. Слои 0–5 см и 10–20 см близки по содержанию тория-232. В почвообразующей породе удельная активность радионуклида минимальна. В почве Р.1283 ситуация обратная: в слое 5–10 см удельная активность минимальная, а в почвообразующей породе – максимальная. Значение удельной активности тория-232 в слоях 0–5 см и 10–20 см близки (в пределах погрешности) и занимает промежуточное положение. Стоит отметить, что разница в удельной активности тория-232 между глубинами для обеих почв несущественная и находится в пределах погрешности.

Калий-40. Диапазон R_A ^{40}K в обоих буроземах очень широкий и варьирует в пределах от 27.0 до 964.0 Бк/кг ($\Delta X = 438.8$ Бк/кг, $\sigma = 365.3$ Бк/кг) (рис. 3). Этот диапазон определяется содержанием радионуклида в почвообразующей породе ($\Delta X = 495.5$ Бк/кг, $\sigma = 514.3$ Бк/кг). Как и в случае с радием-226 и торием-232, бурозем оподзоленный имеет существенно более низкие значения удельной активности (27–172 Бк/кг) и более узкий диапазон, чем бурозем типичный (675–964 Бк/кг).

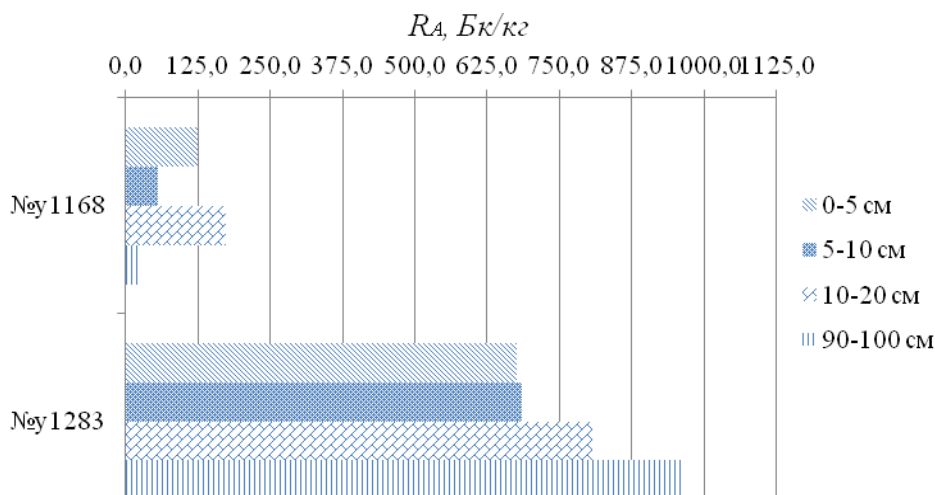


Рисунок 3. Удельная активность ^{40}K в почвах на глубине 0–5 см, 5–10 см 10–20 см и 90–100 см.

Содержание калия-40 в поверхностном слое (0–5 см) варьирует в более узком диапазоне, по сравнению с почвообразующей породой: от 125 до 675 Бк/кг ($\Delta X = 400.0$ Бк/кг, $\sigma = 303.5$ Бк/кг). В отличие от радия-226 и тория-232, разница в R_A между слоем 0–5 см и почвообразующей породой для обеих почв существенная (125 и 27 Бк/кг, соответственно – для бурозема оподзоленного (Р.1168) и 675 и 964 Бк/кг, соответственно – для бурозема типичного (Р.1283)).

Характер распределения R_A ^{40}K по профилю в обеих почвах отличается. В почве буроземе оподзоленном минимальная удельная активность приурочена к глубинам 5–10 см и 40–50 см, а максимальная – к 0–5 см и 10–20 см. В буроземе типичном (Р.1283) содержание ^{40}K увеличивается с глубиной.

Техногенный ^{137}Cs в исследуемых образцах почв обнаружен не был, его удельная активность ниже чувствительности прибора. Это объясняется, в первую очередь, тем, что почвенные монолиты были отобраны до периода интенсивных ядерных испытаний (до 1945 г.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Удельная активность ЕРН в буроземе оподзоленном (Р.1168), сформированном элюво-делювии карбонатных отложений существенно ниже, чем в буроземе типичном на глинистых карбонатных отложениях.

Оба типа почвообразующих пород по содержанию ЕРН также сильно отличаются. В элюво-делювии карбонатных отложений удельная активность радия-226, тория-232 и ка-

лия-40 ниже (в особенности для калия), чем в карбонатных глинистых отложениях. Возможно, такая разница связана с высокой сорбирующей способностью глин.

Разница в удельной активности ^{226}Ra и ^{232}Th между верхней частью профиля (0–5 см, 5–10 см и 10–20 см) и почвообразующей породой для каждой почвы в отдельности не существенная, в отличие от калия-40. Возможно, такая относительная однородность в R_A ^{226}Ra и ^{232}Th по профилю связана наследованием радионуклидов от почвообразующей породы, а также отсутствием техногенного загрязнения почв. Это, в частности, подтверждается отсутствием техногенного цезия-137 в образцах этих почв. Для калия-40 разница верхней части профиля (особенно для глубины 0–5 см) с почвообразующей породой, возможно, вызвана тем, что он, вместе с калием-39 (93.98 %) и калием-41 (6.91 %), образует природный элемент калий, который поглощается растениями из почвы, что в свою очередь, может приводить к его перераспределению по профилю почв.

По сравнению с данными содержания ЕРН в почвах Мира [11] исследуемые почвы характеризуются: существенно более узким диапазоном и более низким средним значением R_A ^{226}Ra ; более узким диапазоном и более высоким средним значением, но при этом, в пределах стандартного отклонения, R_A ^{232}Th . Диапазон R_A ^{40}K в исследуемых почвах более широкий в сравнении с данными Sources and Effects of Ionizing Radiation [11], при этом разница в средних значениях R_A не существенная.

Исследуемые почвы 1926 г. отбора не содержат техногенного ^{137}Cs и отобраны до начала периода интенсивных ядерных испытаний, т.е. до 1945 г. Полученные данные по содержанию в этих почвах ЕРН можно условно отнести к фоновым и использовать в целях почвенно-экологического мониторинга.

ЛИТЕРАТУРА

1. Активность радионуклидов в счетных образцах. Методика измерений на гамма-спектрометрах с использованием программного обеспечения «SpectraLine». Менделеево, 2014. 27 с.
2. Архипов Н.П., Федоров Т.А., Февралева Л.Т. Соотношение форм соединений тяжелых естественных радионуклидов в почвах / Почвоведение, 1986. № 1. С.69–72.
3. Василенков С.В. Особенности вертикальной миграции радионуклидов на склоновых землях / Вестник БГСХА № 1 (2012), с. 11–13.
4. Воробьева Л.А. (ред.) Теория и практика химического анализа почв. Монография. – М.: ГЕОС, 2006. – 400 с., ил.
5. Искра А.А., Бахуров В.Г. Естественные радионуклиды в биосфере. М.: Атомиздат, 1981. 124 с.
6. Классификация и диагностика почв России / Авторы и составители: Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. – Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
7. Официальный сайт Крымского природного заповедника <http://zapovednik-crimea.udprf-crimea.com>
8. Попов А.И., Игамбердиев В.М., Алексеев Ю.В. Статистическая обработка экспериментальных данных. – СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2009. – 50 с.
9. Радиоактивность литосферы. <http://phys.rsu.ru/web/nuclear/radioecologie/fRE6.htm>
10. Радиационная обстановка на территории России и сопредельных государств в 2013 году. Ежегодник. / Обнинск. 2014. 358 с.
11. Sources and effects of ionizing Radiation / United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Report to the General Assembly, with annexes. 2008 V.1. Sources. N.Y.: United Nations, 2008. 463 p.

Работа рекомендована проф. Б.Ф. Апариным.

ВЛИЯНИЕ ГЕОЛОГО-ЛИТОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА СВОЙСТВА ПОЧВ ЗАПОВЕДНОГО УЧАСТКА «БУРТИНСКАЯ СТЕПЬ» (ОРЕНБУРГСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Д.В. Михайлова

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

Приводятся результаты полевых почвенных исследований 2017 г ключевого участка «Буртинская степь» Оренбургского государственного заповедника. Описаны морфологические и физико-химические свойства почв. Дана сравнительная характеристика почв, формирующихся в различных геолого-литологических условиях.

ВВЕДЕНИЕ

Оренбургская область, в силу специфики ее географического положения на стыке между физико-географическими странами (Русской равниной, Уральскими горами, и Западной Сибирью), и природными зонами (степной и лесостепной), отличается контрастностью природных условий [7]. Это предопределяет высокое разнообразие почв.

Пестрый почвенный покров южной части Предуралья, где проводились исследования, во многом связан с неоднородностью почвообразующих пород, распространенных на данной территории. Они рассматриваются как один из важнейших факторов создания разнообразия генетических форм и качественных особенностей почв [3, 5, 6].

Однако из-за практически повсеместного хозяйственного использования территории области в настоящее время редко встречаются ландшафты и почвы, не затронутые антропогенными преобразованиями [7]. Исследования почв на территории заповедников позволяют получить представление о свойствах природных, «эталонных» почв.

Целью работы является сравнительная характеристика свойств почв Буртинской степи, формирующихся в различных геолого-литологических условиях.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Буртинская степь является одним из пяти ключевых участков государственного природного заповедника «Оренбургский». Она находится в Беляевском районе Оренбургской области в 25 км к юго-востоку от села Беляевка.

Буртинская степь расположена в восточной части Предуралья с преобладающим пологим залеганием пластов. Наиболее распространенными коренными породами на участке являются пестроцветные конгломераты с прослоями песчаников пермского возраста и юрские галечники и глины [4, 7]. Геологическое строение осложняется Тузлуккольской соляной антиклиналью, образованной кунгурской сульфатно-галогенной толщей. Ее соляное ядро близко подходит к поверхности на северо-западе участка исследований. Влияние соляной тектоники на участке проявляется и в формировании карстовых форм рельефа: впадин, блюдца в пределах Тузлуккольского карстового поля [1, 4].

Большая часть исследованной территории Буртинской степи покрыта маломощными четвертичными отложениями, представленными, в основном, современным элювием или элюво-делювием коренных пород [4, 7]. Для них характерна высокая каменистость, обусловленная включениями гальки и гравия, отпрепарированных от конгломератов и галечников. Отсутствие мощного сплошного покрова рыхлых четвертичных отложений обуславливает резкое влияние коренных пород на свойства почв.

Полевые почвенные исследования проводились на северо-западе заповедного участка «Буртинская степь» и прилегающей к нему с запада территории. Названия почв и почвенных горизонтов определялись в соответствии с «Классификацией и диагностикой почв России» (2004) [2]. Было отобрано 88 проб из средней части генетических горизонтов для дальнейшего химического и гранулометрического анализа.

Во всех отобранных образцах определены содержание углерода органических соединений (C_{org}) по методу Тюрина, элементный состав почв методом РФА, гранулометрический состав методом лазерной гранулометрии, в водной вытяжке 1:5 измерены физико-химические показатели: pH_{H_2O} и электропроводность. Статистическая обработка данных проводилась в пакетах STATISTICA 12 и MS Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Почвы участка отличаются малой мощностью, как всего профиля, так и отдельных горизонтов. Это связано с особенностями литологической основы – грубых продуктов выветривания плотных пород. Большое количество каменистых включений: (галька, гравий и дресва) встречается уже в верхних горизонтах почв, их количество значительно увеличивается к нижней части профиля, что препятствует развитию корневых систем растений [6]. Почвенная масса, как правило, слабо оструктурена.

Зональные почвы – чернозёмы – формируются на относительно рыхлых, но также каменистых элювиально-делювиальных суглинках, преимущественно на плоских или слабонаклонных поверхностях, в нижней части крупных склонов. Для них характерны укороченный гумусовый горизонт мощностью менее 40 см (чаще всего от 25 до 35 см), неполное развитие горизонта В и резкие границы между генетическими горизонтами. Содержание гумуса низкое (в среднем 3.1 % в гумусовом горизонте). Вскипание от HCl наблюдается, как правило, уже в верхнем горизонте, в горизонте ВСА встречаются обильные карбонатные новообразования в форме белоглазки. pH_{H_2O} нейтральный или слабощелочной, увеличивается с глубиной (в среднем 7.4 в горизонте AU и 7.8 в горизонте ВСА). Изученные почвы были классифицированы как чернозёмы сегрегационные с профилем AU-ВСА-Сса.

Карбо-литозёмы формируются на плотном элювии коренных пород, которые широко встречаются на обследуемом участке. Для почв характерно довольно высокое (в среднем 3.9 %) содержание гумуса в верхнем горизонте, которое несколько выше, чем в чернозёмах этой местности. Вероятно, это связано с тем, что карбо-литозёмы формируются на возвышенностях, которые сложены наиболее трудно выветриваемыми породами. Несмотря на относительно небольшое (порядка 60–100 м) превышение над основным высотным уровнем, они оказываются больше увлажнены, что создает лучшие условия для развития растительности и гумификации. pH_{H_2O} слабощелочной, в среднем 7.5. Почвы вскипают с поверхности, также с поверхности встречаются карбонатные новообразования в форме карбонатных кутан – натеков по граням каменистых включений. Данные почвы отличаются более легким гранулометрическим составом по сравнению с чернозёмами (рис.). Это обусловлено различиями в почвообразующих породах: элювиально-делювиальные суглинки изначально более выветрелые и содержат больше тонких фракций. Содержание валового фосфора в карбо-литозёмах в 2.5 раза превышает его среднее содержание в других почвах.

На выходах пород, приуроченных к Тузлуккольскому соляному куполу: кунгурских солей и гипсов, формируются солончаки хлоридно-сульфатные. Максимум солей (до 2 %) отчетливо выражен в верхнем горизонте. Содержание гумуса низкое, не превышает 1.5 % в верхнем горизонте. Гранулометрический состав этих почв наиболее тяжелый на участке, с высоким (до 35 %) содержанием илистой фракции. Значения pH_{H_2O} щелочные, варьируют от 8.3 до 9.4, увеличиваются вниз по профилю. По сравнению с остальными почвами участка в них наблюдается повышенное (в среднем в 1.9 раза) содержание Sr.

ВЫВОДЫ

1. Контрастность почвообразующих пород предопределила структуру почвенного покрова Буртинской степи: он представлен сочетанием карбо-литозёмов, формирующихся на маломощном каменистом элювии пермских конгломератов и чернозёмов сегрегационных на элювиально-делювиальных суглинках. Также встречаются мелкие ареалы солончаков на выходах кунгурских солей.

2. Влияние геолого-литологического фактора обуславливает формирование в Буртинской степи малоразвитых, каменистых, высококислотных чернозёмов с низким содержанием гумуса.

3. Карбо-литозёмы отличаются более легким гранулометрическим составом по сравнению с чернозёмами, также в них несколько более высокое содержание гумуса и валового фосфора.

4. Солончаки наследуют химизм пород Тузлуккольского соляного купола: для них характерен хлоридно-сульфатный тип засоления. Среди всех исследованных почв они отличаются наиболее щелочными значениями pH, самым тяжелым гранулометрическим составом, повышенным содержанием Sr.

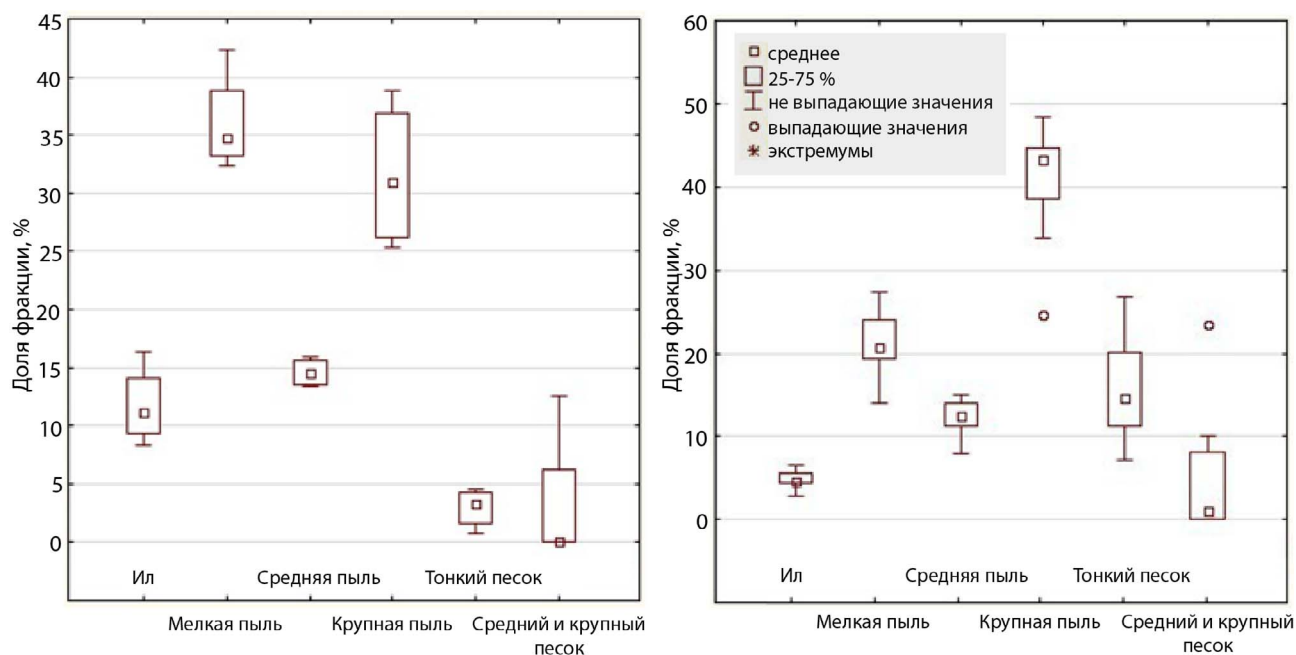


Рисунок. Распределение по фракциям гранулометрического состава чернозёмов (слева) и карбо-литозёмов (справа).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Геоэкологические проблемы степного региона* / под ред. члена-корр. РАН А.А. Чибилева. Екатеринбург: УрО РАН, 2005. 379 с.
2. *Классификация и диагностика почв России*. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
3. Мильков Ф.Н. Общая характеристика природы Чкаловской области // *Очерки физической географии Чкаловской области*. Чкалов: Чкаловское издательство. 1951б. с. 5–26.
4. *Степной заповедник «Оренбургский»: физико-географическая и экологическая характеристика*. Екатеринбург: УрО РАН, 1996. 167 с.
5. *Урал и Приуралье*. М.: Наука, 1968. 463 с.
6. *Чернозёмы СССР (Поволжье и Предуралье)*. М.: Колос, 1978. 304 с.
7. Чибилёв А.А. *Заповедник «Оренбургский»: история создания и природное разнообразие*. Екатеринбург: УрО РАН, 2014. 138 с.

Работа рекомендована к.б.н., доц. П.П. Кречетовым.

СОДЕРЖАНИЕ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ
В ПОЧВАХ, НАХОДЯЩИХСЯ В ЗОНЕ ЭМИССИИ НОВОЧЕРКАССКОЙ ГРЭС

Я.А. Попилешко, С.Н. Сушкова, Е.М. Антоненко, Т.М. Минкина

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

АННОТАЦИЯ

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – мутагены первого класса опасности, которые устойчивы к процессу деградации за счет их гидрофобности. Так как данные соединения оказывают негативное воздействие на все живые организмы, тщательное изучение данных соединений является актуальным. В данной работе изучены уровни содержания 16 ПАУ в почвах, находящихся в зоне эмиссии Новочеркасской ГРЭС (НчГРЭС). Изучение количественного содержания ПАУ выполнялось методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на жидкостном хроматографе (Agilent 1260 Germany 2014) с флуориметрическим детектированием. Извлечение ПАУ из почв проводилось методом омыления. Установлено, что в составе ПАУ в почвах исследуемой территории за 2017 год преобладают высокомолекулярные 4–5-ти кольчатые ПАУ, а также 3-х кольчатый фенантрен. Наибольшее загрязнение почв ПАУ обнаружено в С-3 направлении в радиусе до 5 км от НчГРЭС с максимумом накопления на расстоянии 1.6 км (до 2352 нг/г). По мере дальнейшего удаления суммарная концентрация ПАУ снижается до 50 % на расстоянии 20.0 км на С-3. Аналогичные тенденции обнаружены для главного маркера, подлежащего обязательному контролю в почвах – бенз(а)пирена (БаП), ПДК которого превышены от 16 до 7 ПДК на расстоянии 1.6–20.0 км от НчГРЭС, соответственно.

ВВЕДЕНИЕ

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – это органические соединения, которые имеют в своей химической структуре два и более конденсированных бензольных кольца [1]. В природе встречаются при пиролизе целлюлозы, в пластах бурого и каменного углей, а также как продукт неполного сгорания при лесных пожарах и при промышленном сжигании ископаемого топлива. ПАУ – это канцерогены и мутагены первого класса опасности, отрицательно влияют на живые организмы, накапливаются в организме человека и не выводятся из него, вызывая, тяжелую болезнь этого времени, рак [2]. Оценка фактического риска требует точной информации о процессах, протекающих при содержании ПАУ, во всех средах и живых организмах, в качестве меры предосторожности.

В статье [1] показано, что в 66 % исследуемых образцов почв Москвы отмечено шестикратное превышения значения ПДК БаП, а в 31 % наблюдается превышение европейского норматива содержания БаП в почвах [3]. ПАУ в почвах тундровой зоны в основном представлены низкомолекулярными структурами [4]. При этом, максимально допустимый уровень суммарного содержания ПАУ в почвах европейской зоны составляет до 6118 нг/г. Однако, до сих пор не установлено фоновое суммарное содержание ПАУ в почвах черноземной зоны юга России. Имеются некоторые данные по уровням содержания БаП в почвах [5]. Вследствие не достаточного изучения данной темы, актуально исследование содержания ПАУ в почвах, находящихся в зоне эмиссии Новочеркасской ГРЭС.

Таким образом, в статье будет рассмотрено содержание ПАУ в почвах находящихся возле крупнейшего промышленного комплекса по выработке электрической энергии в городе Новочеркасске, использующего твердое топливо в виде угля низкой марки, что способствует выбросу большого количества ПАУ в окружающую среду. Данный промышленный комплекс называется, Новочеркасская ГРЭС (НчГРЭС), введен в эксплуатацию в 1965–1971 годах. В настоящее время НчГРЭС имеет 9 работающих энергоблоков и является основным источником электроэнергии в Ростовской области. Высота 1-ой дымовой трубы достигает 185 м, а 3-х остальных по 250 м [6]. Цель исследования – изучение содержания ПАУ в 20-см слое почв находящихся в зоне эмиссии НчГРЭС. В данной статье будут рассмотрены: моди-

фицированный метод извлечение ПАУ из почвы, впервые приведен ранжированный ряд 16 ПАУ, нами изученных и обнаруженных в почвах НчГРЭС.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В результате экологического мониторинга, который проводится с 2002 года, было выявлено, что НчГРЭС является основным маркером атмосферного воздуха, почвы не только в городе Новочеркасске, но и во всей Ростовской области и является основным загрязнителем окружающей среды. Выбросы НчГРЭС составляют примерно 30–40 % от общего количества выбросов промышленных предприятий области [7]. Для изучения уровней содержания ПАУ в зоне эмиссии НчГРЭС в 2017 году, производились отборы почвы с 12 мониторинговых площадок, находящихся на расстоянии 1–20 км от НчГРЭС. Почва отбирались с глубины 0–20 см. Часть приурочена к точкам единовременного отбора проб воздуха (точки № 1, 2, 3, 5, 6, 7), расположенных в радиусе 1–3 км вокруг источника загрязнения. Мониторинговые площадки № 4, 5, 8, 9, 10 были заложены в соответствии с линией преобладающего направления ветров. На рис. 1 приведена схема расположения мониторинговых площадок.



Рисунок 1. Карта-схема расположения мониторинговых площадок в зоне влияния НчГРЭС.

Номер площадки, ее удаленность и направление от НчГРЭС, координаты в системе WGS84:

- № 1 (Т1) 1.0 км на северо-восток ($47^{\circ}24'432''$ с. ш.; $40^{\circ}15'035''$ в. д.);
- № 2 (Т2) 3.0 км на юго-запад ($47^{\circ}22'605''$ с. ш.; $40^{\circ}12'418''$ в. д.);
- № 3 (Т3) 2.7 км на юго-запад ($47^{\circ}23'231''$ с. ш.; $40^{\circ}11'958''$ в. д.);
- № 4 (Т4) 1.6 км на северо-запад ($47^{\circ}23'941''$ с. ш.; $40^{\circ}12'245''$ в. д.);
- № 5 (Т5) 1.2 км на северо-запад ($47^{\circ}24'129''$ с. ш.; $40^{\circ}12'423''$ в. д.);
- № 6 (Т6) 2.0 км на северо-северо-запад ($47^{\circ}25'271''$ с. ш.; $40^{\circ}13'116''$ в. д.);
- № 7 (Т7) 1.5 км на север ($47^{\circ}25'280''$ с. ш.; $40^{\circ}13'088''$ в. д.);
- № 8 (Т8) 5 км на северо-запад ($47^{\circ}23'842''$ с. ш.; $40^{\circ}08'313''$ в. д.);
- № 9 (Т9) 15 км на северо-запад ($47^{\circ}25'595''$ с. ш.; $40^{\circ}01'935''$ в. д.);
- № 10 (Т10) 20 км на северо-запад ($47^{\circ}25'737''$ с. ш.; $40^{\circ}01'935''$ в. д.);
- № 11 (Т11) 1.0 км на юго-восток ($47^{\circ}38'959''$ с. ш.; $40^{\circ}23'396''$ в. д.);
- № 12 (Т12) 1.1 км на юг ($47^{\circ}39'602''$ с. ш.; $40^{\circ}24'456''$ в. д.).

Большая часть территории в НчГРЭС занята черноземом обыкновенным карбонатным (Чо), помимо этого в исследуемой зоне в пойме реки Тузлов присутствует лугово-черноземная почва (ЛЧ) и аллювиальная почва (АЛ) [8].

В отобранных образцах почв определяли ПАУ методом высокоэффективной жидкостной хроматографии на жидкостном хроматографе (Agilent 1260 Germany 2014) с флуориметрическим детектированием. Почвенные образцы подготавливались для химического анализа в соответствии с требованиями ГОСТ 17.4.4.02-84. Извлечение ПАУ из почв и растений исследуемых объектов проводилось методом омыления (РД 52.10.556-95, 2002). Повторность определения 3-х кратная. Метод омыления делится на три этапа:

1. Омыление
2. Гексановый экстракт
3. Ацетонитрил.

Анализируемый раствор переносится в вialу и загружаем в хроматограф.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Исследование содержания ПАУ 2017 г. в 20-см слое почв мониторинговых площадок, расположенных в зоне аэротехногенного воздействия НчГРЭС, показало интенсивное накопление полиаренов. Также, как и в предыдущие годы [9–11], максимум содержания ПАУ приходится на площадки мониторинга, наиболее близко расположенные к источнику эмиссии в северо-западном (С-З) направлении, совпадающим с преобладающим направлением ветров на местности за исследуемый период. Резкое уменьшение содержания ПАУ в почве площадки мониторинга Т8 (5.0 км на С-З) – 1484.90 ± 27.4 нг/г, по сравнению с Т4 (1.6 км на С-З) – 2352.93 ± 17.6 нг/г (более, чем в 3.5 раза), указывает на то, что территория распространения наиболее густого дымового шлейфа, содержащего максимальное количество поллютанта, составляет около 5.0 км в С-З направлении, а максимальные выпадения осуществляются на расстоянии около 1.6 км и снижаются на расстоянии 15.0 км на С-З до 1090.95 ± 12.9 нг/г (рис. 2). Уровни содержания и распределения ПАУ по почвенному профилю в большей степени зависели от типа почв, который обуславливал особенности поглощения поллютанта.

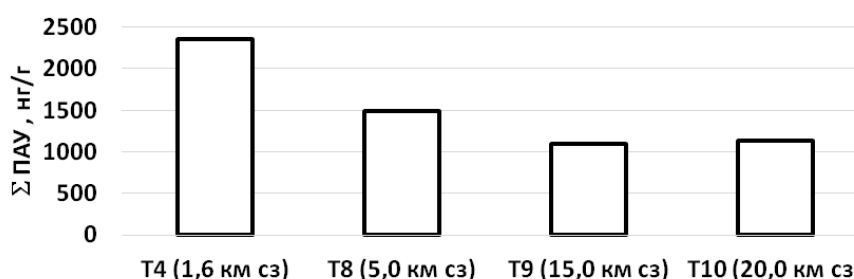


Рисунок 2. Суммарное содержание ПАУ в 20-см слое почв мониторинговых площадок, расположенных по линии преобладающего ветра в 2017 году.

Установлено, что содержание ПАУ в радиусе до 3 км вокруг НчГРЭС в северном/северо-восточном/северном/юго-восточном направлениях приближено к фоновым значениям для черноземов обыкновенных и лишь незначительно превышает фоновые значения в почве площадки номер 5 1.2 км С-З, совпадающим с преобладающим направлением розы ветров (рис. 3).

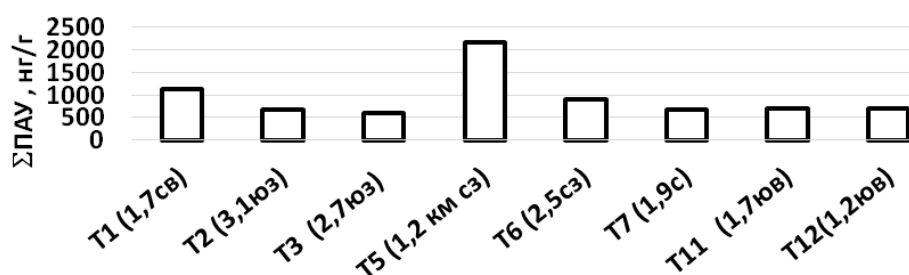


Рисунок 3. Суммарное содержание ПАУ в 20-см слое мониторинговых площадок, расположенных вокруг НчГРЭС в 2017 году.

Накопление и распределение ПАУ по почвенному профилю в большей степени зависит от типа почв, которые обуславливает особенности поглощения поллютанта. Основным фактором, воздействующим на распределение ПАУ по профилю, является физико-химические свойства почв, их гранулометрический состав (табл. 1).

Таблица 1. Физико-химические свойства мониторинговых площадок в зоне влияния НЧГРЭС 2017 год.

Номер	Почва	Физ. глина, %	Ил, %	Гумус, %	pH
1	Чернозем обыкновенный, карбонатный, среднесиловый, среднесиловый, тяжелосиловый на лессовидных суглинках	52	27	4.3	7.6
2	Аллювиально-луговая, карбонатная, малогумусная, песчаная на аллювиальных отложениях	7	3	3.1	7.5
3	Лугово-черноземная, пойменная, среднесиловый, легкосиловый на аллювиальных отложениях	67	37	4.6	7.3
4	Чернозем обыкновенный, карбонатный, среднесиловый, среднесиловый, тяжелосиловый на лессовидных суглинках	55	29	4.6	7.5
5	Чернозем обыкновенный, карбонатный, среднесиловый, среднесиловый, тяжелосиловый на лессовидных суглинках	53	27	4.3	7.5
6	Лугово-черноземная, среднесиловый, среднесиловый, тяжелосиловый на лессовидных суглинках	55	30	4.1	7.7
7	Чернозем обыкновенный, карбонатный, среднесиловый, среднесиловый, тяжелосиловый на лессовидных суглинках	51	27	4.1	7.6
8	Лугово-черноземная, среднесиловый, среднесиловый, тяжелосиловый на лессовидных суглинках	60	32	5.0	7.4
9	Чернозем обыкновенный, карбонатный, среднесиловый, среднесиловый, тяжелосиловый на лессовидных суглинках	52	30	4.2	7.6
10	Чернозем обыкновенный, карбонатный, среднесиловый, среднесиловый, тяжелосиловый на лессовидных суглинках	53	28	4.6	7.6
11	Чернозем обыкновенный, карбонатный, среднесиловый, среднесиловый, тяжелосиловый на лессовидных суглинках	33	15	2.1	7.5
12	Лугово-черноземная, среднесиловый, среднесиловый, тяжелосиловый на лессовидных суглинках	45	20	2.5	7.7

Поскольку обязательному нормированию в почвах в РФ подлежит только один представитель ПАУ – Бенз(а)пирен (БаП), нами была определена концентрация вещества на мониторинговых площадках. Из полученных результатов сделан вывод, что накопление БаП в почвах изучаемой территории зависит от расстояния и расположения контролируемых участков по отношению к источнику эмиссии. Основная масса поллютантов накапливается в почвах С-3 направления от НЧГРЭС, совпадающих с основным направлением ветров. Наибольшее загрязнение почв в этом направлении наблюдается в радиусе до 5 км с максимумом на расстоянии 1.6 км, где C_{0-20} достигала 214–323 нг/г (10–16 ПДК). По мере дальнейшего удаления концентрация БаП снижается до 57–143 нг/г (3–7 ПДК) на расстоянии 20 км на С-3. Следует отметить, что почвы площадок, находящихся вокруг предприятия на расстоянии 1–3 км, характеризуются некоторым повышением концентраций БаП, составляющих в среднем 1.5–3.0 ПДК (рис. 4).

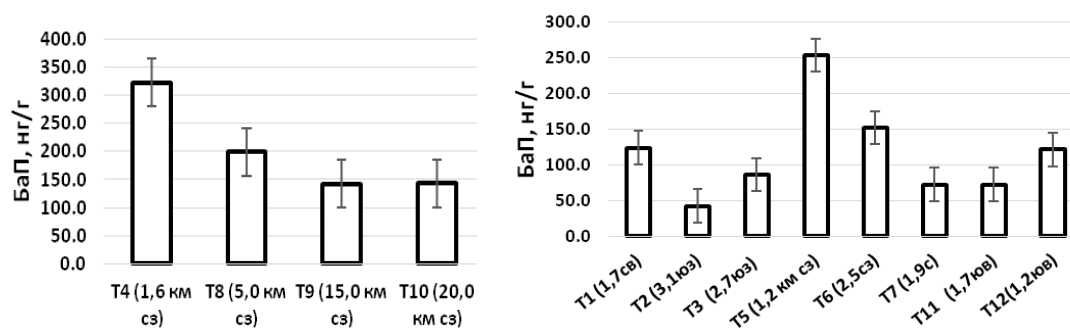


Рисунок 4. Концентрации БаП в 20-см слое почв в 2017 году по направлению ветра (слева) и вокруг источника загрязнения (справа).

Ранжированный ряд преобладающих ПАУ в почвах мониторинговых площадок, которые рассчитывались от общего количества в %, представлен преимущественно высокомолекулярными 5–6-ти кольчатыми ПАУ. Установлено, что в составе ПАУ в почвах исследуемой территории за 2017 год преобладают высокомолекулярные 4–5-ти, а также 6-ти кольчатые ПАУ, и низкомолекулярный 3-х кольчатый фенантрен. Степень содержания высокомолекулярных ПАУ зависит от расположения площадок по отношению к НчГРЭС так, что максимальное количество высокомолекулярных ПАУ находится в точках наиболее приближенных к источнику эмиссии (рис. 5).

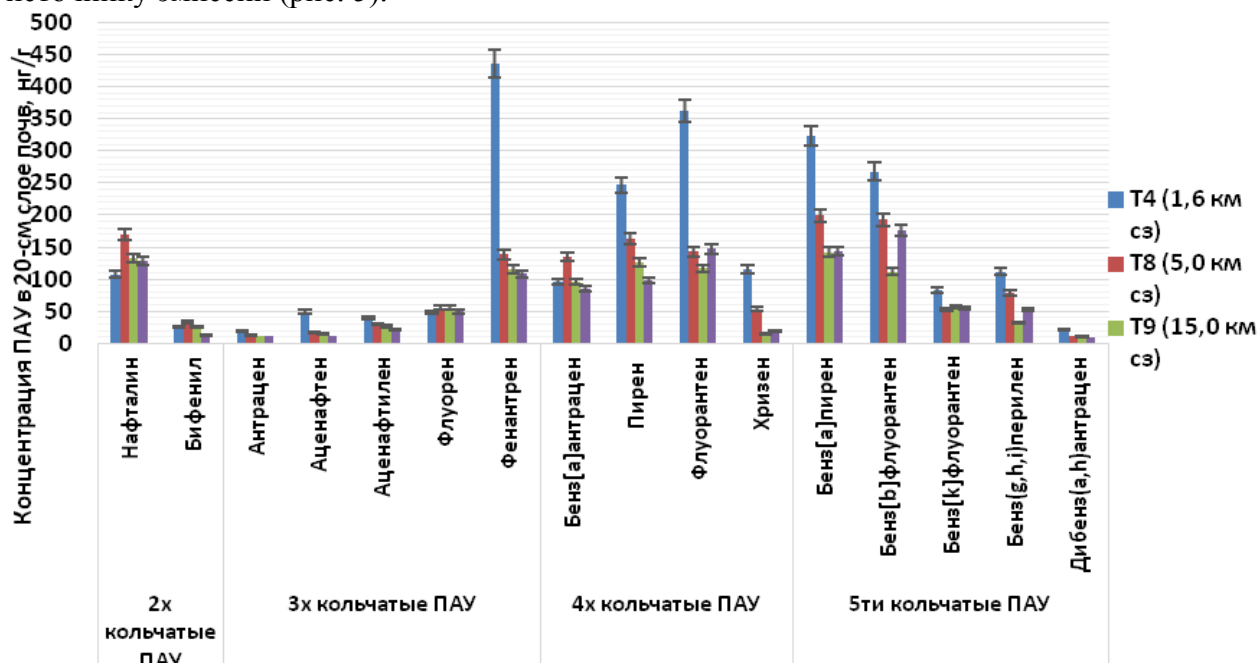


Рисунок 5. Качественный состав ПАУ мониторинговых площадок расположенных по линии ветра.

В отличие от почв площадок, расположенных по линии ветров, для точек, находящихся в 1–3 км от источника эмиссии характерна слабая качественная дифференциация высоко и низкомолекулярных ПАУ. Преобладают высокомолекулярные 4–5 ядерные ПАУ, однако их доля составляет малую часть от 2–3 ядерных, что свидетельствует о максимальном накоплении техногенных ПАУ по линии преобладающих ветров на местности (рис. 6).

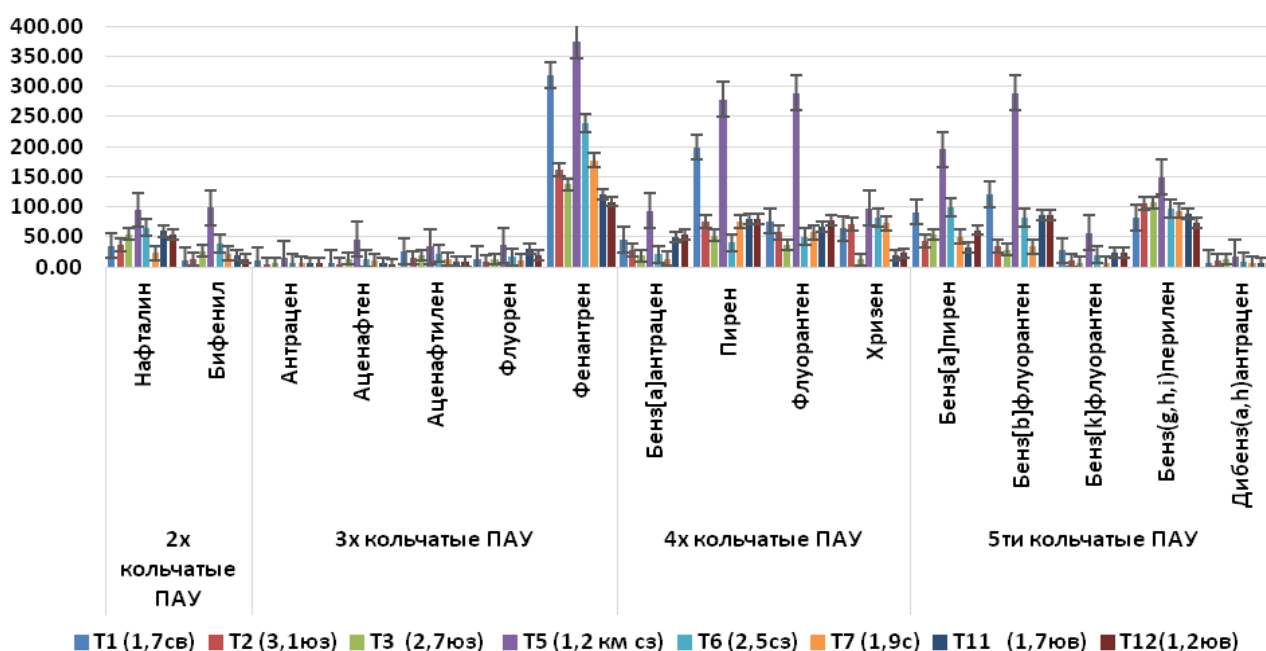


Рисунок 6. Качественный состав ПАУ в 20-см слое почв мониторинговых площадок, расположенных вокруг НчГРЭС.

ВЫВОДЫ

1. Представленная исследовательская работа показала интенсивное накопление полиаренов расположенных в зоне аэротехногенного воздействия Новочеркасской ГРЭС.
2. Максимум содержания ПАУ приходится на площадки мониторинга, наиболее близко расположенные к источнику эмиссии в С-З направлении.
3. В приближенных зонах к НчГРЭС преобладают тяжелые ПАУ, а это 4,5,6-ти кольчатые ПАУ, они несут наибольшую опасность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белинская Е.А., Зыкова Г.В., Семенов С.Ю., Финаков Г.Г. Полициклические ароматические углеводороды в г. Москвы // Почвоведение. 2015. № 6. С. 668–674.
2. Kimbrough R.D. The toxicity of polychlorinated polycyclic compounds and related chemicals // CRC Crit. Rev. Toxicol. 1974. V. 2. № 4. P. 445–498.
3. Майстренко В.Н., Клюев Н.А. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004. С. 323.
4. Яковлева Е.В., Габов Д.Н., Безносиков В.А., Кондратенко Б.М. Накопление полициклических ароматических углеводородов в почвах и растениях тундровой зоны под воздействием угледобывающей промышленности // Почвоведение. 2016. № 11. С. 1402–1412.
5. Сушкова С.Н., Минкина Т.М., Манджиева С.С., Тюрина И.Г., Васильева Г.К., Кизилкая Р. Мониторинг содержания бенз(а)пирена в почвах под влиянием многолетнего техногенного загрязнения // Почвоведение. 2017. № 1. С. 105–116.
6. Минкина Т.М., Назаренко О.Г., Матузова Г.В., Манджиева С.С., Бурачевская М.В. Групповой состав соединений тяжелых металлов в почвах агроценозов, загрязненных аэрозольными выбросами Новочеркасской ГРЭС // Агрохимия. 2011. № 6. С. 68–77.
7. Геннадиев А.Н., Жидкин А.П., Писковский Ю.И., Ковач Р.Г., Кошовский Т.С., Хлынина Н.И. Углеродное состояние почв в условиях загрязнения атмосферы локализованным промышленным источником // Почвоведение. 2016. № 9. С. 1068–1078.
8. Безуглова О.С., Хырхырова М.М. Почвы Ростовской области. Издательство Южного Федерального университета. 2008.
9. Минкина Т.М., Завгородний А.Н., Ярошук А.В., Горобцова О.Н. Содержание 3,4-бензапирена в почвах, прилегающих к Новочеркасской ГРЭС // Кубанский государственный университет. 2003. № 2. С. 72–73.
10. Сушкова С.Н., Минкина Т.М., Манджиева С.С., Борисенко Н.И., Федченко Т.М. Оценка содержания 3,4-бензапирена в почвах, прилегающих к Новочеркасской ГРЭС, методом экстракции субкритической водой // Плодородие. 2012. № 4. С. 55–56.
11. Сушкова С.Н., Минкина Т.М., Манджиева С.С., Тюрина И.Г., Васильева Г.К., Кизилкая Р. Мониторинг содержания бензапирена в почвах под влиянием многолетнего техногенного загрязнения // Почвоведение. 2017. № 1. С. 105–116.

В работе представлены результаты изучения пирогенного воздействия на биологическую активность почв, на территории европейской части России от черноморского побережья до Кольского полуострова. Новизной работы является изучение последствий пожаров, пирогенное воздействие датируется 2010 годом. Выявлено негативное влияние лесных пожаров на трансформацию азота и углерода в почве. Отмечено снижение численности бактерий в почвах исследуемых территорий, в то время как длина грибного мицелия увеличивалась.

ВВЕДЕНИЕ

Пожар является одним из главных факторов, дестабилизирующих лесные экосистемы. Ежегодно пожары охватывают до нескольких десятков тысяч га территорий России, при этом на площадь, которая занята растительными сообществами, приходится до 50 % территорий [8]. В современном мире лесные пожары играют большую роль во многих биосферных процессах, оказывают влияние на здоровье населения и социально-экономическую обстановку [3]. Нет точного ответа, являются ли пожары положительным или отрицательным фактором для окружающей среды. Но точно известно, что значение пожаров велико в протекании многих геохимических процессов. Также большую роль пирогенный фактор играет в различных трансформациях экосистемы. Огонь изменяет абиотическую среду, в результате чего меняется и её население [1]. Тем не менее, при большом негативном воздействии на экосистемы, пожары являются фактором возобновления. Для многих пирофильных видов гари являются местом обитания [2]. На данный момент многими исследователями показано, что пожары являются определяющим фактором динамики лесных экосистем. Пожары создают открытые пространства, что поддерживает популяции многих видов деревьев. Например, в Европе и в Северной Америке распространение сосново-дубовых лесов в значительной степени обязано собой огню [6]. Отрицательные последствия от лесных пожаров заключаются в загрязнении атмосферного воздуха углекислым газом и продуктами сгорания. С лесными пожарами в воздух попадают частицы сажи. Выпадающая после пожаров сажа оседает в высоких широтах и на горных вершинах, вызывая таяние льдов. Это вносит серьезный вклад в изменение климата [7]. Пирогенный углерод адсорбирует вторичные метаболиты, что приводит к деградации гумуса [9]. Хорошо известно, что под действием пожара изменяются физические свойства почв. Выделение большого количества энергии повышает температуру почвы до 700–900 °С на поверхности, и до 200 °С на глубине 15 см. Условия, которые формируются после пожара, приводят к увеличению температурных амплитуд. При воздействии пожара уменьшается агрегация почв, увеличивается водоотталкивающая способность почвы, что приводит к усиленному стоку и эрозии. Вместе с этим изменяются и химические свойства почв: повышается уровень pH за счет образования минеральных веществ в виде оксидов, которые легко превращаются в карбонаты и гидроксиды; увеличивается подвижность большинства катионов фосфора и азота, что приводит к их значительным потерям. При этом находящийся в органическом веществе азот остается недоступным для микроорганизмов и растений [5].

На данный момент наблюдается тенденция в исследованиях, которая заключается в изучении влияния пожаров на экосистемы непосредственно после воздействия пирогенного фактора, но остается малоизученным изменение экологических сервисов в течение нескольких лет после прохождения. Важно понять через какой временной промежуток восстанавливается экосистема и насколько долго измененные свойства сохраняются. В связи с этим целью данного исследования было изучение биологической активности основных типов почв

Европейской части России, подверженных влиянию пожаров 2010 г. В соответствии с целью были поставлены следующие задачи:

- Изучение активности процессов трансформации азота (азотфиксации, денитрификации) и углерода (эмиссии углекислого газа и метана) в почвах на участках подверженных пожарам.
- Сравнение биологической активности почв на горелых и не горелых участках.
- Оценка изменения численности бактерий и длины грибного мицелия в почвах под действием пожаров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектами данного исследования послужили образцы 9 основных типов почв европейской части России (карболитозём, коричневая почва, чернозем глинисто-иллювиальный, темно-серая лесная почва, дерновый подбур, дерново-подзолистая почва, петрозём и подзол) с 40 участков от Краснодарского края до Кольского полуострова (Краснодарский край, Воронежская область, Липецкая область, Московская область, Тверская область, Ленинградская область, Республика Карелия и Мурманская область). Пожары датируются 2010 годом. Контрольные участки были отобраны с учетом почвенного состава гарей, в близлежащем местоположении от горелого участка. Сбор материалов проводили в одной фазе развития фитоценозов, период цветения черемухи (*Prunus sp.*), с 20 апреля 2015 по 11 июня 2015 в экспедиции в рамках гранта 14-14-00894 при финансовой поддержке Российского научного фонда. Отбор почвенных образцов производился из верхнего горизонта в пределах первых 10 см. На каждом участке почвенным буром диаметром 5 см глубиной 15 см были отобраны по 5 проб для оценки активности микробиологических процессов и для подсчета бактериальной и грибной биомассы. Пробы почвы доставляли в лабораторию в сумках-холодильниках и использовали для анализа в течение 2–3 дней.

В почвенных образцах изучали показатели, характеризующие состояние почвенной микрофлоры и интенсивность процессов микробной трансформации ряда биофильных элементов. Определение биологической активности выполняли стандартными методами, предложенными кафедрой биологии почв МГУ. Активность азотфиксации, денитрификации, метаногенеза, эмиссии углекислого газа определяли методами газовой хроматографии в пятикратной повторности в 40 смешанных образцах почв [4]. Определение численности бактерий проводили с использованием метода люминесцентной микроскопии с окраской акридином оранжевым. Длину мицелия, количество грибных спор и бактерий определяли при прямом микроскопировании.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Отмечено достоверное снижение активности азотфиксации на гарях, по сравнению с контролем, и некоторое увеличение денитрификации на гарях (в коричневой, дерново-подзолистой почвах и карболитозёме), сохраняющееся на протяжении пятилетнего периода после воздействия пожара, что может приводить к уменьшению запасов азота. Установлено различие в показателях эмиссии углекислого газа и метана, между горелыми и не горелыми участками, сохраняющееся на пятый год после прохождения пожара. Отмечена тенденция к снижению бактериальной биомассы в образцах горелых почв и увеличение длины грибного мицелия в тех же образцах, подверженных пирогенному воздействию. Проведенный корреляционный анализ показал связь изменений процессов биологической активности с наличием пожара. Отрицательную корреляцию с наличием пожара имеют значения активности актуальной и потенциальной азотфиксации, эмиссии CO₂, в то время как активность актуальной и потенциальной денитрификации и длина грибного мицелия – положительную. Положительный коэффициент корреляции отмечен между показателем численности бактерий и азотфиксацией, как актуальной (0.430), так и потенциальной (0.827), а также эмиссией метана (0.378).

ВЫВОДЫ

В данном исследовании было подтверждено влияние пирогенного фактора на биологическую активность почв. Во-первых, активность актуальной и потенциальной азотфиксации снижается под действием пирогенного фактора, самые значительные изменения наблюдаются в южных почвах – карболитозёмах и коричневой почве, и в северных почвах – петрозёмах. Также было отмечено некоторое увеличение активности актуальной и потенциальной денитрификации, в карболитозёмах и дерново-подзолистых почвах зарегистрировано наибольшее влияние пирогенного фактора на активность денитрификации. В совокупности, столь длительное (до 5 лет) изменение активности процессов трансформации азота может приводить к снижению запасов азота на горелых участках. Во-вторых, снижается эмиссия углекислого газа, данная тенденция отмечается почти во всех изученных почвах. Максимальное уменьшение потоков CO_2 было обнаружено в дерново-подзолистых почвах и петрозёмах. Также в исследованных почвах под воздействием пожаров увеличивалась эмиссия метана, являющегося одним из основных парниковых газов. Максимальное увеличение потоков CH_4 из почв было отмечено в петрозёмах. В-третьих, отрицательное воздействие пожар оказывает на численность бактерий, которое было отмечено почти во всех образцах, а в карболитозёмах и дерново-подзолистых почвах – снижение бактериальной биомассы было максимальным. Стимулирующее действие пожара отмечалось лишь в увеличении грибной биомассы. Максимальное увеличение длины грибного мицелия отмечается в карболитозёмах и дерново-подзолистой почве. Отмеченные изменения биологических свойств изученных почв сохраняются на протяжении пятилетнего периода после прохождения пожаров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гонгальский К.Б. Лесные пожары и почвенная фауна. – КМК Scientific Press, 2014.
2. Кулешова Л.В., Коротков В.Н. Пожары в заповедниках Российской Федерации: многолетняя динамика и географические особенности // 42 Антропогенные воздействия на природные комплексы заповедников. – 1998. – С. 4–36.
3. Рязанцев С.В. Возвращаясь к истокам горячего лета – 2010 // Экология и жизнь. № 5. 2011. С. 78–85.
4. Степанов А.Л., Лысак Л.В. Методы газовой хроматографии в почвенной микробиологии. М.: МАКС Пресс, 2002. 88 с.
5. Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review // Oecologia. – 2005. – Т. 143. – № 1. – С. 1–10.
6. Fritze H., Pennanen T., Pietikäinen J. Recovery of soil microbial biomass and activity from prescribed burning // Canadian Journal of Forest Research. – 1993. – Т. 23. – № 7. – С. 1286–1290.
7. Ramanathan V., Carmichael G. Global and regional climate changes due to black carbon // Nature geoscience. – 2008. – Т. 1. – № 4. – С. 221–227.
8. Vivchar A. Wildfires in Russia in 2000–2008: estimates of burnt areas using the satellite MODIS MCD45 data // Remote Sensing Letters. – 2011. – Т. 2. – № 1. – С. 81–90.
9. Wardle D. A., Zackrisson O., Nilsson M.C. The charcoal effect in Boreal forests: mechanisms and ecological consequences // Oecologia. – 1998. – Т. 115. – № 3. – С. 419–426.

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

ФОРМИРОВАНИЕ КРАСНОЦВЕТНЫХ ПОЧВ НА ИЗВЕСТНЯКАХ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ НАГОРЬЯ ЛАГОНАКИ

А.О. Ревунова

ФГБОУ Санкт-Петербургский государственный университет

Статья посвящена почвенному покрову нагорья Лагонаки. Описаны красноцветные почвы, нехарактерные для условий нагорья, проанализированы современные и прошлые условия почвообразования на известняках. Предпринята попытка объяснить их существование с точки зрения геологического развития территории.

ВВЕДЕНИЕ

Нагорье Лагонаки – удивительный район, выделяющийся по многим параметрам среди природы Большого Кавказа. Объясняется это расположением нагорья на границе влияния разнонаправленных факторов. Прежде всего, это геолого-геоморфологические границы: субмеридиональная линия раздела участков умеренных и интенсивных поднятий, выраженная полосой поперечных глубинных разломов земной коры. Здесь же проходит граница геологических зон северного и южного склонов. В результате территория в течение миллионов лет охвачена зоной огромного физического напряжения. Поднятая горообразовательными процессами на дневную поверхность толща известняков попадает в качественно другие условия. Здесь на геологический фокус напряжения накладывается климатический. Лагонаки располагается на границе двух климатических поясов – умеренного и субтропического. На исходную разницу параметров влияет и высотная поясность. Все вместе определяет формирование уникальных ландшафтов, многие явления которых до сих пор не описаны. Одним из таких феноменов стали для нас нетипичные для этих мест красноцветные образования, обнаруженные нами в северо-восточной части нагорья.

Целью данной работы является описание истории развития красноцветных почв нагорья Лагонаки на основании, как литературных данных, так и собственных наблюдений, которые проводились в течение полевого сезона 2017 г.

Первым автором, описавшим и закартировавшим почвы нагорья в 1929 г., был С.Д. Сухенко [13]. В 1940 г. этим же автором был опубликован отчет о НИР по описанию почв Фишт-Оштенского массива [11]. С 1960 по 1965 гг. Л.Г. Горчаруком проводится тщательная работа по выделению и классификации почв Кавказского Государственного Заповедника, куда входила и территория нагорья [1]. В последующие годы автором сделан ряд уточнений для разных ландшафтов [2–5]. Им впервые проведено среднемасштабное почвенное картирование, выделены и описаны основные типы почв. Проведена сравнительная оценка состояния почв под лугами, использовавшихся под выпас и сенокосы, и почв территорий не доступных для деятельности такого рода, по результатам которой внесены предложения по восстановлению растительного покрова горных пастбищ. Сотрудником Кавказского Биосферного заповедника О.А. Локтионовой проведена сравнительная оценка почв лесных полян и окружающих их лесных фитоценозов [6, 7], выявлено несколько причин образования полян, изучен процесс изменения почв в связи со сменой растительности. Почвы переходной зоны и субальпийских пастбищ также были исследованы А.Ю. Чумаченко [15–17].

В вышеуказанных работах не обнаружено упоминаний об изучаемых нами красноцветных почвах. Их описание приведено только в «Путеводителе научно-полевых туров V Всероссийского съезда Общества почвоведов» [10], но без объяснения генетических особенностей, как самих почв, так и почвообразующей породы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Изученные нами почвы имеют ограниченное распространение на территории нагорья. Они приурочены исключительно к северной оконечности западного склона хребта Каменное Море. В процессе полевых исследований было заложено 5 разрезов. На рисунке 1 рассмот-

рены почвы, типичные для современных условий почвообразования на нагорье (рис. 1а, б) (вычерчено по словесному описанию из [10]). Почвы, вызвавшие наш интерес, имеют схожее строение с буроземом квазиглеевым (рис. 1в).

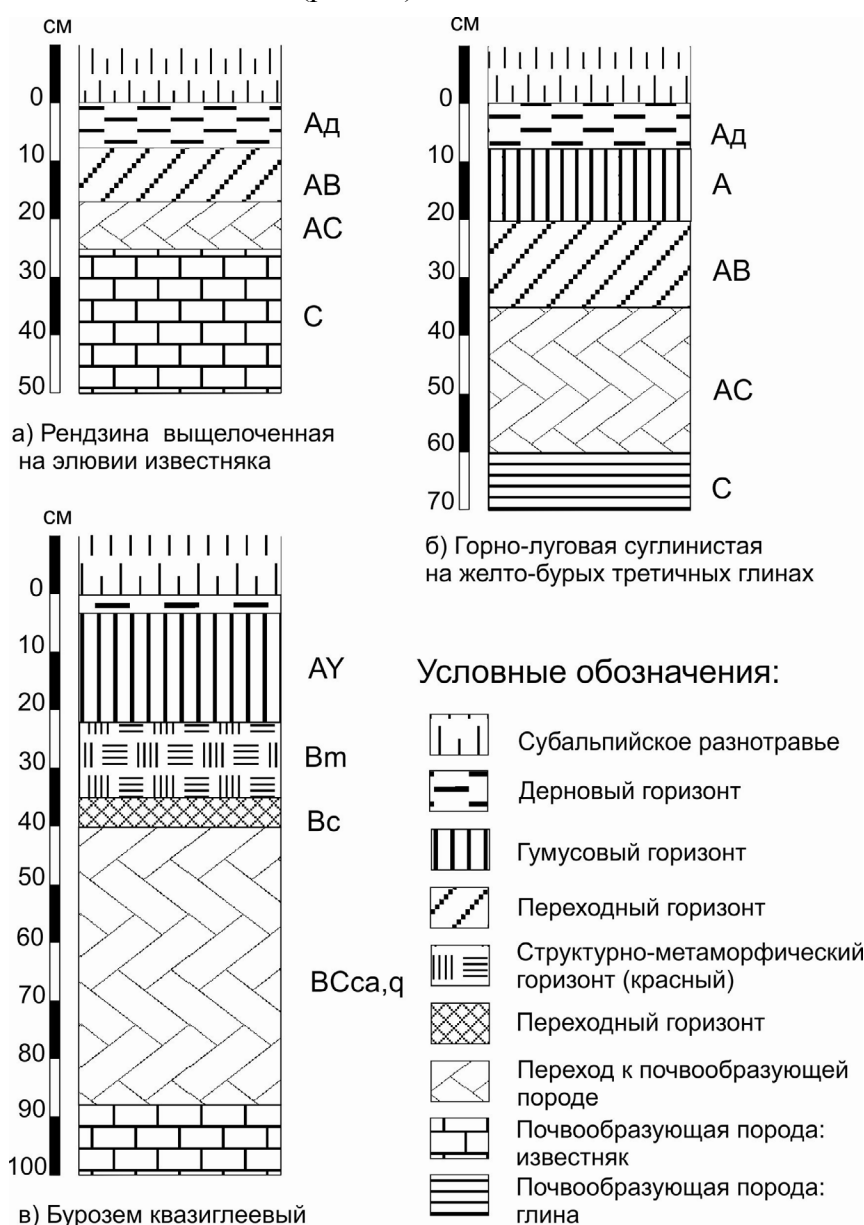


Рисунок 1. Строение почв нагорья Лагонаки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Красный цвет (10 Y 4/6 red по Munsell Soil Color Charts) срединных горизонтов изученных почв указывает на их формирование в условиях, отличающихся от условий формирования распространенных здесь почв на выходах известняков. Для получения такой окраски необходимы сочетания процессов, которые чаще всего наблюдаются в субтропическом и тропическом климате и имеют единый результат – накопление негидратированных окислов железа. Современный климат нагорья совсем не похож на субтропический: эта территория входит в зону субальпийских лугов. В то же время сходные черты верхних горизонтов почв – следствие единовременного развития в современных условиях. Это предполагает полигенетический характер педогенеза почв на красноцветных известняках.

Рассмотрим историю геологического развития Лагонакского нагорья. Верхние слои коренных пород представляют собой слоистые или массивные рифовые известняки титонского яруса юрского периода, согласно залегающих на среднеюрских отложениях. С начала верхней юры весь комплекс испытывал колебания с общим восходящим вектором. Окончатель-

ный выход на дневную поверхность произошел в палеоцене, однако до позднего миоцена территория оставалась равниной. Около 11 млн лет назад процессы субдукции сменились коллизией и горообразованием в результате активизации Красноморского рифта. В сармате территория нагорья достигала уже среднегорных высот, чем выделялась на фоне окружающего низкогорья [12]. Комплекс сохранил свое высотное положение относительно соседних участков, сложенных легко размываемыми породами, благодаря устойчивости рифовых известняков к денудации. Помимо этого, на территории широко развиты карстовые процессы, благодаря чему практически полностью отсутствует поверхностный сток [14].

Далее, по данным П.А. Мchedlishvili [8, 9] в среднем миоцене на территории Западного Кавказа господствовали субтропические условия. И сейчас на нагорье велик процент реликтовой субтропической флоры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из обнаруженных нами особенностей почв нагорья Лагонаки, а также из материалов по геологической и климатической истории нагорья, мы можем предположить, что изучаемые нами красноцветные почвы сохранились со времен существования нагорья в качестве приморской равнины, т.е. с верхнего миоцена (5–7 млн лет назад).

ЛИТЕРАТУРА

1. Горчарук Л.Г. Изучение и систематика почв Кавказского заповедника // Труды Кавказского государственного заповедника. – Краснодар, 1965. Вып. 8. – С. 26–32.
2. Горчарук Л.Г. Почвы верхней части лесного пояса Кавказского заповедника // Проблемы лесного почвоведения. М., 1973. – С. 129–142.
3. Горчарук Л.Г. Улучшение горных пастбищ – неотложная задача // Охрана природы Адыгеи. – Майкоп, 1978. – С. 31–36.
4. Горчарук Л.Г., Семагина Р.Н. Влияние хозяйственной деятельности на высокогорные луга Западного Кавказа // Экологические исследования на Северо-Западном Кавказе. Ростов-на-Дону, 1985. – С. 130–144.
5. Горчарук Л.Г. О роли почвообразующих пород в генезисе почв Западного Кавказа // Почвенно-биогеоценотические исследования на Северо-Западном Кавказе. Пушкино: Институт почвоведения и фотосинтеза, 1990. – С. 83–102.
6. Локтионова О.А. Гумусное состояние горно-лесных почв Кавказского заповедника. Автореф. канд. биол. Наук. Ростов-на-Дону, 2002. 21 с.
7. Локтионова О.А. Сравнительная характеристика почв лесных полян и окружающих их лесных фитоценозов // Труды Кавказского гос. природного заповедника. – Майкоп: ООО «Качество», 2008. С. 22–32.
8. Мchedlishvili П.А. К палеогеографии Кавказа в чокракском веке в связи с данными палеоботаники // Докл. АН СССР, т.75, № 5, 1951.
9. Мchedlishvili П.А. К палеогеографии Кавказа в караганском веке в связи с данными палеоботаники // Доклад АН СССР. Т. 81. Новая серия. 1951. № 5.
10. Путеводитель научно-полевых туров V Всероссийского съезда общества почвоведов / Под ред. К.Ш. Казеева и В.Ф. Валькова. Ростов-на-Дону, 2008. 90 с
11. Почвы горного массива Фишт-Оштена Кавказского государственного заповедника: отчет о НИР // Кавказский государственный заповедник; Инв № 68. – Адлер, 1940. –86 с. Исполн. Сухенко С.Д.
12. Сафронов И.Н. Геоморфология Северного Кавказа / И.Н. Сафронов. – Ростов.: Изд-во Ростовского ун-та, 1969. – 218 с.
13. Сухенко, С.Д. Исследования почв в Кавказском заповеднике. / С.Д. Сухенко // «Почвоведение», 1929, № 3 – 4.
14. Трихунков Я.И. Морфоструктура и опасные геоморфологические процессы плато Лагонаки (Северо-Западный Кавказ) / Я.И. Трихунков // Материалы XXX Пленума Геоморфологической комиссии РАН. – СПб, 2008. – С. 88–89.

15. Чумаченко Ю.А. Особенности горно-луговых почв Лагонакского нагорья КГПБЗ // Сборник трудов Кавказского заповедника: Биоразнообразие и мониторинг природных экосистем в КГПБЗ. Вып. 16. Новочеркасск: Изд-во ДОРОС, 2002.
16. Чумаченко Ю.А. Горно-луговые почвы Кавказского заповедника. // Труды КГПБЗ: 80 лет Кавказскому заповеднику – путь от Великокняжеской охоты до Всемирного природного наследия. Юбилейный. – Вып. 17. – Сочи: Проспект, 2003. – С. 122–146.
17. Чумаченко Ю.А. Особенности формирования высокогорных почв Кавказского заповедника / Ю.А. Чумаченко // Труды Кавказского государственного природного биосферного заповедника: Выпуск 18 / Под ред. В.В. Акатова, С.А. Трепета. – Майкоп: ООО «Качество», 2008. – С. 32–45.

Научный руководитель: д.г.н., заведующий кафедрой почвоведения и экологии почв СПбГУ А.В. Русаков.

УДК 631.4

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕУВЛАЖНЕНИЯ И ПОДКИСЛЕНИЯ НА ПЛОДОРОДИЕ ОСУШЕННЫХ ПАХОТНЫХ ПОЧВ

Е.Д. Самарина

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет»

Установлено, что для буроземов глееватых характерно наличие верховодок в осенне-весенний период, а для дерново-глеевых почв – поверхностное затопление. Суммарная площадь вымочек с полной гибелью урожая составила 25 % от всей обследованной площади, что говорит о неудовлетворительном мелиоративном состоянии поля. На почвах преобладает сильноокислая реакция среды. Переувлажнение и кислотность являются лимитирующими факторами для показателей продуктивности озимой пшеницы. На фоне этого биологический потенциал сорта не реализован.

ВВЕДЕНИЕ

На территории Калининградской области более 80 % сельскохозяйственных земель осушаются различными способами. Поэтому ведение сельского хозяйства возможно только при условии создания оптимального водного режима. В настоящее время сельское хозяйство региона активно развивается в связи с необходимостью обеспечения продовольственной безопасности области. Основным фактором, лимитирующим урожайность сельскохозяйственных культур, является переувлажнение.

Задачи: 1. исследовать гидрологические особенности почв; 2. провести агрохимическое обследование; 3. изучить биометрические показатели и урожайность озимой пшеницы; 4. оценить потери урожая.

Работа выполнена в рамках научного проекта «Почвенно-гидрологический мониторинг агроландшафтов Калининградской области» под научным руководством О.А. Анциферовой.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования выступило пахотное поле в Зеленоградском районе Калининградской области, расположенное в пределах Самбийской холмисто-моренной равнины. Общая площадь обследования составляет 100 га. На поле выращивалась озимая пшеница сорта Скипетр по интенсивной технологии.

Поле имеет контрастный почвенный покров. На вершинах и склонах расположены буроземы неоглеенные и глееватые в разной степени, в понижениях – дерново-глеевые. Почвы осушаются системой закрытого гончарного дренажа. Глубина его заложения на склонах составляет 80–110 см, в понижениях – 40–60 см. Сброс вод осуществляется в открытые каналы. Дренаж частично заилился, а частично был нарушен в результате прокладки по территории поля газопровода в 2012–2013 г.

Режим увлажнения почв изучался буровым методом с послойным отбором образцов каждые 10 см до глубины 100 см. Систематическое бурение проводилось на 12 площадках, включающих 4 ареала буроземов на вершинах холмов, 4 ареала буроземов глееватых на склонах и 4 ареала дерново-глеевых почв в понижениях. Полевая влажность определялась термостатно-весовым методом, запасы продуктивной влаги рассчитывались по формуле. Оценка запасов продуктивной влаги дана по шкале А.Ф. Вадюниной и З.А. Корчагиной, оценка состояния осушенных территорий – по шкале Перцовича и Веденина [1]. Все агрохимические анализы выполнены по стандартным методикам [2] и проводились в четырехкратной повторности. Обработка результатов осуществлялась с использованием статистических методов в программе Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Чтобы изучить влияние переувлажнения на урожай озимой пшеницы, мы проводили исследования с сентября 2016 по июль 2017 года. В табл. 1 изложены погодные условия этого периода. За октябрь–ноябрь 2016 года суммарно выпало 210 мм осадков. Вследствие этого в ноябре на склонах, занятых буроземами глееватыми, образовались верховодки, а понижения с дерново-глеевыми почвами оказались затоплены с поверхности (табл. 2). Таким образом, озимая пшеница в стадии кущения подверглась вымоканию.

Таблица 1. Распределение количества осадков и среднемесячной температуры в период вегетации озимой пшеницы в 2016–2017 гг.

Месяц	Среднемесячная температура, °С	Количество осадков, мм
2016 г.		
Сентябрь	14.6	25
Октябрь	6.5	95
Ноябрь	3.6	115
2017 г.		
Апрель	6.2	67
Май	12.9	9.5
Июнь	16.0	61
Июль	17.0	112

Таблица 2. Глубина залегания верховодки (см), ноябрь 2016 г.

Склоны, буроземы глееватые			
Ареал 5	Ареал 6	Ареал 7	Ареал 8
130	Со 110	90–100	80–100
Понижения, дерново-глеевые почвы			
Ареал 9	Ареал 10	Ареал 11	Ареал 12
С 70	С 50	Глубже 110	Глубже 110

Количество осадков, выпавшее с апреля по июль, составило 250 мм, что близко к средним многолетним значениям (242 мм) за этот же период.

В апреле, когда возобновилась вегетация озимой пшеницы, слой верховодки в буроземах глееватых склонов залегал глубже 1 м, а в понижениях с дерново-глеевыми почвами сохранялось поверхностное затопление, и верховодка располагалась в пределах метровой толщи (табл. 3).

С помощью GPS-навигатора было установлено, что площадь вымочек с полной гибелью урожая пшеницы от вымокания составляет 25 % от всей площади обследования. Согласно шкале, предложенной Перцовичем и Ведениным состояние поля неудовлетворительное.

Чтобы узнать обеспеченность растений влагой за вегетационный период, мы рассчитали запасы продуктивной влаги в почвах на вершинах холмов, на склонах и в понижениях.

В пахотном слое буроземов вершин в апреле запасы влаги в основном удовлетворительные. Их снижение началось со второй половины мая в связи с биологическим иссушением почвы. Этот период продолжался полтора месяца. Прошедшие осадки способствовали увеличению запасов влаги в первой половине июля.

Таблица 3. Глубина залегания верховодки (см), апрель–май, 2017 г.

Склоны, буроземы глееватые			
Ареал 5	Ареал 6	Ареал 7	Ареал 8
Глубже 130 см	Со 120 см до конца апреля	В метровом слое верховодки не обнаружено	100–120 см в апреле и до конца мая
Понижения, дерново-глеевые почвы			
Ареал 9	Ареал 10	Ареал 11	Ареал 12
В начале апреля на 80–90 см, к середине мая 95–100 см	С апреля до середины мая двухслойная верховодка: на глубине 40–50 см и 80–90 см	В начале апреля с 90 см, к середине мая – глубже 110 см	С 80 см до середины мая

В буроземах склонов по сравнению с вершинами запасы влаги выше из-за латерального стока. В остальной период вегетации закономерности такие же, как в буроземах вершин.

В понижениях с дерново-глеевыми почвами запасы в апреле избыточные (выше 60 мм). В мае–июне запасы влаги не опускались ниже критической отметки в 20 мм.

Перейдем к рассмотрению запасов продуктивной влаги в метровой толще. Весной в буроземах вершин они составляют 185–230 мм в зависимости от гранулометрического состава. Запасы продуктивной влаги в период вегетации озимой пшеницы не опускались ниже 80 мм.

В апреле запасы в почвах склонов были избыточными – выше 200 мм. В период биологического иссушения только в ареале бурозема супесчаного с подстиланием песком они были плохими, в остальных случаях – хорошими и удовлетворительными.

В замкнутых понижениях длительного увлажнения на протяжении всего периода вегетации запасы в слое 0–100 см оставались избыточными. В открытых понижениях избыточные запасы влаги наблюдались с апреля по май, а, начиная, с июня они переходят в категорию хороших и очень хороших.

В результате проведения агрохимического обследования установлено, что все почвы поля имеют средне- и сильнокислую реакцию среды. Это связано с длительным отсутствием известкования, которое в последний раз проводилось в 80-х годах XX века, а также с систематическим применением гидролитически кислых удобрений. Результатом осушения явилось изменение застойно-промывного водного режима в полугидроморфных буроземах на промывной, а застойного в дерново-глеевых почвах – на застойно-промывной. Согласно Ф.Р. Зайдельману [1], такая смена приводит к усиленному выщелачиванию и подкислению.

Сумма обменных оснований в пахотном горизонте буроземов вершин и склонов чаще всего низкая, а в пахотном слое дерново-глеевых почв понижений средняя. В буроземах повышений и склонов содержание гумуса среднее (2.3 %), а в дерново-глеевых почвах понижений оно варьирует от среднего (2.7 %) до высокого (8.3 %). Содержание подвижных фосфора и калия (по Кирсанову) в пахотных почвах поля варьирует от повышенного до высокого. Сильнокислая реакция среды способствует увеличению подвижности железа и алюминия, которые образуют комплексы с фосфатами минеральных удобрений и снижают их доступность растениям.

Мы выяснили природу кислотности, которая связана в основном с преобладанием обменного алюминия. Его содержание, вызывающее достоверное снижение урожайности, по литературным данным, составляет 2 мг/100 г [3]. В пахотном горизонте большинства почв оно колеблется в допустимых пределах. По чувствительности к обменному алюминию озимая пшеница относится к первой группе (наиболее чувствительные). Высокое количество алюминия обнаружилось только на одном ареале – буроземе глееватом супесчаном и составило 3.24 мг/100 г. Именно здесь урожайность озимой пшеницы была на 63 % ниже по сравнению со средней по склонам и вершинам. Таким образом, продуктивность культуры на поле в большей степени зависит от обменного алюминия, на что указывают высокие коэффициенты корреляции (от –0.7 до –0.83).

Таблица 4. Снижение показателей продуктивности озимой пшеницы в зависимости от гидрологических факторов (%)

Почва и рельеф	Высота растений	Количество стеблей с колосом	Длина колоса	Количество колосков	Количество зерен	Масса 1000 зерен	Масса соломы и зерна	Масса зерна	Масса соломы	Масса корней в слое 0–20 см
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Л ^б л,у Л ^{бс} л, у Вершины	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Л ^{бс} л, у Склоны	94.1	98.4	91.7	91.5	83.7	97.8	90.2	86.7	94.2	83.9
П ^{лп} у, Д ^г с Открытые понижения	72.7	75.0	68.8	65.6	56.2	76.5	44.3	37.5	52.1	29.9
Д ^г с Замкнутые понижения	0 (48.9)*	0 (30.8)	0 (50.8)	0 (54.4)	0 (23.7)	0 (23.8)	0 (4.6)	0 (2.3)	0 (7.2)	0 (12.4)

* – в скобках значения на периферии ареалов с угнетенным состоянием посевов

Почвы:

Л^бл,у – буроземы легкосуглинистые, супесчаные;

Л^{бс}л, у – буроземы легкосуглинистые, супесчаные глееватые;

П^{лп}у – дерново-подзолистые глеевые супесчаные;

Д^гс – дерново-глеевые.

Была изучена структура урожая и биологическая продуктивность озимой пшеницы. Дисперсионный анализ показал, что более достоверны различия между буроземами и дерново-глебовыми почвами по сравнению с варьированием показателей на вершинах и склонах холмов. Установлено, что продуктивность озимой пшеницы снижается от почв вершин к открытым понижениям, а в западинах наблюдается полная гибель (табл. 4).

При запланированном хозяйством урожае в 7 т/га средневзвешенная (с учетом площадей почв) по полю урожайность составила 3.5 т/га.

ВЫВОДЫ

1. С ноября 2016 по май 2017 года для буроземов глееватых характерно наличие верховодок, а для дерново-глебовых почв понижений – поверхностное затопление. Мелиоративное состояние поля неудовлетворительное, так как суммарная площадь вымочек в замкнутых понижениях составляет 25 % от всей площади обследования.

2. В пахотном горизонте почв преобладает сильноокислая реакция среды, обусловленная обменным алюминием, но его содержание в большинстве ареалов находится в допустимых пределах.

3. Переувлажнение и кислотность являются лимитирующими факторами для всех показателей продуктивности озимой пшеницы.

4. Основные потери урожая произошли уже осенью 2016 г. из-за переувлажнения в ареалах дерново-глебовых почв, на стадии кущения озимой пшеницы.

5. Биологический потенциал сорта на фоне интенсивной технологии не смог реализоваться в полной мере из-за совместного действия переувлажнения и подкисления.

6. Производству рекомендуется: а) улучшить мелиоративное состояние, устранив разрывные нарушения дренажа на склонах и устроив отвод поверхностных вод из понижений; б) произвести известкование в дозе 6 т/га из расчета по полной гидролитической кислотности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Зайдельман Ф.Р.* Методы эколого-мелиоративных изысканий и исследований почв. Москва, 2008 г.
2. *Сборник стандартов* ОСТ 10 294-2002 – ОСТ 10 297-2002 / под ред. А.Л. Иванова. Москва, 2002 г.
3. *Ягодин Б. А., Жуков Ю.П.* Агрохимия: учебник. – Москва: Колос, 2002. – 584 с.

Работа рекомендована к.с.-х.н., доцентом О.А. Анциферовой.

ОСОБЕННОСТИ ГЕНЕЗИСА ПОЧВ В ГОРНОЙ ТУНДРЕ ПО РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ЩЕБНЯ В ПРОФИЛЕ (СРЕДНИЙ УРАЛ, ХРЕБЕТ БАСЕГИ)

И.А. Самофалова, А.А. Кучева

Пермский государственный агротехнологический университет

Почвенный покров в горной тундре представлен литоземами, петроземами, органо-аккумулятивными почвами. Профили горных почв хорошо дифференцированы на минеральные и органогенные горизонты. Установлено, что по распределению щебня профиль растет в двух направлениях: вверх за счет роста мощности органогенных горизонтов и вниз за счет преобразования щебня в ходе выветривания и первичного почвообразования в мелкозем в минеральных горизонтах почв. Также возможно сочетание этих направлений. Выявлено, что распределение содержания щебня в профиле помогает определить генезис почв, смену экологических условий, интенсивность процессов почвообразования и выветривания.

ВВЕДЕНИЕ

Наличие щебня – характерный признак горных почв. Щебнистые почвы следует рассматривать как почвы с непрерывным привносом вещества. Этот привнос, обусловливаемый выветриванием горных пород, осуществляется тем интенсивнее, чем более измельчен выветриваемый материал. Скелетность почв обеспечивает их высокую теплопроводность, способствующую быстрому оттаиванию профиля и предотвращающую развитие процессов сезонного переувлажнения и оглеения [3–5, 16, 17].

Многие ученые считают, что формирование мелкозема в горных почвах связано с разрушением массивно-кристаллической породы и ее обломков, залегающих в основании почвы и слагающих ее каменистую часть [2, 6, 7, 15]. Другие ученые утверждают, что есть факты, которые противоречат этому положению [3–5]. Так, часто горизонт A_1 почти или совсем лишен щебня; а в ряде случаев встречаются почвы на курумах, где мелкозем и подстилка, «проваливаясь» между камнями, заполняют пустоты между ними. Эти факты невозможно объяснить только теорией образования почвы на элювии. Наиболее вероятно в таких случаях эоловое происхождение почв [3, 4]. Образующийся при выветривании мелкозем, как и мелкозем щебнистых глин, переносится ветром и накапливается вокруг растений [4, 5]. Пыль, представленная элювием и перенесенная со склонов, смешивается с субстратом верхних горизонтов почв. Таким образом, материал аэрального происхождения (и его смеси) могут являться почвообразующей породой в горных территориях, где метаморфические сланцеватые породы перекрываются плащом мелкозема, в котором и формируется почва.

В горной части Пермского края горная тундра занимает площадь более 200 тыс. га. Почвы горной тундры в 50-х гг. прошлого столетия изучал М.А. Тифлов [13, 14]. В гольцовом поясе ученым выделены и описаны горно-тундровые (под моховой горной тундрой) и горно-тундровые задернованные (дерновинные тундры) почвы. Автор считал, что эти почвы представляют собой стадии единого почвообразовательного процесса [14]. После исследований М.А. Тифлова, тундровые почвы Уральской горной страны не изучали [9]. Материалы ученого почти не публиковались и сведений о почвах горной тундры мало.

Придерживаясь идеи ученого о едином почвообразовательном процессе в горных странах, почвы тундровой зоны и гольцового пояса представляют интерес с точки зрения их уникальности, а также почвообразования [1, 3, 4, 10–12, 16, 17].

Цель исследования – определить особенности формирования почв горно-тундрового пояса на хребте Басеги (заповедник «Басеги») по наличию и распределению щебня в профиле, что является важным диагностическим показателем для горных почв.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Горно-тундровый пояс располагается на высоте 850–950 м над уровнем моря (н.у.м.), занимает безлесные пространства верхних уступов нагорных террас. Почвообразование обусловлено суровым климатом, отсутствием снежного покрова с низкими температурами и сильными ветрами. Почвы формируются между камней с накоплением мелкозема на плотной породе.

Генезис почв изучали по 6 разрезам, заложенных на горе Северный Басег в горно-тундровом поясе на высоте 930–950 м н.у.м. Почвы расположены на выровненном участке на вершине горы с каменистыми россыпями и низкорослой растительностью. Классификационное положение исследуемых почв определено по «Полевому определителю почв России (2008) [8] представлено в табл. 1. Статистическая обработка выполнена с учетом происхождения горизонтов (минеральные, органогенные) с помощью программы STATISTICA 10.0 и Microsoft Excel.

Таблица 1. Классификация почв ГПЗ «Басеги».

Ствол	Отдел	Тип	Подтип	Формула	№
Первичного почвообразования	Слаборазвитые	Петрозем	Сухоторфяный	Оч-W-R	13
Постлитогенного почвообразования	Литоземы	Переговойный	Типичный	Оч-H-AH-AU-C	52
			Переговойно-торфяный	Оч-HTh-AH-ah-C	53
		Сухоторфяный	Типичный	Оч-TJ-R	14
		Торфяно-литозем	Переговойно-торфяный	Оч-O-Th-C	64
	Органо-аккумулятивные	Переговойно-темногумусовая	Элювиированная	Оч-ao-AH-AYel-C	51

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Из описания морфологических признаков, видно, что все изучаемые профили почв развиваются под очесом мощностью от 2 до 10 см. Гумусовый горизонт в данных условиях формируется не во всех почвах (табл. 2). Органогенные горизонты присутствуют во всех почвах, но различной мощности. Мощные торфяные горизонты в суровых условиях тундры не образуются.

Таблица 2. Морфологические признаки почв.

Показатели	Разрез 14	Разрез 64	Разрез 53	Разрез 52	Разрез 51	Разрез 13
Высота н. у. м., м	930	936	937	939	940	950
Наличие очеса (Оч)	+	+	+	+	+	+
Мощность Оч, см	10	3	4	8	3	2
Наличие АУ	–	–	+	+	+	–
Мощность АУ, см	–	–	14	10	18	–
Наличие Орг	+	+	+	+	+	+
Мощность Орг, см	15	10	3	7	7	15
Мощность профиля, см	25	25	20	25	38	15
Щебень в поверхностном горизонте, %	7.3	17.3	40.6	3.6	0.5	5.2

Примечание: Оч – очес, АУ – гумусовый горизонт, Орг – органогенный горизонт.

Выделены особенности морфологического строения почв горно-тундрового пояса: окраска горизонтов темная, много грубых растительных остатков; наличие органогенных горизонтов (переговойный, переговойно-торфяный, подстильно-торфяный); органогенные гори-

зонты большей мощности, чем минеральные гумусовые; почвенный профиль маломощный (менее 40 см), рыхлый; чаще бесструктурный, с различным содержанием щебня.

Почвенный покров является достаточно пестрым для таких небольших ареалов тундр среди каменистых россыпей и останцев. Это может указывать на то, что в тундровой зоне, среди гольцов, резко выражены микроклиматические (гидротермические) различия. Можно предположить, что почвы в горной тундре могут формироваться за счет надувания-навевания пылеватых частиц и отложения их с наветренной стороны и, соответственно ростом мощности профиля вверх. С подветренной стороны, напротив, можно предположить, что профиль почвы будет развиваться вглубь и накапливать мелкозем при активном физическом и морозном выветривании скальных пород *in situ* на высоте более 900 м н.у.м.

Содержание щебня в почвах варьирует в широких пределах и по количественному соотношению камней и мелкозема [9] исследуемые почвы подразделяются на некаменистые, слабо-, средне- и сильноскелетные. В поверхностных органогенных горизонтах почв содержание щебня низкое и колеблется в пределах от 0.5 до 17.0 %. В горизонтах минерального происхождения содержание щебня значительно выше и варьирует от 25 до 64 %.

Соотношение крупного, среднего, мелкого щебня влияет на почвообразовательные процессы в почвах.

Рассматривая содержание щебня размером 1–5 мм можно заметить существенную разницу в количественном содержании между минеральными и органогенными (торфяными) горизонтами (рис. 1а). Среднее значение содержания щебня в минеральных горизонтах в 6 раз выше, чем в органогенных.

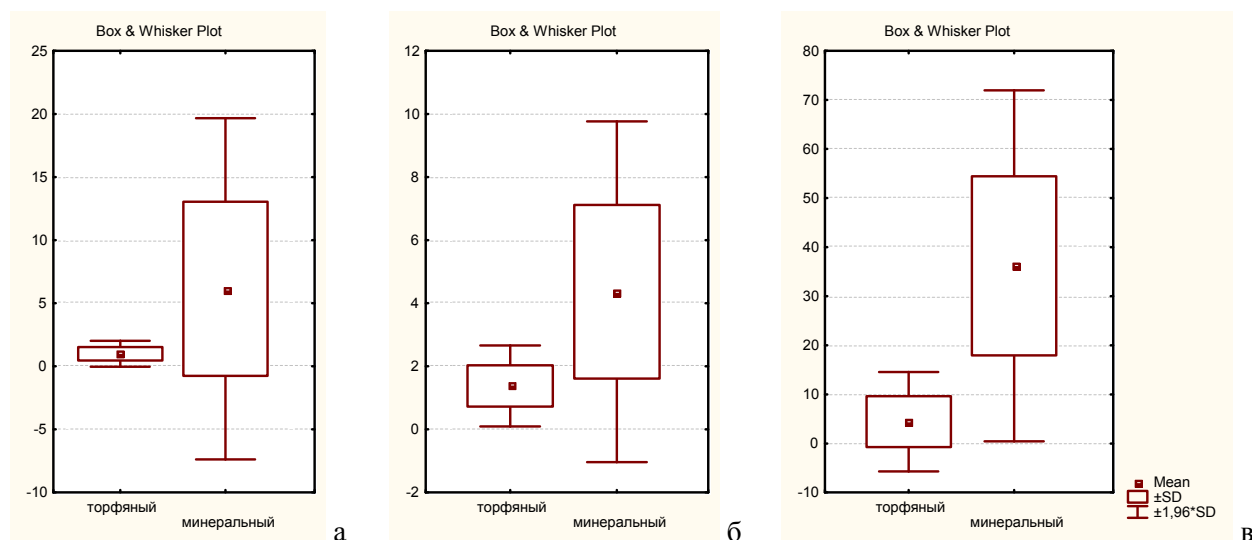


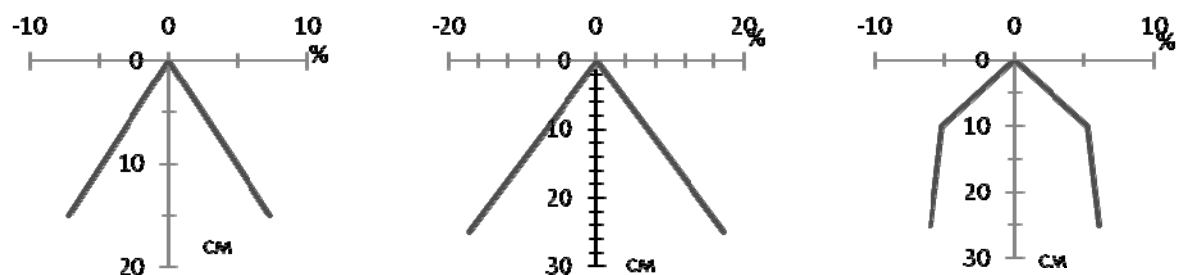
Рисунок 1. Статистическое распределение содержания щебня различного размера в органогенных и минеральных горизонтах почв горно-тундрового пояса. Содержание щебня размером: а – 1–5 мм; б – 5–10 мм; в – > 10 мм.

Содержание щебня размером 5–10 мм в минеральных горизонтах также выше и составляет 4.15–9.55 %. В торфяных горизонтах значения варьируют от 0.5 до 2.32 % (рис. 1б).

Количество щебня размером более 10 мм заметно отличается в минеральных и органогенных горизонтах. Если в минеральных горизонтах среднее значение составляет 36.20 %, то в органогенных это значение меньше в 8 раз и составляет 4.44 % щебня (рис. 1в). Для щебня размером более 10 мм (по сравнению с более мелким щебнем) наблюдается наибольший размах изменчивости как в органогенных, так и в минеральных горизонтах (рис. 1в).

По типу распределения щебня по профилю исследуемые почвы условно объединены в 2 группы. В первую группу мы отнесли почвы с ненарушенным сложением в ходе почвообразования, то есть «классическим» изменением содержания щебня по профилю: нарастанием его содержания с глубиной (рис. 2а, б, в). Кроме того, это указывает на формирование генетических горизонтов профиля либо в одних экологических условиях (рис. 2в), либо за

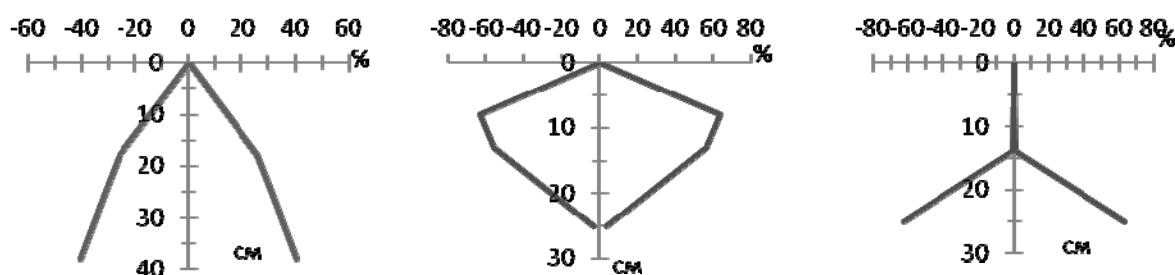
счет аэрального приноса мелкоземистой пыли на поверхность пород (рис. 2а,б). Так, в «не-нарушенных» почвах в тундровом поясе, при низком содержании щебня в поверхностных органогенных горизонтах протекают процессы разложения, консервации, минерализации растительных остатков, дернового процесса. Биологическое выветривание в верхней части профиля сменяется физическим и химическим в нижней части профиля.



а) Петрозем сухоторфяный, (р. 13, 950 м н.у.м.)

б) Литозем сухоторфяный (р. 14, 950 м н.у.м.)

в) Торфяно-литозем (р. 64, 948 м н.у.м.)



г) Перегнойно-темногумусовая (р. 51, 940 м н.у.м.)

д) Литозем перегнойный (р. 52, 939 м н.у.м.)

е) Литозем перегнойный (р. 53, 937 м н.у.м.)

Рисунок. 2. Распределение щебня в профиле почв.

Во вторую группу мы отнесли почвы, в профиле которых проявляется инверсия каменистости. Наиболее щебнистыми являются горизонты в верхней части профиля. Ниже доля щебня снижается (рис. 2д, е), а затем, с увеличением глубины может снова возрастать (рис. 2г). Такое распределение щебня может указывать на смену условий почвообразования и на полигенетичность профиля, наличие погребенных горизонтов. Минеральные горизонты формируются в результате физического и морозного выветривания, и профиль почвы развивается вглубь.

Для горизонтов различного происхождения (органогенные, минеральные) определены связи и их теснота между свойствами почв. Установлена средняя и сильная теснота связи между содержанием щебня в органогенных горизонтах и мощностью всего профиля. Наличие щебнистого материала в этих горизонтах создает условия для развития профиля вглубь. В отношении минеральных горизонтов такая связь выражается иначе: для роста профиля почвы необходимо наличие тонко щебнистого материала размером менее 5 мм. В органогенных горизонтах многие свойства зависят от содержания щебня, а в минеральных горизонтах почв с содержанием щебня связаны только содержание гумуса ($R=0.89$) и сумма обменных оснований ($R=0.74$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ содержания щебня в почвах горной тундры позволил выделить особенности генезиса почв: преобладает щебень размером более 10 мм, что указывает на активные процессы выветривания; в органогенных горизонтах щебня очень мало, а в минеральных напротив,

много; низкое содержание щебня или его отсутствие в органогенных горизонтах может указывать на аэральный привнос пылеватых частиц, создающих субстрат для развития тундровой растительности; горизонты, за счет различного содержания щебня являются механическими барьерами друг для друга, так как создаются неодинаковые гидротермические условия в пределах маломощного профиля.

По распределению щебня в профиле можно предположить, что профиль почв в горно-тундровом поясе растет в двух направлениях: вверх за счет роста мощности органогенных горизонтов (петрозем, литозем сухоторфяный, торфяно-литозем), и вниз за счет преобразования щебня в ходе выветривания и первичного почвообразования в мелкозем в минеральных горизонтах почв (перегнойно-темногумусовая элювиированная). Кроме того, возможно совместное проявление и сочетание этих направлений в развитии профиля (литозем перегнойный перегнойно-торфяный).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ерёмченко О.З., Филькин Т.Г., Шестаков И.Е.* Редкие и исчезающие почвы Пермского края. Пермь. 2004. С. 92.
2. *Иванова Е.Н.* Почвы Урала // Почвоведение. 1947. № 4. С. 213–227.
3. *Ильина Л.С., Кринари Г.А., Карпачевский Л.О., Морозов В.П.* Аэральный привнос минеральных веществ в лесные почвы Сихотэ-Алиня // Почвоведение. 1993. № 3. С. 5–13.
4. *Карпачевский Л.О.* Почвообразование в горах Сихотэ-Алиня. М.: ГЕОС, 2012. 138 с.
5. *Карпачевский М.Л., Шевченко Е.М.* Соотношение литогенных и ценогенетических факторов при формировании бурых лесных почв Среднего Урала // Почвоведение. 1997. № 1. С. 22–30.
6. *Михайлова Р.П.* Микроморфологические и химические особенности бурых грубогумусных почв центрально-горной полосы Среднего Урала // Почвоведение. 1976. № 6. С. 10–15.
7. *Михайлова Р.П., Градусов Б.П.* Химико-минералогический состав илистых фракций некоторых горных среднетаежных почв Урала // Почвоведение. 1969. № 6. С. 96–107.
8. *Полевой определитель почв России.* М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
9. *Самофалова И.А.* История изучения горных почв на Урале // Природа Басег: Труды ГПЗ «Басеги». Соликамск, 2015. Вып. 4. С. 15–32.
10. *Самофалова И.А., Лузянина О.А.* Горные почвы Среднего Урала (на примере ГПЗ «Басеги»). Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2014. 154 с.
11. *Самофалова И.А., Лузянина О.А., Соколова Н.В.* Морфолого-генетические особенности почв в субальпийском поясе (Средний Урал) // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2014. № 1 (60). Часть I. С. 24–28.
12. *Самофалова И.А., Лузянина О.А.* Почвы заповедника «Басеги» и их классификация // Пермский аграрный вестник. 2014. № 1 (5). С. 50–60.
13. *Тифлов М.А.* К познанию горных лугов Урала // Тр. Пермского СХИ. 1951. Т.13.
14. *Тифлов М.А.* Почвы горных лугов Западного Урала: Автореферат на соискание ученой степени канд. с.х. наук. Л., 1952. 18 с.
15. *Фирсова В.П.* Бурые горно-лесные почвы Урала // Почвоведение. 1991. № 4. С. 47–58.
16. *Samofalova I., Luzyanina O., Sokolova N.* Gravelly as diagnostic indicator for soils under subalpine meadows (for example reserve «Basegi») // Book of proceedings: 9th International Soil Science Congress on «The Soul of Soil and Civilization» 14–16 Oktober, 2014, Side, Antalya, Turkey. P. 443–447. <http://www.soil2014.com>.
17. *Samofalova I.A.* Geo-modeling of soil cover in inaccessible areas (Perm Region, the Middle Urals) // International Conference «Global Soil Map 2017». Proceedings. Moscow, Russia, July 4–6, 2017. М.: V.V. Dokuchaev Soil Science Institute & Agrarian-Technological Institute, RUDNUniversity, 2017. P. 77.

ВЛИЯНИЕ ЦИНКОВОГО ЗАВОДА НА ПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКОЙ ОБЛАСТИ)

Ж. Саркулова¹, Ф.Е. Козыбаева²

¹Казахский национальный аграрный университет, Алматы, Казахстан, zhadi_0691@mail.ru

²Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии
им. У.У. Успанова, Алматы, Казахстан, farida_kozybaeva@mail.ru

В статье рассматривается влияние выбросов цинкового завода на почвы прилегающих территорий в Восточном Казахстане. Показано, как изменяются физические свойства почв и содержание отдельных элементов при посадке растений на деградированные почвы и внесении биоугля.

ВВЕДЕНИЕ

Устойчивый рост основных экономических показателей Казахстана в последние годы во многом обеспечен развитием добывающих и перерабатывающих отраслей. Горнорудные работы, сельскохозяйственное производство, природные явления (оползни, сели, наводнения, лесные пожары, бессистемная вырубка лесных массивов, аварийные ситуации на производствах, загрязнения отходами и заброшенными боеприпасами бывших военных полигонов и т.д.) приводят к деградации и загрязнению почв. По данным Глобального Экологического Фонда, (2003) в глобальном масштабе 1035 млн га (территория равна размеру Канады) поверхности земли подвержены деградации, вызванной деятельностью человека.

В Казахстане богатые ресурсами недра разрабатываются во всех регионах шахтным либо открытым способом. Добыча и переработка различных полезных ископаемых характеризуется различными химическими процессами, которые сопровождаются выбросами в атмосферу различных газов. Они воздействуют на почвы или непосредственно в газовой форме (поглощаясь почвенным покровом) или предварительно взаимодействуют с парами воды и выпадают на поверхность Земли в виде дождя и снега [1]. Восточно-Казахстанская область (ВКО) в силу исторически сложившегося развития, связанного с преобладанием горнодобывающей промышленности цветной металлургии и, является одним из наиболее неблагоприятных регионов в Республике. Основные предприятия горно-металлургического комплекса расположены в зоне наиболее густой речной сети. Вследствие технической необходимости здесь же расположены наиболее крупные предприятия теплоэнергетики. Такое расположение означает, что все загрязняющие вещества с газообразными, жидкими и твердыми отходами от промышленных предприятий неизбежно попадают в речную сеть, почву, нанося экологический ущерб, как биоценозам, так и населению области. При этом нарушается почвенно-растительный покров территорий, порой происходит полное его уничтожение. Эти территории бесплодны, нередко токсичны, длительное время не зарастают, подвергаются эрозионным и деградационным процессам с ухудшением окружающей среды, нанося ощутимый ущерб здоровью человека [1, 3].

Цель работы – изучить влияние цинкового завода на свойства почв прилегающей территории, а также влияние посадок древесных растений и внесение биоугля на деградированные почвы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектам исследования являются черноземы выщелоченные, расположенные на прилегающей к Риддерскому цинковому заводу территории. Риддерский цинковый завод расположен в черте города в Восточно-Казахстанской области.

Разрез 1 был заложен в 250 м от завода в восточном направлении на сильноэродированной поверхности склона на левом берегу р. Тихая. На данной территории растительный покров сохранился частично. Есть участки с ивами, но более значительны площади, лишенные растительного покрова (рис. 1). На склоне (уклон 15–20°) к речке образовались глубокие промоины и бороздки. Наблюдается смыв верхних слоев почвы в речку (рис. 2).



Рисунок 1. Участок без растительности



Рисунок 2. Смыв почвы в р. Тихая

Кроме того были изучены черноземы выщелоченные на территории опытного участка ТОО «Казахский научно-исследовательский институт почвоведения и агрохимии им. У.У. Успанова», где были проведены работы по созданию многоярусных, разновозрастных и смешанных по породному составу зеленых насаждений древесных растений устойчивых к воздействию выбросов перерабатывающей промышленности. Первоначально ассортимент растений состоял из 128 видов из 14 видов трав и 3 трав для биологической рекультивации. Осенью 2014 года было добавлено 8 видов деревьев и более 4 видов весны. Общий размер составил 98 единиц. (рис. 3) Особенно характерно позднее начала одревеснения, разница которых возрастает от 10 до 18 дней.



Рисунок 3. Подготовка почвы и посев трав на экспериментальном участке.

В целом, можно говорить как о предадаптационном периоде у древесных пород, так и влиянии почвенного и атмосферного загрязнения на растения. У высаженных культур характерно слабое облиствление кроны, повреждение краев и ожоги листовых пластинок, преждевременная осенняя окраска листьев (рис. 4). В посадочные ямы отдельных культур добавлялась дисперсная фракция углеродосодержащего сырья. Для жизненной формы кустарника третьей величины (0.5–1.5 м) вносилось 0.5 кг, кустарники второй и первой величины (1.5 и < 2 м) – 0.9 кг, под деревья вносилось – 1.2 кг смеси. Разрез 2 был заложен на участке, где биоуголь не вносился. Разрез 3 был заложен на участке, где под высаженные культуры был внесен биоуголь.

В разрезе 1 образцы для лабораторных исследований были отобраны с глубин: 0–5 см, 5–15 см, 15–50 см, 50–70 см, 70–95 см, 95–105 см. В разрезах 2 и 3 образцы отбирались с глубин 0–10 см, 10–20 см, 20–30 см.



Рисунок 4. На экспериментальном участке с высаженными культурами.

В отобранных образцах были проведены следующие анализы:

- определение гранулометрического состава;
- определение полевой влажности;
- определение объемной массы;
- определение содержания гумуса;
- определение суммы поглощенных оснований;
- определение подвижных форм азота и фосфора;
- определение содержания тяжелых металлов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

По результатам анализа гранулометрического состава почв верхние горизонты всех изученных почв характеризуются как суглинки тяжелые, иловато-крупно-пылеватые. С глубиной их состав изменяется вследствие скопления тонких пылевато-илистых фракций. Здесь грунт характеризуется нами как легкоглинистый иловато-крупно-пылеватый. Передвижение тонких фракций почв по профилю и скопление их в нижележащем горизонте свидетельствуют о формировании более уплотненного вмывного иллювиального горизонта, что характерно для данного типа почв. Результаты гранулометрического состава представлены на рис. 5.

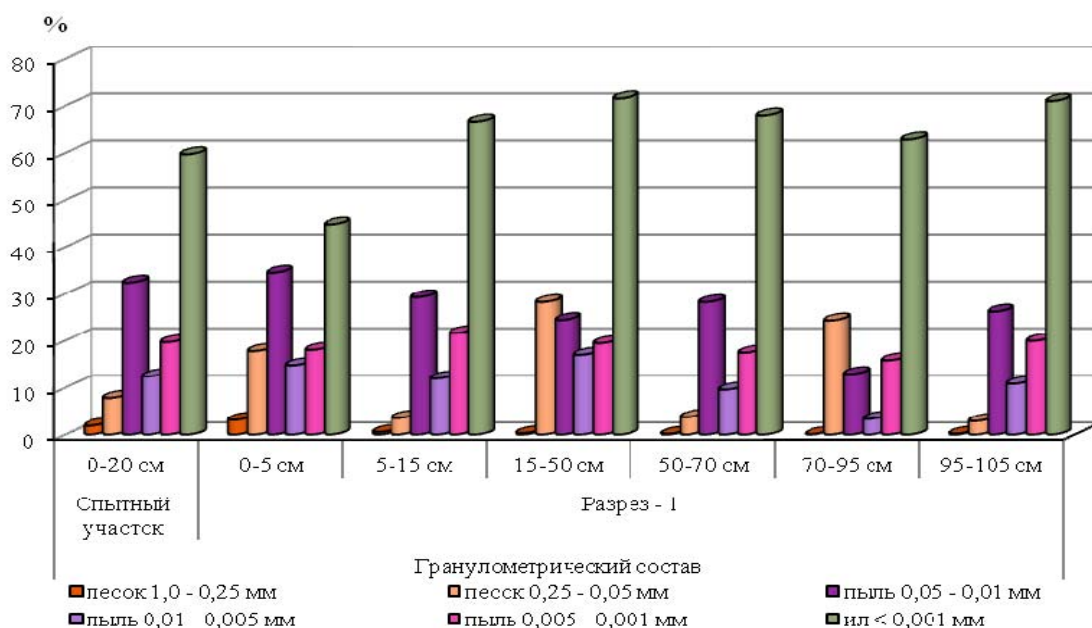


Рисунок 5. Гранулометрический состав почв, %.

На исследуемых зональных эродированных почвах опытного участка полевая влажность в поверхностном слое (0–10 см) составляет 18,2–19,1 %. В варианте с биоуглем отмечается небольшое увеличение полевой влажности. Здесь проявляются сорбционные свойства

биоугля. С глубиной полевая влажность увеличивается до 28.1 %, что может быть связано с климатическими условиями предгорий (с атмосферными осадками более 600–700 мм в год) и тяжелосуглинистым гранулометрическим составом (рис. 6).

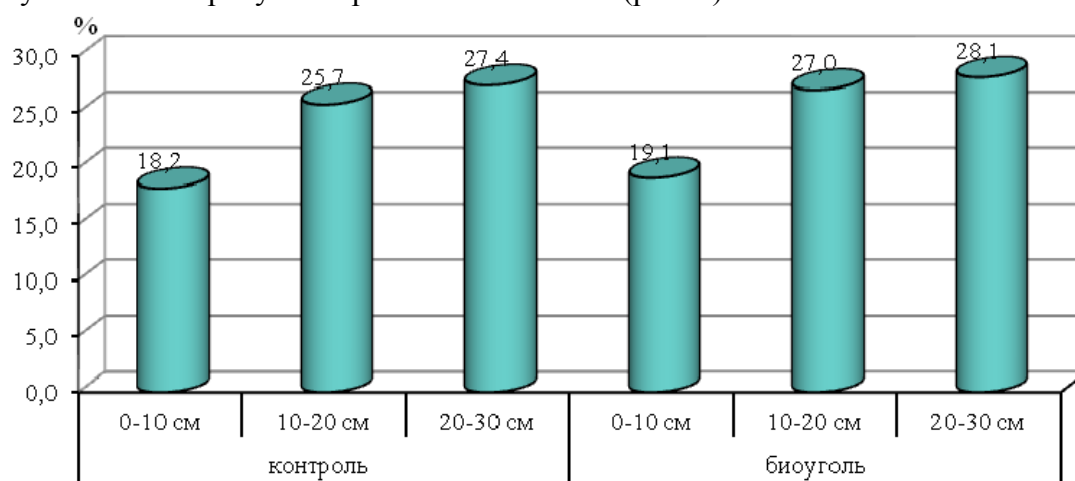


Рисунок 6. Полевая влажность почв опытного участка, %.

На исследуемых почвах опытного участка объемная масса составляет 1.1–1.4 г/см³ (рис. 7). Объемная масса деградированных почв выше, чем в черноземных почвах ненарушенных ландшафтов. Здесь существенно влияют тяжелые металлы (ТМ) [1]. Они меняют состав гумусовых кислот, что влияет на агрегатное состояние почв: идет увеличение тонких фракций, кальций вытесняется из поглощающего комплекса, и в результате чего разрушаются агрегаты и происходит уплотнение почвы, особенно в верхнем горизонте. По гранулометрическому составу верхние горизонты характеризуются как суглинки тяжелые, иловато-крупно-пылеватые. С глубиной их состав изменяется вследствие скопления тонких пылеватых-илистых фракций и становятся легкой глинисто-иловато-крупно-пылевой. Передвижение тонких фракций почв по профилю и скопление их вниз лежащем горизонте свидетельствуют о формировании более уплотненного вымывного иллювиального горизонта [3].

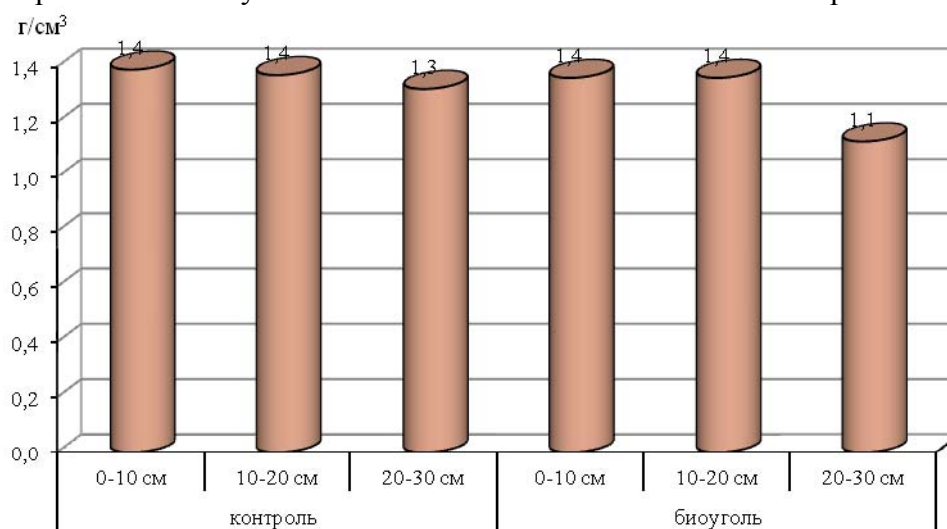


Рисунок 7. Объемная масса почв опытного участка, г/см³.

Количество гумуса в верхнем горизонте деградированного чернозема (разрез 1) составляет – 6.7 %. С глубиной отмечается постепенное снижение содержания гумуса (рис. 8).

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный, с проявлениями эрозионных процессов и частичной смытостью гумусового горизонта. Почва содержит 4.9 % гумуса. В сравнении с черноземом выщелоченным (разрез 1) (6.7 %) в почве опытного участка произошло снижение содержания общего гумуса на 20 %.

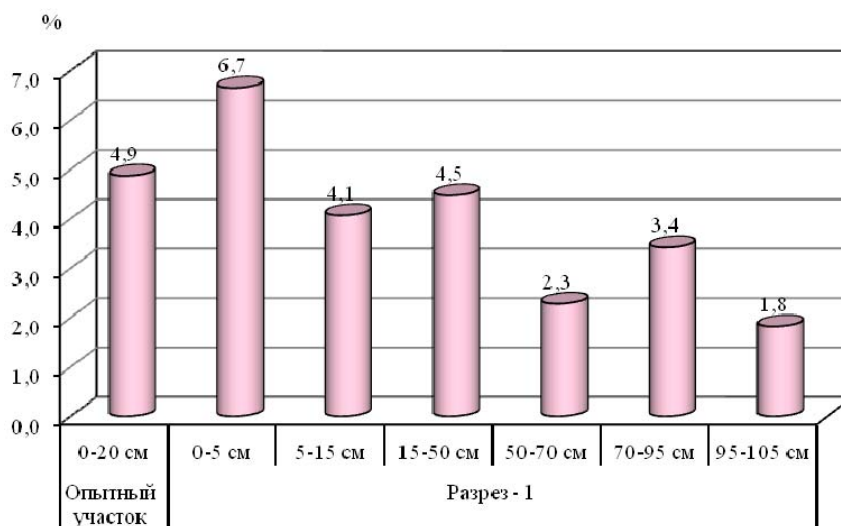


Рисунок 8. Содержание гумуса в исследованных почвах, %.

Сумма поглощенных оснований в почве опытного участка составляет 18.4 мг/кг. В составе поглощенных оснований преобладает кальций. Сумма поглощенных оснований почв разреза 1 составляет 12.00–25.81 мг/кг (рис. 9). Уменьшение суммы поглощенных оснований следует объяснить проявлениями эрозионных процессов (явление смыва верхнего горизонта) и влиянием тяжелых металлов, комплексобразования и вытеснения поглощенных оснований. В ППК почв опытного участка произошли трансформационные процессы. Так, поглощенный катион кальция в условиях загрязнения выбросами цинкового завода снизился в верхних горизонтах. Произошло снижение суммы поглощенных оснований. Возможно, трансформационные процессы происходят и в других свойствах почвы, исследуемого опытного участка.

Обеспеченность почв усвояемыми формами азота и подвижным фосфором невысокая. Содержание подвижного калия составляет в 0–20 см слое 423.0 мг/кг. По профилю почв наблюдается уменьшение содержания подвижного калия (рис. 10). В почвах опытного участка содержание калия выше, чем в деградированной почве, содержание азота и фосфора отличается существенно.

Было установлено, что наибольшая вариабельность наблюдается в содержании подвижного фосфора в 0–20 см горизонте ($V = 10.88\%$), подвижного калия ($V = 4.76\%$), а минимальная вариация отмечается в содержании легкогидролизуемого азота и составляет для 0–20 см горизонта почвы 4.56 %.

Почвы опытного участка в верхних горизонтах содержат тяжелые металлы, превышающие ПДК в два–десять раз. Основными загрязнителями являются цинк, свинец, медь. Почвенное органическое вещество способно образовывать комплексы с ионами свинца. При этом поглощение свинца полностью или частично происходит за счет вытеснения других ионов. При загрязнении прочнее всего в почве закрепляются медь, свинец. Фиксация их происходит за счет комплексобразования с органическим веществом и в меньшей степени за счет специфической сорбции минеральными компонентами, цинк и кадмий в почве связываются слабее.

По результатам анализов содержание тяжелых металлов в исследуемой черноземной выщелоченной почве по всем элементам превышает предельно допустимые нормы. На экспериментальном участке, в разрезе 1 (0–25, 25–56 см) повышенная концентрация тяжелых металлов отмечается в верхних слоях. С цинкового завода идут выбросы тяжелых металлов, что негативно сказывается на почвенный и растительный покров района цинкового завода. Этот участок сильно загрязнен, особенно верхние горизонты почвы. Загрязнение цинком превышает ПДК в 391.7 раза. Такое высокое загрязнение сильно сказывается на растительном покрове.

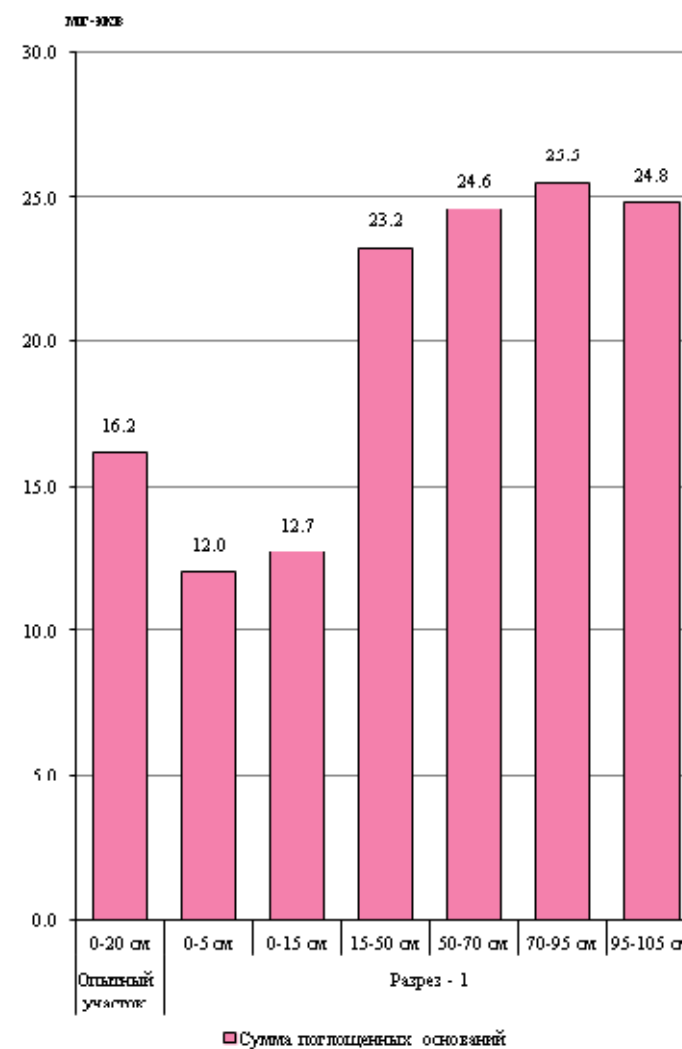
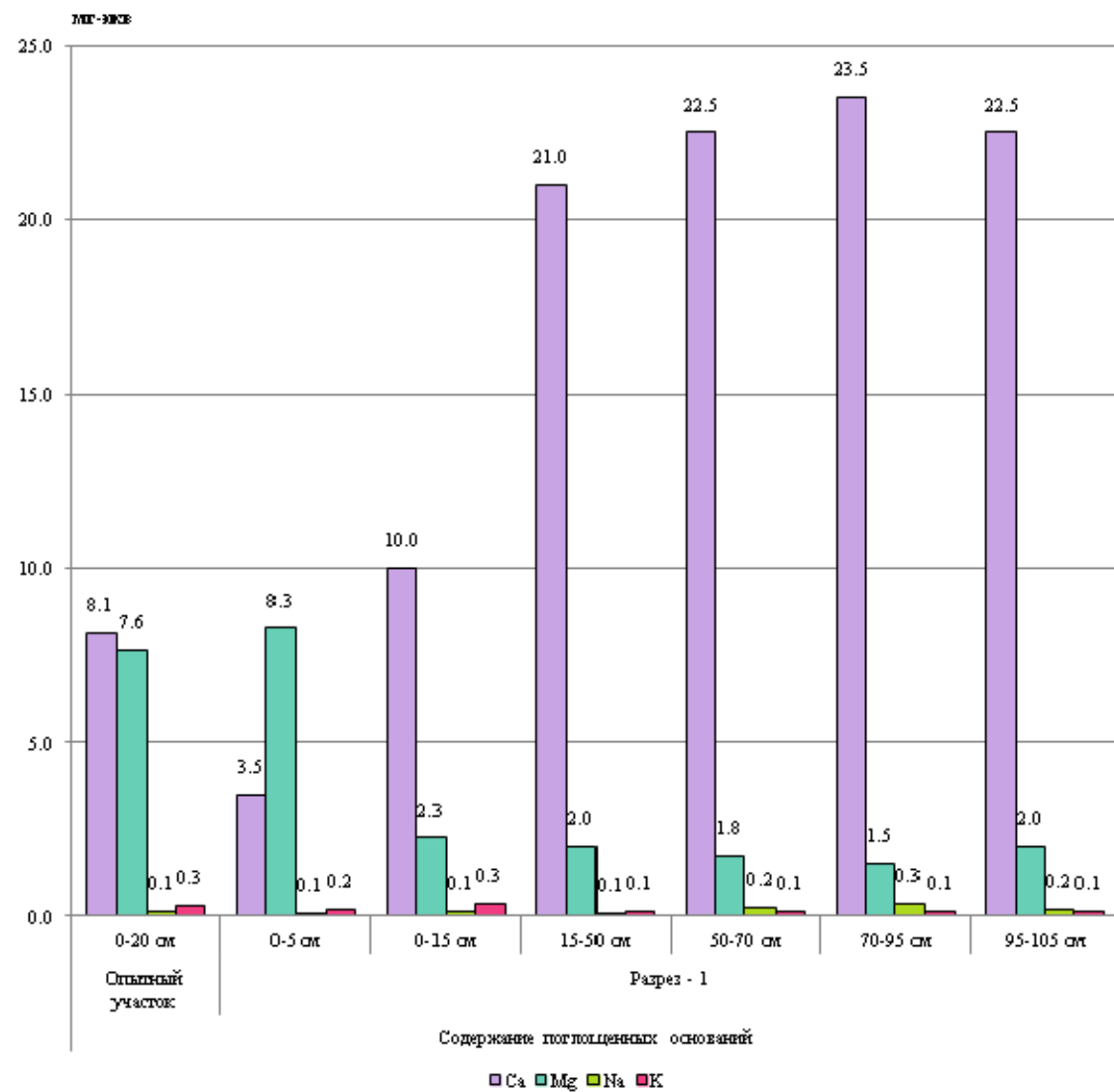


Рисунок 9. Содержание поглощенных оснований в почвенном покрове, мг-экв.

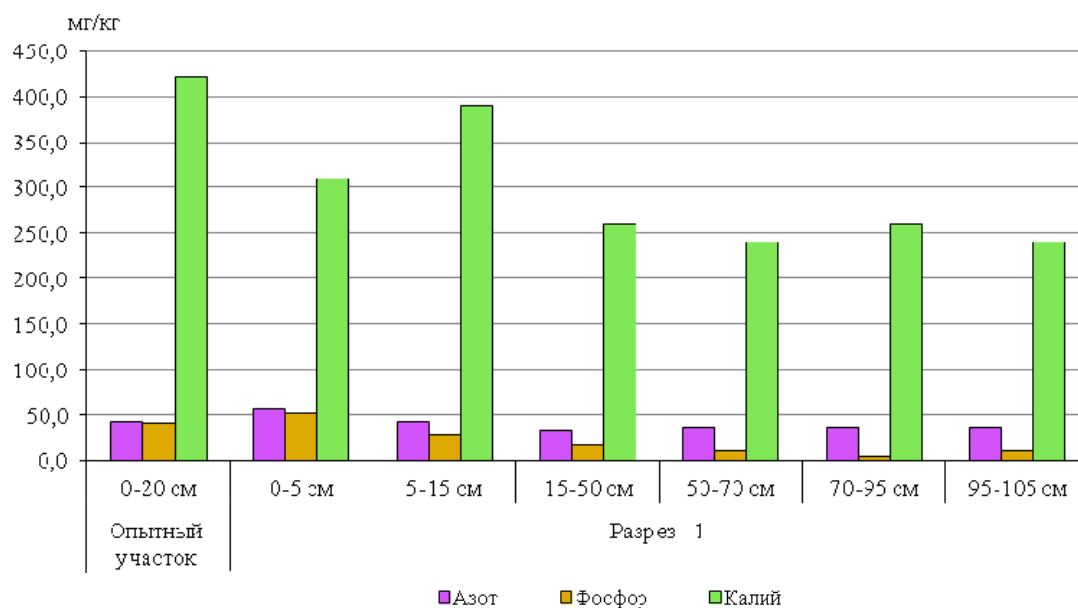


Рисунок 10. Содержание подвижных форм азота, фосфора и калия (мг/кг).

Данные показывают, что чем ближе источник загрязнения, тем выше содержания тяжелых металлов (рисунок 11). По статистическим данным вариационный коэффициент (V , %) по цинку составляет 4.3–44.3, по меди 13.3–53.4, по свинцу 12.0–82.2 %. По результатам анализов содержание тяжелых металлов в исследуемой черноземной выщелоченной почве по всем элементам превышает предельно допустимые нормы. На опытном участке (0–20 см) и в разрезе (0–5, 5–15 см) повышенная концентрация тяжелых металлов отмечается в верхних слоях. С цинкового завода идут выбросы тяжелых металлов, что негативно сказывается на почвенный и растительный покров района цинкового завода. Этот участок сильно загрязнен, особенно верхние горизонты почвы. Загрязнение цинком превышает ПДК в 391.7 раза. Такое высокое загрязнение сильно сказывается на растительном покрове. Антропогенное загрязнение почвы химическими элементами отрицательно отражается на растениях. Попадая в растение, тяжелые металлы подавляют нормальный ход метаболических процессов, тормозят развитие, снижают продуктивность, делают непригодной и опасной растительную продукцию для потребления животными и человеком.

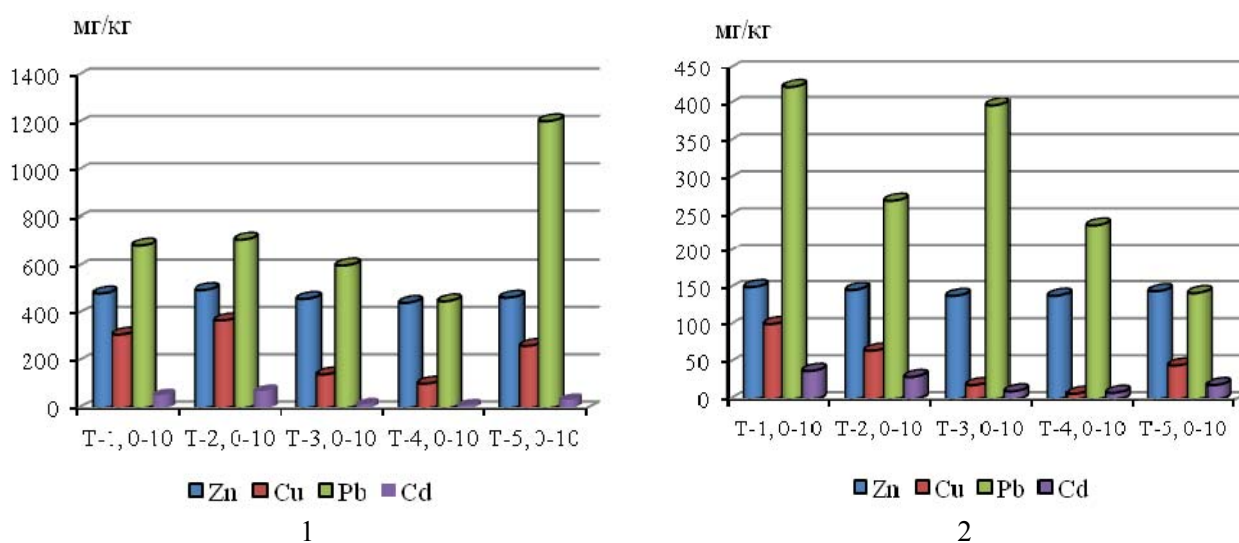


Рисунок 11. Содержание тяжелых металлов в почвах, мг/кг.
Риддерский цинковый завод, эродированный участок:
1 – валовые формы ТМ; 2 – подвижные формы ТМ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Влияние цинкового завода на почвы прилегающих территорий заключается в загрязнении тяжелыми металлами. В результате исследования выявили, что основным источником загрязнения опытного участка является цинковый завод. Ареал распространения выбросов завода в окружности составляет 2 км, с особенным влиянием по розе ветров в восточном направлении от завода в сторону города. Почвенный покров территории лишен растительности, и подвергнут глубоким эрозионным процессам. Выбросы тяжелых металлов повлияли на физические свойства почвы. В результате разрушения почвенных агрегатов в гранулометрическом составе и вытеснение из почвенно-поглощающего комплекса катионов кальция увеличилась тонкая пылеватая фракция, что в свою очередь вызвала уплотнение почвенных горизонтов. Ухудшении физических свойств почвы (плотность, агрегатное состояние), гибели растений. В связи с этим почва становится подвержена эрозии, верхний слой смывается. Согласно проведенным исследованиям наибольшее влияние отмечается в уплотнении почв, снижении количества поглощенных оснований и смыва верхнего слоя почвы. Тем не менее, на опытном участке с посадками растений повышается содержание поглощенных оснований и подвижного калия. Биоуголь проявляет сорбционные свойства, что повышает полевую влажность почвы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Akhanov J.U., Shainberg I. M., Otarov A., Ibraeva M.A. Soils protection from irrigation erosion and selection of optimal methods of irrigation // Научные основы воспроизводства плодородия, охраны и рационального использования почв Казахстана. – Алматы: Тетис. 2001. – С. 99.
2. Козыбаева Ф.Е., Бейсеева Г.Б., Даутбаева К.А. The consequences of soil melioration and contamination of vegetation with heavy metals and the influence of heavy metals on the soil microarchy // Журнал Почвоведение и агрохимия. 2016. № 1. С. 43–55.
3. Козыбаева Ф.Е., Бейсеева Г.Б., Сагат Н.А. International scientific-practical conference of young scientists «Agro-industrial complex of young scientists: contribution to industrial-innovative development» // Влияние горнодобывающих компаний на почвенно-растительную систему. // Алматы. 21–22 Апрель. 2016. Т. 1. 127–132.

УДК 631.468.52

ЭКОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КИШЕЧНОГО СООБЩЕСТВА ДИПЛОПОД

А.М. Сухачева¹, И.В. Сотников¹, И.И. Семенюк²

¹Факультет почвоведения МГУ

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

Физиологическое разнообразие кишечного гидролитического бактериального блока выше, чем корма и экскрементов и возрастает в ряду: кишечник винных бражников – кишечник вьетнамских диплопод-сапрофагов – кишечник эпифитов *Cryxus ovalis* – *Cylidroiulus caeruleocinctus*. Оно прямо коррелирует с увеличением трофической специализации на разложении труднодоступных полимеров. Физиологическое разнообразие и трофическая специализация существенно изменяются по времени и местообитаниям из-за лабильности кишечного блока.

ВВЕДЕНИЕ

Почвенные беспозвоночные сапрофаги – ключевое звено детритной пищевой цепи, они вносят огромный вклад в поддержку круговорота веществ и энергии в экосистеме [1]. При «симбиотическом пищеварении» с кишечными бактериальными комплексами они гумифицируют и минерализуют органические остатки, снабжают растения элементами питания и обогащают почву ферментами, гумусом и почвенными агрегатами, образующимися из их экскре-

ментов. Одной из важных функций кишечного сообщества сапротрофных почвенных животных является разложение полимерных соединений, содержащихся в пище беспозвоночных.

Двупарноногие многоножки (*Diplopoda*) – почвенные первичные сапрофаги, многочисленные как в лесных массивах умеренного климата, так и в тропических лесах. Большое видовое разнообразие этих животных в тропиках по сравнению с умеренными зонами связано отчасти с их трофической специализацией [2]. Следует ожидать больших различий в составе кишечных бактериальных блоков, особенно у специализированных видов.

В данной работе проведено сравнение кишечных бактериальных комплексов тропических видов многоножек, склонных к полифагии, и диплопод, склонных к питанию определенным субстратом. Переваривание пищи почвенными сапротрофными животными осуществляется в ассоциации с кишечным бактериальным блоком («симбиотическое пищеварение»). Имеющиеся данные о таксономическом составе кишечного бактериального блока диплопод и интенсивности протекания биохимических процессов недостаточны для всесторонней характеристики явления. Установление функциональной организации кишечного микробиома остается одной из важнейших задач для специалистов по зоомикробным взаимодействиям.

Целью данной работы было установление экофизиологических особенностей кишечного гидролитического бактериального блока и его физиологического разнообразия у различных видов диплопод.

Задачи:

1. Сравнить гидролитический кишечный бактериальный блок различных трофических и систематических групп диплопод.

2. Провести классификацию гидролитического кишечного бактериального блока по экофизиологическому параметру «микробный экономический коэффициент (Y)» инициированных гидролитических сообществ» методом главных компонент (ГК).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследовались двупарноногие многоножки семейства настоящих кивсяков (*Julidae*) *Cylidroiulus caeruleocinctus* – многочисленные подстилочные синантропные полифаги, что делает их показательным модельным видом для городских экосистем. *C. caeruleocinctus* собирались в Москве на Воробьевых горах в осенний период и до вскрытия содержались в почвенных микрокосмах в лаборатории на листовом опаде клена остролистного. Также исследовались вьетнамские многоножки из нескольких семейств (табл. 1) собранные в Южном Вьетнаме, в муссонных джунглях национального парка «Кат Тьен». Они также содержались на родном субстрате опаде или гнилой древесине в лабораторных условиях. Пищевая специализация многоножек представлена в табл. 1. Также для сравнения взяты кишечники фитофага-монофага среднего винного бражника, собранные на растениях кипрея болотного.

Таблица 1. Пищевая специализация многоножек исследованных в работе.

Вид	Трофическая специализация
<i>Nedyopus dawydoffiae</i>	Ассоциированы с гниющей древесиной
<i>Engoffosoma digitatum</i>	Заселяют листовую пол и листовую опад, полифаги
<i>Engoffosoma ancoriforme</i>	
<i>Orthomorpha sp. 1</i>	Эврибионты, полифаги
<i>Orthomorpha sp. «red»</i>	Стенофаги
<i>Desmoxytes pilosa</i>	Заселяют листовую опад, гниющую древесину, лесной пол, полифаги
<i>Desmoxytes catiensis</i>	
<i>Cylidroiulus caeruleocinctus</i>	Заселяет подстилку, синантропный вид, полифаги
<i>Thyropigus carli</i>	Эврибионты, полифаги с уклоном в зоофагию
<i>Thyropigus corallinus</i>	Эврибионты, синантропный вид, полифаги
<i>Cryxus ovalis</i>	Ассоциированы со стволами деревьев, полифаги

Исследование проводилось комплексным структурно-функциональным методом [3], изучающим микроорганизмы не на классических уровнях их изучения в почвенной микробиологии (отдельных таксонов или целого микробного комплекса), а на уровне ассоциаций

(смешанных культур), возникающих в микронеше из пула микроорганизмов, которые непосредственно осуществляют какой бы то ни было процесс в природе. За неимением возможности работать с подобными сообществами в природе при использовании метода их можно имитировать посредством создания инициированных сообществ. В работе исследуются инициированные гидролитические бактериальные сообщества, содержащие помимо гидролитических микроорганизмов негидролитические бактерии-спутники. Это позволяет оценить часть гетеротрофного аэробного и факультативно-анаэробного природного бактериального комплекса из филумов *Firmicuta*, *Bacteroides*, *Actinobacteria*, *Proteobacteria*. Сукцессия инициированных гидролитических сообществ, в которые помимо самих гидролитических бактерий входят и негидролитические бактерии-спутники (копиотрофы и олиготрофы), описывается как рост и отмирание смешанной периодической культуры бактерий (ассоциации) с помощью кинетических параметров комплексной математической модели периодической культуры [3]. Такими параметрами являются микробный экономический коэффициент, максимальная удельная скорость роста, метаболический коэффициент и т.д. Сукцессия гидролитических сообществ в микрокосмах (ячейках 96-луночных культуральных планшетах) иницируется внесением в ячейки водной суспензии клеток исследуемого природного сообщества и набора селективных жидких питательных сред, содержащих минеральные соли среды Чапека и биополимер животного, микробного или растительного происхождения как единственный источник углерода (табл. 2). Для подавления роста грибов в питательные среды добавляется антибиотик нистатин и циклогексимид. Сукцессия (рост и отмирание) определяется в динамике (измерения каждые 30 мин) в течение 300–400 часов по оптической плотности при 620 нм на иммуноферментном анализаторе «Sunrise» фирмы «Тесан». Температура инкубаций 25 °С. На основании калибровочного графика зависимости оптической плотности суспензии от концентрации клеток был получен коэффициент $2 \cdot 10^9$ для пересчёта значений оптической плотности бактериальной суспензии в концентрацию клеток. На основании первичных кинетических параметров, описывающих инициированные гидролитические сообщества, с помощью метода многомерного анализа данных выводятся интегральные показатели, которые позволяют разделить между собой исследуемые сообщества. Поскольку эти параметры разделяют природные (материнские по сравнению с иницированными нами в микрокосмах) сообщества, они имеют биологический смысл, который определяется из взаиморасположения природных микробных сообществ в пространстве интегральных показателей.

Таблица 2. Некоторые характеристики используемых полимеров.

Полимер	Происхождение	Лёгкость разложения
Кератин	животное	трудно
Хитин	животное и грибное	трудно
Целлюлоза	растительное	трудно
Агароза	красные водоросли	трудно
Крахмал	растительное	легко
Ксилан	растительное	легко
Инулин	растительное	легко
Декстран 500	бактериальное	легко
Пектин	растительное	легко
Твин 20	общее	легко
Казеин	общее	легко
Нуклеиновая кислота	общее	легко

В данной работе анализируется только один кинетический показатель – микробный экономический коэффициент инициированных гидролитических бактериальных сообществ:

$$Y = \frac{x_m}{s_0},$$

где x_m – максимальная концентрация клеток, достигаемая на питательной среде с полимерами, s_0 – исходная концентрация полимеров в среде, равная 2.5 г/л.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для того чтобы выявить закономерности изменения Y иницированных сообществ, связанные с различиями в природных микробных сообществах, был проведён анализ данных методом главных компонент для 520 образцов почв и почвоподобных объектов. Анализ выявил два статистически значимых фактора (главная компонента 1 и 2), суммарно объясняющих 64 % дисперсии и разделяющие природные микробные сообщества. Влияние первого фактора (главная компонента 1, объясняющая 54 % дисперсии) на природные сообщества отражается в иницированных сообществах через изменение $\bar{Y}$ – среднеарифметического микробного экономического коэффициента рассчитанного по всем 12 средам с полимерами. После анализа значения этого параметра для различных природных сообществ микроорганизмов, был сделан вывод, что биологический смысл этого фактора – физиологическое разнообразие бактериального комплекса, ассоциированного с разложением биополимеров в природе. Когда величина $\bar{Y}$ высока, это означает, что продуктивность иницированных гидролитических сообществ высока, и они эффективно разлагают полимер. Это возможно в том случае, когда в исходном материнском природном бактериальном сообществе есть физиологически разнообразные гидролитики, которые могут расти, разлагая разные полимеры в разных условиях окружающей среды, в том числе, в селективных условиях жидких питательных сред, использованных в работе.

Биологический смысл второго фактора, влияние которого прослеживается в экономических коэффициентах – это $Y_{разн}$ – разность среднеарифметических экономических коэффициентов на трудно и легкодоступных полимерах (табл. 2). Это отражает трофическую специализацию гидролитического бактериального комплекса природных сообществ. В почвенной микробиологии под гидролитиками в узком смысле этого слова понимаются микроорганизмы, которые разлагают только труднодоступные полимеры (хитин, целлюлозу, агарозу, кератин). Бактерии, которые разлагают легкодоступные полимеры, такие как нуклеиновая кислота, казеин и т.д., не относятся к этой группе. Метод главных компонент подтвердил принципиальные отличия экономических коэффициентов иницированных сообществ на этих двух типах полимеров. То есть существует группа иницированных сообществ, разлагающих легкодоступные полимеры и другая группа, сообщества в составе которой разлагают труднодоступные полимеры.

Для понимания значения результатов, полученных для кишечных сообществ, используются эти интерпретации интегральных параметров. При анализе рис., можно сделать выводы об экофизиологических особенностях кишечных гидролитических блоков.

ВЫВОДЫ

1. Физиологическое разнообразие копиотрофного аэробного гидролитического бактериального блока почв и опада ниже, чем в кишечнике диплопод. Увеличение физиологического разнообразия в почвах приводит к увеличению трофической специализации на разложении легкодоступных полимеров в отличие от кишечника, в котором увеличение физиологического разнообразия приводит к увеличению трофической специализации на разложении труднодоступных полимеров.

2. Физиологическое разнообразие возрастает в ряду: кишечник винных бражников – кишечник вьетнамских диплопод-сапрофагов – кишечник *Cryxus ovalis* – кишечник *Cylidroiulus caeruleocinctus*. Варьирование степени физиологического разнообразия и трофической специализации выражено сильнее у полифагов *Cylidroiulus caeruleocinctus* и *T. coralinus*, чем у многоножек-ос. По этому параметру *Cryxus ovalis*, живущий на деревьях ближе к полифагам.

3. Физиологическое разнообразие гидролитического бактериального блока больных многоножек снижается по сравнению с сообществом кишечника здоровых животных.

4. От сбора к сбору физиологическое разнообразие и трофическая специализация у диплопод существует и изменяется, что указывает на высокую лабильность кишечного бактериального блока. Физиологическое разнообразие и трофическая специализация свежих (суточных) экскрементов и корма близки, что указывает на большую долю в экскрементах транзитного бактериального комплекса почв.

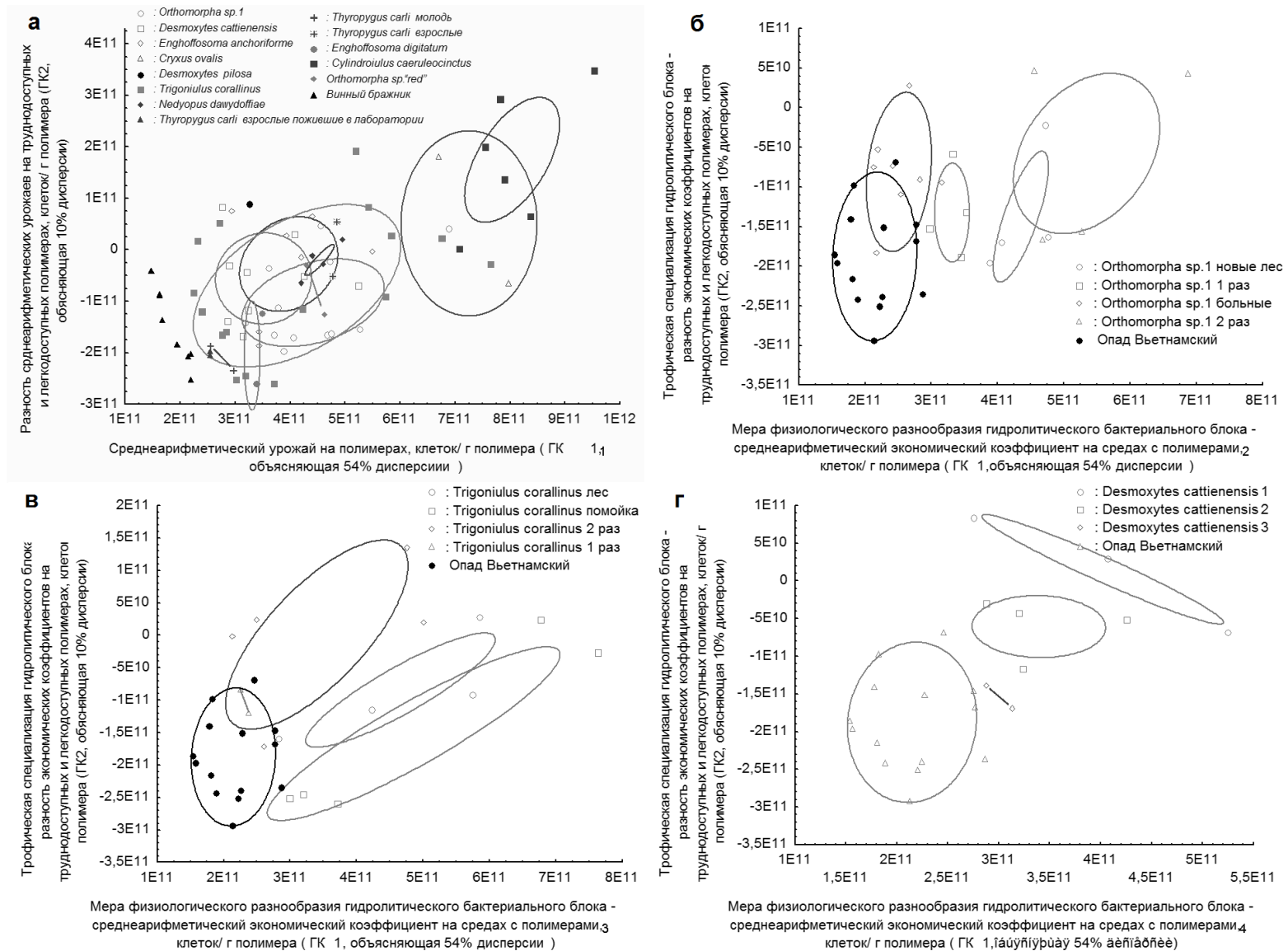


Рисунок. Физиологическое разнообразие и трофическая специализация гидролитических бактериальных сообществ: а – все кишечные сообщества, б – *Orthomorpha sp. 1*, в – *Thyropigus corallinus*, г – *Desmoxytes catiensis*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гиляров М.С., Стриганова Б.Р. Роль почвенных беспозвоночных в разложении растительных остатков и круговороте веществ. // Зоология беспозвоночных. М.: ВИНТИ, 1978, т.5. С. 5–70.
2. Семенюк И.И. Трофическая и топическая специализация диплопод (*Diplopoda*, *Myriapoda*) как механизм поддержания видового разнообразия таксоценоза. Автореферат дис. ... канд. биол. наук. М., 2012. 24 с.
3. Якушев А.В. Комплексный структурно-функциональный метод характеристики микробных популяций // Почвоведение. 2015. № 4. С. 429–446.

Работа рекомендована к.б.н., м.н.с. А.В. Якушевым.

УДК 631.421.2:631.872:631.417.4

ВЛИЯНИЕ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА СКОРОСТЬ МИНЕРАЛИЗАЦИИ ПШЕНИЧНОЙ СОЛОМЫ И УГЛЕРОДНО-АЗОТНЫЙ СТАТУС ПОЧВ

А.Н. Уляшкина¹, А.С. Тулина²

¹РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва

²Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Пущино

Влияние температуры и влажности на минерализацию пшеничной соломы и изменение содержания минерального азота в почвах трех типов в результате инкубации изучали в двух 150-суточных экспериментах. Показано, что гидротермические условия контролировали минерализацию соломы, которая в вариантах без почвы лимитировалась азотом, поэтому не превышала 17 %, в вариантах с почвами достигала 87 % от исходного количества, а от типа почвы зависела несущественно. Повышение температуры инкубации усиливало минерализацию органических азотсодержащих соединений. В почвах без соломы при температуре 18 и 28 °С накапливалось вдвое больше минерального азота, чем при 8 °С. Внесение соломы при 8 °С способствовало нетто-иммобилизации, а при 18 и 28 °С – нетто-минерализации азота в почвах.

Ключевые слова: гидротермические условия, углерод, азот, минерализация, иммобилизация

ВВЕДЕНИЕ

Растительные остатки, включая побочную продукцию культур, биомассу промежуточных посевов и сидератов, оказывают многостороннее прямое и косвенное действие на физические, химические и биологические свойства почвы, ее воздушный, температурный и питательный режимы [1]. Растительные остатки являются незаменимым источником воспроизводства почвенного органического вещества, средством формирования агрегатов и улучшения структуры почвы, фактором регулирования подвижности элементов минерального питания растений, питательным и энергетическим субстратом для микроорганизмов [2]. Поступление растительных остатков в почву и их трансформация в гумусовые вещества и органо-минеральные комплексы представляет собой путь секвестрации углерода и снижения концентрации диоксида углерода в атмосфере. Разложение в почве растительных остатков с широким отношением C/N, в частности, соломы, сопровождается иммобилизацией азота, в результате чего уменьшаются его газообразные и инфильтрационные потери [3]. Температура и влажность являются основными природными факторами, контролирующими процессы минерализации органического вещества [4].

Целью исследований было установить влияние гидротермических условий на скорость разложения пшеничной соломы и накопление минерального азота в почвах трех типов.

Исследования проведены при поддержке РФФИ, грант № 17-04-00707_а.

© А.Н. Уляшкина, А.С. Тулина, 2018

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В двух длительных лабораторных опытах, проведенных в Институте физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, использовали образцы серой лесной почвы, оподзоленного чернозема и темно-каштановой почвы, отобранные на пахотных участках из 0–20 см слоя.

В опыте № 1 образцы соломы ($C_{орг}=40.5\%$, $N_{общ}=0.86\%$) без смешивания с почвой инкубировали в течение 150 суток при температуре 8, 18 и 28 °С и влажности 0, 10, 40, 80, 120 и 160 вес. %. В опыте № 2 почву с пшеничной соломой, внесенной в дозе 1 % от массы почвы, и без соломы инкубировали в течение 150 суток при температуре 8, 18 и 28 °С и влажности 10, 25, 40 вес. %. Характеристика изучаемых почв приведена в табл. 1.

Концентрацию $C-CO_2$ в газовых пробах определяли на хроматографе Кристалл Люкс 4000М ежедневно в течение первой недели эксперимента, затем три, два и один раз в неделю. Скорость минерализации соломы в почвах определяли по разнице между кумулятивными величинами выделения $C-CO_2$ из почв с добавлением соломы и без соломы. По окончании инкубации определяли содержание в почвах минеральных форм азота ($N_{мин}=NH_4+NO_3$) колориметрическим методом по Кудярову [1].

Таблица 1. Основные физико-химические свойства исследуемых почв.

Почва	pH _{H2O}	*C _{орг} , %	**N _{общ} , %	***N _{мин} (NH ₄ +NO ₃), мг/кг	Содержание физической глины, %
Серая лесная	6.7	0.92	0.12	20	38
Чернозем оподзоленный	7.2	2.50	0.22	16	45
Темно- каштановая	7.6	1.12	0.14	35	27

*C_{орг} – общий органический углерод, определяли по Тюрину.

**N_{общ} – общий азот, определяли по Кудярову.

***N_{мин} – сумма форм минерального азота, определяли по Кудярову.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При отсутствии увлажнения минерализация соломы без смешивания с почвами (табл. 2), практически отсутствовала, поскольку могла протекать лишь за счет гигроскопической влаги, поэтому она не превышала сотых долей процента от исходного содержания углерода в соломе. При увеличении увлажнения от 0 до 10 вес. % минерализация соломы усиливалась в среднем по трем температурам в 11.6 раз, с 10 до 40 вес. % – в 62.9 раз, с 40 до 80 вес. % – в 1.1 раз, с 80 до 120 вес. % – практически не изменялась, с 120 до 160 вес. % – в 1.1 раза снижалась. При повышении температуры с 8 до 28 °С минерализация соломы, не смешанной с почвой, усиливалась, в среднем по шести уровням влажности, втрое.

Таблица 2. Продуцирование $C-CO_2$ при минерализации соломы без смешивания с почвой (опыт 1) за 150 суток инкубации при разных гидротермических условиях, % от исходного содержания углерода в соломе.

Влажность, вес. %	Температура, °С		
	8	18	28
0	0.007±0.002	0.034±0.002	0.036±0.007
10	0.036±0.016	0.428±0.148	0.620±0.066
40	4.979±0.036	10.508±0.386	16.048±0.608
80	5.574±0.073	11.466±0.277	17.394±0.766
120	5.874±0.295	11.085±0.508	16.294±1.058
160	5.635±0.393	10.073±0.401	14.511±1.136

Минерализация соломы в почвах (табл. 3) зависела от температуры (в диапазоне 8–28 °С увеличивалась в 2.6 раза) и влажности (в диапазоне 10–40 вес. % усиливалась в 2.1 раза), а от типа почвы зависела менее существенно, чем от гидротермических условий.

В вариантах без почвы минерализация соломы ($C/N=47$) не превышала 17 %, что могло быть связано с недостатком азота [5; 6], а при смешивании ее с почвами ($C/N=10-13$) при таких же гидротермических условиях достигала 87 % от исходного количества.

Содержание минерального азота ($N_{мин}$) в почвах к концу эксперимента (на 150-е сутки опыта 2) в зависимости от температуры и увлажнения составило в вариантах без внесения соломы: в серой лесной почве – 2.6–5.6 % от общего азота, в оподзоленном черноземе – 1.7–4.1 %, темно-каштановой почве – 4.1–7.8, а при внесении соломы – 0.9–2.3, 0.6–2.6, 0.9–5.9 % от общего азота, соответственно. Темно-каштановая почва отличалась не только наибольшим относительным, но и наибольшим абсолютным содержанием $N_{мин}$ (табл. 4).

В вариантах с применением соломы в почвах накапливалось, в среднем по эксперименту, на 30 мг/кг меньше $N_{мин}$, чем в почвах без соломы, что обусловлено иммобилизацией азота органотрофными микроорганизмами. Следует отметить, что в почвах с внесением соломы при увлажнении 25 вес. % и температуре 18 и 28 °C к концу эксперимента накапливалось существенно (на 65–288 %) больше минерального азота, чем его содержалось в исходных образцах. Это объясняется тем, что иммобилизованный на ранних этапах инкубации азот подвергается повторной минерализации, а минерализация азота более чувствительна к температуре, чем иммобилизация. Полученные результаты хорошо подтверждают установленную ранее связь минерализационно-иммобилизационных превращений азота с метаболизмом углерода в почве [7].

Таблица 3. Продуцирование $C-CO_2$ при минерализации соломы в почвах (опыт 2) за 150 суток инкубации при разных гидротермических условиях, % от исходного содержания углерода в соломе.

Почва	Влажность, вес. %	Температура, °C		
		8	18	28
Серая лесная	10	21.0±0.3	34.1±0.2	34.7±0.0
	25	26.9±0.1	54.3±0.1	54.3±0.4
	40	29.7±0.1	71.8±0.4	73.5±1.0
	Среднее	26	53	54
Чернозем оподзоленный	10	8.5±0.1	30.2±0.2	36.6±1.0
	25	22.9±0.3	65.8±0.4	74.7±0.1
	40	25.7±0.2	80.2±0.3	86.5±0.8
	Среднее	19	59	66
Темно-каштановая	10	24.7±0.4	39.3±0.4	49.0±0.7
	25	32.1±0.1	71.2±0.3	71.9±0.5
	40	31.7±0.3	81.7±0.4	84.0±0.7
	Среднее	30	64	68

Таблица 4. Изменение содержания минерального азота в почвах по сравнению с его исходным содержанием ($\Delta N_{мин} = N_{мин150} - N_{мин0}$) после 150-суточной инкубации с соломой и без соломы при разных гидротермических условиях (опыт 2), мг/кг.

Почва	Влажность, вес. %	Без внесения соломы			С внесением соломы		
		8 °C	18 °C	28 °C	8 °C	18 °C	28 °C
Серая лесная	10	15.6	22.0	32.0	–6.0	–8.0	4.0
	25	26.0	40.0	57.2	–6.0	13.0	53.0
	40	14.0	46.0	50.0	–4.0	–4.4	4.0
Чернозем оподзоленный	10	20.0	39.0	28.0	–3.0	–1.0	2.0
	25	12.0	72.0	68.0	–1.4	15.0	45.0
	40	18.0	64.0	63.0	1.0	5.6	46.0
Темно-каштановая	10	18.0	41.0	53.6	–17.6	–19.4	11.0
	25	32.0	74.0	77.0	–17.0	43.6	59.0
	40	22.6	0.0	–13.0	–17.6	1.4	–7.0

В почвах без соломы при температуре 18 и 28 °C дополнительно (по сравнению с исходным содержанием) накапливалось вдвое больше $N_{мин}$, чем при 8 °C. Внесение соломы при 8 °C способствовало снижению содержания $N_{мин}$ по сравнению с исходным содержанием (наблюдалась нетто-иммобилизация азота), а при 18 и 28 °C – увеличению его дополнительно.

ного накопления (имела место нетто-минерализация). При оптимальном увлажнении (25 вес. %) в почве накапливалось больше $N_{\text{мин}}$, чем при недостаточном (10 вес. %) и избыточном (40 вес. %) увлажнении. Недостаток воды в почвах подавлял микробные процессы, а избыток приводил к потерям $N_{\text{мин}}$ в результате денитрификации, что подтверждается уменьшением содержания в почвах общего азота.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты показывают, что минерализация соломы контролируется гидротермическими условиями и лимитируется азотом, а ее внесение может быть эффективным способом биологического связывания минерального азота в почве, который способствует предотвращению потерь азота в холодное время года и не препятствует повторной минерализации органических азотсодержащих соединений при повышении температуры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов В.М., Ходжаева А.К. Агроэкологические функции растительных остатков в почве // Агрохимия. 2006. № 7. С. 63–81.
2. Семенов В.М., Козут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
3. Семенов В.М., Кузнецова Т.В., Кудеяров В.Н. Высвобождение доступного для растений азота при минерализации активной фазы органического вещества почвы // Почвоведение. 1995. № 6. С. 732–739.
4. Тулина А.С., Семенов В.М. Оценка чувствительности минерализуемого пула почвенного органического вещества к изменению температуры и влажности // Почвоведение. 2015. № 8. С. 952–962.
5. Recous S., Robin D., Darwis D., Mary B. Soil inorganic N availability: effect on maize residue decomposition // Soil Biol. Biochem. 1995. V. 27. № 12. P. 1529–1533.
6. Henriksen T.M., Breland T.A. Nitrogen availability effects on carbon mineralization, fungal and bacterial growth, and enzyme activity during decomposition of wheat straw in soil // Soil Biol. Biochem. 1999. V. 31. № 8. P. 1121–1134.
7. Кузнецова Т.В., Тулина А.С., Розанова Л.Н., Семенов В.М., Кудеяров В.Н. О сопряженности процессов метаболизма углерода и азота в почве // Почвоведение. 1998. № 7. С. 832–839.

Работа рекомендована к.с.-х.н., доц. С.Л. Игнатьевой.

УДК 631.8:631.417.1:631.412

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ГУМУСОВОГО СОСТОЯНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЫ В ДЛИТЕЛЬНОМ СТАЦИОНАРНОМ ЭКСПЕРИМЕНТЕ

Н.В. Ускова

РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва

Проведено исследование влияния длительного применения систем удобрения на качественный и количественный состав гумуса методом совмещенного термогравиметрического и дифференциального термического анализа. Благодаря этому анализу были получены данные о соотношении периферической и центральной частей гумусовых веществ по их способности к деструкции в низко- и высокотемпературных областях, а массовые доли компонентов были определены по величине потери массы при сгорании.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства необходимо обращать большое внимание на гумусовое состояние почв. Контроль за состоянием органического вещества почвы является одним из важнейших факторов управления

плодородием [1]. Для того, чтобы дать полную характеристику плодородия почв, важно определять не только содержание гумуса в почве, но и давать оценку его качественному составу. Именно при изучении структуры гумусовых веществ появляется возможность регулировать состав и свойства гумусовых соединений [2]. Для решения вопросов, относящихся к структуре гумусовых веществ, широко применяются физико-химические методы анализа [3].

Термографический метод анализа основан на зависимости свойств вещества от температуры с получением термограмм, на которых изображены 4 типа кривых: температурная (Т), дифференциально-термическая (ДТА), термогравиметрическая (ТГ) и дифференциально-термогравиметрическая (ДТГ) [3, 4]. При исследовании почвы методом термографического анализа основой является зависимость строения и прочности гумусовых веществ от температуры. При интерпретации результатов анализа термические эффекты разделяют на низко- и высокотемпературную область, которые соответствуют периферической и центральной частям гумусовых веществ. По величине температуры термоэффектов в этих областях судят о прочности связей в структуре гумусовых веществ, а по количеству эффектов – о количестве компонентов в периферической и центральной частях.

Цель работы – дать количественную и качественную оценку органического вещества почвы при помощи термографического метода анализа по материалам длительного полевого опыта РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования был выбран длительный полевой опыт РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Он был заложен А.Г. Дояренко в 1912 году. В опыте изучаются 3 фактора: севооборот, удобрение и известкование.

Образцы для исследования были отобраны с делянок, занятых бессменно возделываемыми озимой рожью и картофелем. Для исследования были выбраны 4 системы удобрения – органоминеральная (навоз 20 т/га, N – 100 кг/га, P – 150 кг/га, K – 120 кг/га), органическая (навоз 20 т/га), минеральная (N – 100 кг/га, P – 150 кг/га, K – 120 кг/га) и контрольный вариант (без удобрений). Образцы были отобраны с известкованных и неизвесткованных участков [5].

В рамках термографического метода исследования был проведен совмещенный термогравиметрический и дифференциальный термический анализ почвенных образцов с использованием дериватографа системы Паулик – Паулик – Эрдей. Данный прибор представляет собой комплексное термоаналитическое устройство, при помощи которого у одной и той же пробы измеряется температура (Т), изменение массы (ТГ), скорость изменения массы (ДТГ) и изменение содержания тепла (ДТА) [4].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведения анализа были получены термограммы, по ним нами были определены термические эффекты, которые были разделены на 3 группы: удаление адсорбционной воды, периферическая часть гумусовых веществ и центральная часть гумусовых веществ. По каждому из термических эффектов была определена массовая доля данного компонента в образце, а так же рассчитано соотношение массовых долей периферической и центральной частей (Z). Данные, полученные для вариантов с картофелем, представлены в табл. 1.

При сравнении контрольных вариантов с известью и без нее можно заметить, что хоть и соотношение периферической части к центральной и одинаковое, но при внесении извести наблюдается повышение температуры при термодеструкции компонентов органического вещества, а так же увеличивается энергия активации реакции термодеструкции. Таким образом, внесение извести повышает прочность молекул гумусовых веществ.

Внесение минеральных удобрений в неизвесткованном варианте дало увеличение количества компонентов центральной части молекул гумусовых веществ, а так же увеличение температуры разрушения центральной части (на 184 °C) и энергии активации реакции тер-

модеструкции (почти на 10000 кДж/кг), что говорит об увеличении прочности молекул гумусовых веществ. А в известкованном варианте с минеральными удобрениями мы видим так же 2 компонента в центральной части, но температура для их разрушения увеличивается. Однако увеличение соотношения периферической части к центральной говорит о негативной тенденции, т.к. наблюдается сдвиг в сторону увеличения доли периферической и уменьшения доли центральной частей.

Улучшение гумусового состояния мы наблюдаем в варианте с органической системой удобрения без извести. Здесь наблюдается появление третьего компонента в центральной части гумусового вещества, а так же значительное повышение температуры деструкции центральной части (до 940 °С). Об увеличении прочности центральной части, по сравнению с известкованным вариантом, так же говорит и увеличение энергии активации реакции термодеструкции. Так же увеличение доли периферической части делает более труднодоступной для разрушения центральную. При сравнении известкованных вариантов минеральной, органической и органоминеральной систем удобрения особых отличий мы не видим. Во всех их них обнаружен один компонент в периферической и по три компонента в центральной части, соотношение между периферической и центральной частями составляет 0.6 во всех трех вариантах. Наилучший результат обнаружен в органоминеральной системе без известкования. Здесь мы видим наибольшее количество компонентов центральной части (4 компонента) и практически самую высокую температуру их разрушения (в органической системе удобрения без извести температура выше, но там и компонентов меньше, и массовая доля центральной части меньше).

Данные, полученные для вариантов с озимой рожью, представлены в табл. 2.

В контрольном варианте при бессменном возделывании озимой ржи, в отличие от картофеля, в центральной части гумусовых веществ присутствует по 3 компонента, здесь меньше отношение периферической части к центральной, а так же выше энергия активации реакции термодеструкции.

В варианте с минеральной системой удобрения без извести мы наблюдаем увеличение количества компонентов в периферической части до 2, а так же уменьшение в центральной, тоже до 2 компонентов. Массовая доля компонентов периферической части значительно больше центральной, соотношение между ними составляет 1.4, что говорит о деградации гумусовых веществ. Внесение извести в варианте с минеральными удобрениями улучшает гумусовое состояние почвы. Здесь мы видим, что количество компонентов центральной части увеличилось до 5 и значительно возросла температура их разрушения, а так же величина энергии активации. При сравнении известкованного и неизвесткованного варианта на органической системе удобрения мы видим, что при внесении извести увеличивается количество компонентов центральной части, а так же температура для их разрушения. Но в варианте без извести мы видим, что массовая доля компонентов центральной части больше, а так же энергия активации реакции термодеструкции значительно выше (на 8.5 тыс. кДж/кг), что говорит о более сложной структуре (с преобладанием сложных полициклических соединений) центральной части гумусовых веществ в данном варианте.

Так же как и для картофеля, для озимой ржи наилучший результат наблюдается в органоминеральной системе без известкования. В этом варианте мы видим, что в центральной части присутствует 4 компонента. На минеральной системе удобрения с известью мы видим 5 компонентов и температура разрушения выше, но суммарная массовая доля компонентов меньше, чем в органоминеральной системе удобрения, причем доля компонентов, разрушаемых при более высоких температурах очень мала. Так же значительно большая величина энергии активации в органоминеральной системе удобрения без извести (на 15 тыс. кДж/кг) говорит о большей прочности связей гумусовых веществ.

Таблица 1. Результаты термографического анализа для вариантов с картофелем

Вариант опыта	ω*	Периферическая часть		Центральная часть				Отношение периферической части к центральной (Z)	Энергия активации реакции термодеструкции (Еакт, кДж/кг)	
		Эффекты*	Суммарная массовая доля, %	Эффекты*						Суммарная массовая доля, %
Контроль без извести	$\frac{90.8}{19.0}$	$\frac{280.2}{27.9}$	27.9	$\frac{497.3}{36.5}$	$\frac{683.4}{16.6}$			53.1	0.5	7762.0
Контроль + известь	$\frac{98.0}{19.7}$	$\frac{300.6}{28.0}$	28.0	$\frac{522.9}{30.7}$	$\frac{701.2}{21.6}$			52.3	0.5	11304.6
НРК без извести	$\frac{101.9}{12.1}$	$\frac{303.0}{29.3}$	29.3	$\frac{467.8}{27.7}$	$\frac{521.1}{7.8}$	$\frac{625.5}{9.0}$	$\frac{867.3}{14.1}$	58.6	0.5	17003.9
НРК + известь	$\frac{98.4}{11.5}$	$\frac{332.8}{34.7}$	34.7	$\frac{535.5}{30.2}$	$\frac{922.8}{23.5}$			53.8	0.6	16816.5
Навоз без извести	$\frac{94.2}{15.6}$	$\frac{321.7}{34.4}$	34.4	$\frac{516.0}{32.5}$	$\frac{676.2}{1.7}$		$\frac{940.1}{6.8}$	49.9	0.7	18575.7
Навоз + известь	$\frac{68.2}{7.3}$	$\frac{304.6}{34.3}$	34.3	$\frac{505.8}{33.9}$	$\frac{659.6}{24.5}$			58.5	0.6	12774.7
НРК + навоз без извести	$\frac{108.2}{15.1}$	$\frac{320.8}{32.0}$	32.0	$\frac{455.3}{25.0}$	$\frac{499.9}{7.2}$	$\frac{600.8}{10.8}$	$\frac{918.0}{9.8}$	52.9	0.6	16371.4
НРК + навоз + известь	$\frac{105.8}{10.5}$	$\frac{338.6}{34.0}$	34.0	$\frac{534.0}{35.0}$	$\frac{724.4}{20.5}$			55.5	0.6	14258.1

Примечания

 ω – гигроскопическая вода в образце

* в числителе – температура эффекта, °С; в знаменателе – массовая доля компонента, % от потери массы.

Таблица 2. Результаты термографического анализа для вариантов с озимой рожью.

Вариант опыта	ω*	Периферическая часть		Центральная часть				Отношение периферической части к центральной (Z)	Энергия активации реакции термодеструкции (Еакт, кДж/кг)		
		Эффекты*	Суммарная массовая доля, %	Эффекты*			Суммарная массовая доля, %				
Контроль без извести	$\frac{93.0}{9.5}$	$\frac{295.0}{27.9}$	27.9	$\frac{448.4}{28.2}$	$\frac{492.2}{6.1}$	$\frac{736.2}{28.3}$	62.7	0.4	10393.3		
Контроль + известь	$\frac{84.4}{15.5}$	$\frac{265.5}{26.5}$	26.5	$\frac{243.8}{34.0}$	$\frac{497.5}{10.6}$	$\frac{677.2}{13.4}$	58.0	0.5	21789.6		
НРК без извести	$\frac{83.3}{6.7}$	$\frac{280.4}{29.1}$	54.2	$\frac{502.5}{16.2}$	$\frac{742.1}{22.9}$		39.1	1.4	16371.4		
НРК + известь	$\frac{100.9}{12.3}$	$\frac{324.8}{35.6}$	35.6	$\frac{531.3}{35.5}$	$\frac{634.3}{7.1}$	$\frac{822.3}{5.5}$	$\frac{853.4}{0.4}$	$\frac{901.9}{3.6}$	52.1	0.7	27832.2
Навоз без извести	$\frac{88.4}{11.1}$	$\frac{264.7}{20.9}$	20.9	$\frac{412.7}{31.0}$	$\frac{679.9}{37.1}$		68.1	0.3	44078.8		
Навоз + известь	$\frac{92.1}{12.6}$	$\frac{307.7}{34.9}$	34.9	$\frac{427.9}{26.3}$	$\frac{502.8}{13.3}$	$\frac{686.2}{13.0}$	52.5	0.7	35571.1		
НРК + навоз без извести	$\frac{93.0}{12.2}$	$\frac{299.9}{33.1}$	33.1	$\frac{418.3}{26.1}$	$\frac{494.7}{13.3}$	$\frac{673.1}{13.5}$	$\frac{726.5}{1.8}$	54.7	0.6	42988.1	
НРК + навоз + известь	$\frac{102.7}{11.4}$	$\frac{298.2}{27.8}$	27.8	$\frac{526.7}{44.1}$	$\frac{721.9}{16.7}$		60.8	0.5	29297.4		

Примечания

ω – гигроскопическая вода в образце

* в числителе – температура эффекта, °С; в знаменателе – массовая доля компонента, % от потери массы.

ВЫВОДЫ

1. Внесение извести положительно влияет на прочность связи периферической части гумусовых веществ для вариантов с картофелем, а для вариантов с озимой рожью – наоборот, периферическая часть более прочно связана в известкованных вариантах. Исключением для обеих культур стала органическая система удобрения;

2. В вариантах с картофелем большая прочность и большее количество компонентов центральной части гумусовых веществ характерно для известкованных вариантов, в них же наблюдается разрушение связей с монтмориллонитовыми минералами при нагревании более 900 °С. А для вариантов с озимой рожью наиболее прочная и с большим количеством компонентов центральная часть гумусовых веществ характерна для органической и минеральной систем удобрения с известкованием, а так же для органоминеральной системы удобрения без известкования;

Применение извести так же способствует большему накоплению гигроскопической воды в почве всех вариантов для обеих культур

ЛИТЕРАТУРА

1. Черников В.А. Изменения гумусовых соединений почвы в длительном стационарном опыте ТСХА // Плодородие – 2002. – № 4. – С. 34–36.
2. Черников В.А. Комплексная оценка гумусового состояния почв // Известия ТСХА – 1987. – № 6. – С. 83–94.
3. Хмельницкий Р.А., Черников В.А. Использование инструментальных методов при исследовании структуры гумусовых соединений / Р.А. Хмельницкий, В.А. Черников, И.М. Лукашенко, В.А. Кончиц // Известия ТСХА – 1977. – № 6. – С. 193–202.
4. Методические указания про проведению испытаний биологических образцов методом термического анализа // Белопухов С.Л., Шнее Т.В., Дмитриевская И.И., Маслова М.Д., Гришина Е.А., Калабашкина Е.В. / Под ред. проф. Белопухова С.Л. – М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. – 2014. – 87 с.
5. Длительный полевой опыт 1912–2012: Краткие итоги научных исследований. / Под ред. Академика РАСХН В.М. Баутина. М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева – 2012.

Работа рекомендована д.с.-х.н., профессором В.А. Черниковым.

УДК 631.459

ДИНАМИКА ТЕМПОВ АККУМУЛЯЦИИ ТВЕРДОФАЗНОГО ВЕЩЕСТВА ПОЧВ В ПОДЧИНЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ (ТУЛЬСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Д.В. Фомичева

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

В подчиненных ландшафтах малого водосборного бассейна обнаружены зоны с контрастным распределением твердофазного вещества (ТВ) почв. Выявлена аккумуляция ТВ почв на крутом склоне. Установлено, что генерации разновозрастных напашей являются барьером на пути следования наносов, и влияют на их перераспределение в пространстве. Оценка темпов аккумуляции ТВ почв проводилась на основе трех методов (почвенно-морфологического, метода магнитного трассера и радио-цезиевого метода), позволяющих диагностировать изменения, происходящие за разные временные рубежи.

ВВЕДЕНИЕ

Не смотря на многочисленные исследования в области эрозии почв, в современной литературе не в полной мере представлены данные о темпах и объемах аккумуляции наносов в подчиненных ландшафтах (на залуженных бортах и в днище овражно-балочной сети).

Исследование выполнено за счет гранта РНФ (проект № 14-27-00083).

© Д.В. Фомичева, 2018

На распахиваемых землях твердофазное вещество почв накапливается или выносится, перераспределяясь в пространстве, преимущественно в результате эрозионно-аккумулятивных процессов. Ускоренная миграция твердофазного вещества почв оказывает существенное влияние на структуру почвенного покрова [1].

Целью работы являлась оценка динамики темпов аккумуляции твердофазного вещества почв в пределах малой ландшафтно-геохимической арены, включая задернованные борта и днище балки.

ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились в пределах малого модельного водосбора в Плавском районе Тульской области. Это малый водосборный бассейн небольшого отворшка крупной разветвлённой балочной системы Часовенков Верх. На территории исследования преобладают агрочернозёмы глинисто-иллювиальные оподзоленные, присутствуют также агрочернозёмы типичные и агрозёмы темные глинисто-иллювиальные (АЧгл). АЧгл занимают собой практически 70 % всей территории распахиваемой части малого модельного водосбора. На бортах и в днище балки, на нераспахиваемых участках, наиболее распространены чернозёмы глинисто-иллювиальные оподзоленные гумусово-стратифицированные и стратозёмы тёмно-гумусовые.

Период распашки исследуемого водосбора составляет около 350 лет. За это время границы пашни изменились. Их маркируют напашь – особые формы рельефа в виде контурных валов. На участке исследования четко диагностируются две генерации напашей: первая – с момента начала распашки по 1980-е года, и современная – с 1980-х по сегодняшний день.

Оценка динамики темпов аккумуляции твердофазного вещества (ТВ) почв проводилась на основе применения трех методов. Почвенно-морфологический метод широко известен, является основой любого изучения почв. Позволяет диагностировать изменения за весь период распашки – 350 лет. Метод магнитного трассера основан на оценке перераспределения в почвах сферических магнитных частиц (СМЧ) – микрокомпонентов, образующихся в результате сжигания угля, в том числе в локомотивах на железных дорогах [3]. По данному методу возможно характеризовать изменения, произошедшие в период, составляющий 120 лет, с момента начала действия железной дороги в районе территории исследования по сегодняшний день. Радио-цезиевый метод диагностирует период 30 лет, т.к. исследуемый участок находится в зоне загрязнения Чернобыльской аварии [2].

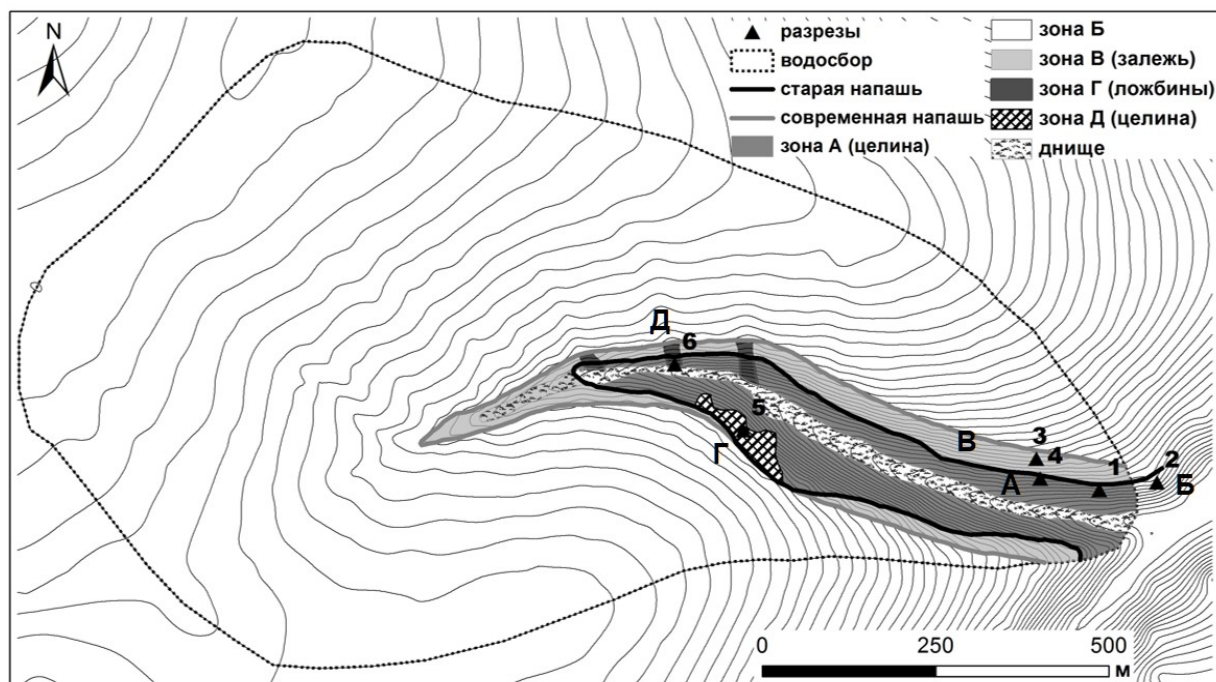
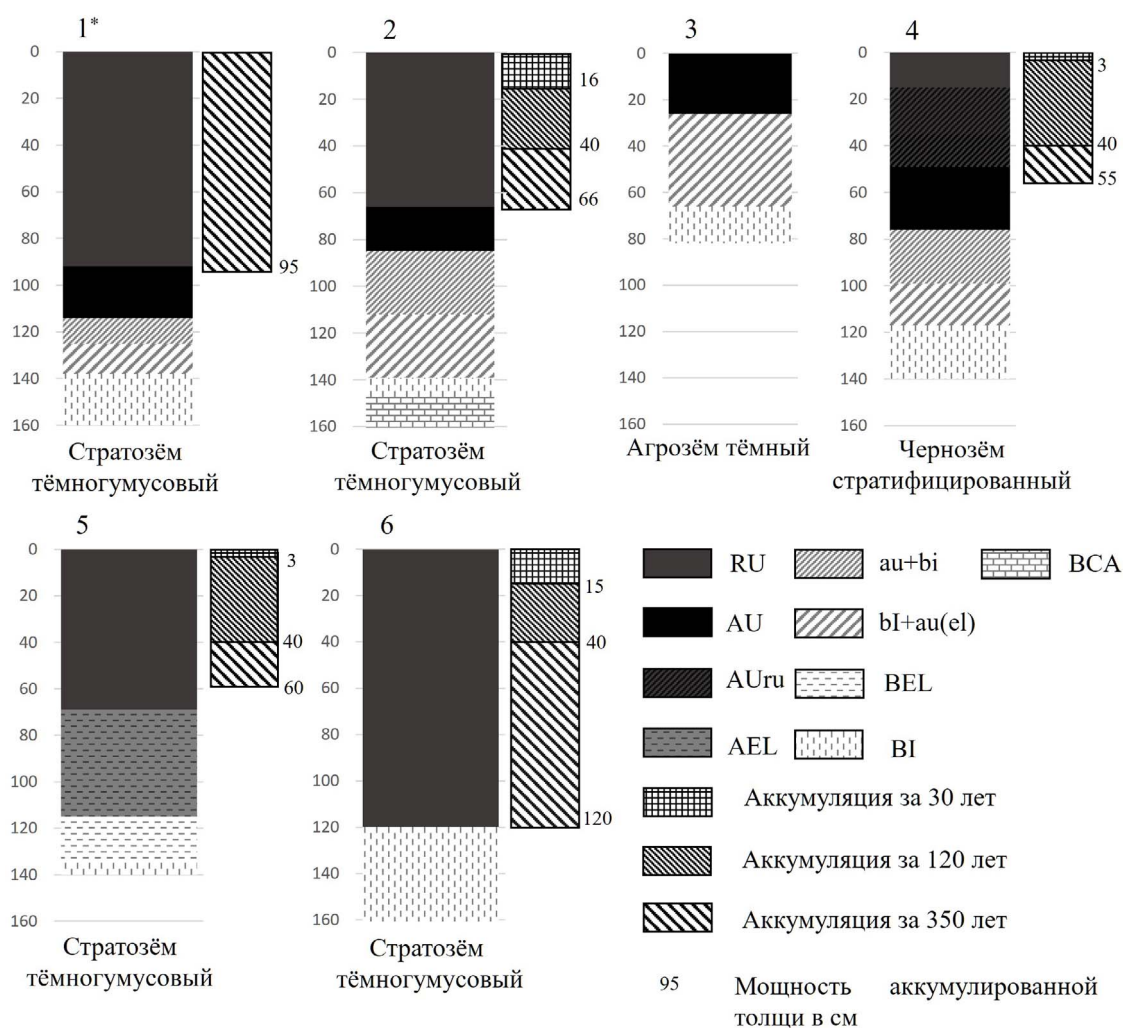


Рисунок 1. Зоны с различными темпами аккумуляции на задернованных бортах балки.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследований на задернованных бортах балки были выделены зоны, характеризующиеся различными темпами аккумуляции. Они приурочены к разным элементам рельефа (крутой задернованный склон, пологий задернованный склон и склон, осложненный ложбинами) и имеют разное сельскохозяйственное назначение (залежь или целина) (рис. 1).

На залежном участке (зона В), между двух генераций напашей предполагалось наличие современной аккумуляции т.к. многолетние травы служат барьером на пути миграции твердофазного вещества. Однако результаты исследований показали, что в период распашки данный участок активно эродировался. По почвенно-морфологическому методу здесь диагностирован агрозём тёмный глинисто-иллювиальный оподзоленный постагрогенный мелкий с маломощной гумусовой толщей (разрез 3, рис. 2). Ни по одному из методов трассеров не было обнаружено признаков современной аккумуляции. Вероятно, напашь является преградой на пути наносов и препятствует аккумуляции ТВ почвы в данной зоне.



*Примечание: в данном разрезе аккумуляция за 30 лет отсутствует, за 120 лет - нет данных

Рисунок 2. Строение почвенных профилей

Зона А – это зона под старой генерацией напашей, на целинном участке, приуроченном к крутому склону. Здесь по почвенно-морфологическому методу была обнаружена мощная аккумуляция. В разрезе 4 диагностирован чернозём глинисто-иллювиальный оподзоленный гумусово-стратифицированный мощный с аккумуляцией толщиной около 55 см. Аккумуляция в разрезе 1 превысила 90 см. Несмотря на увеличение крутизны склона, здесь диагностирован стратозём тёмногумусовый мощный на чернозёме глинисто-иллювиальном оподзоленном текстурном. Интенсивность аккумуляции наносов на данном участке за весь агрогенный период не равномерна и колеблется от 10 до 30 т/га в год. По методу магнитного

трассера аккумулятивная толща, сформировавшаяся за 120 лет, составила 40 см, а темпы аккумуляции ТВ почвы возросли до 30–50 т/га в год (разрез 4). Радио-цезиевые метод показал отсутствие аккумуляции за последние 30 лет (разрезы 1 и 4). Это может свидетельствовать о том, что поток наносов не может преодолеть современную, более мощную, генерацию напашей и не доходит до данного склонового участка.

Мощный стратозём (разрез 5), расположенный на борту балки, на участке где граница пашни не менялась с течением времени (зона Г), за последние 350 лет накопил около 60 см наносов. По почвенно-морфологическому методу темпы аккумуляции в данной зоне составляли 10–20 т/га в год. Наиболее интенсивная аккумуляция на данном участке шла последние 120 лет, мощность аккумулятивной толщи по методу магнитного трассера составляет 40 см, а темпы аккумуляции возросли до 20–30 т/га в год. По радио-цезиевому методу обнаружено, что современная аккумуляция в данной зоне практически отсутствует. Это может быть связано с увеличением мощности вала напаши за постчернобыльский период и увеличением его барьерной функции на пути миграции наносов.

Зона Д, приурочена к днищу ложбины на борту балки. Почвенно-морфологическим методом здесь выявлен стратозём тёмногумусовый сверхмощный на чернозёме глинисто-иллювиальном оподзоленном (разрез 6). Мощность аккумулятивной толщи составляет 120 см. По почвенно-морфологическому методу в данной зоне за весь период распашки (350 лет) темпы аккумуляции ТВ почвы составили 20–30 т/га в год. По данным методов трассеров аккумулятивная толща за 120 лет составила 40 см и за 30 лет – 15 см. Таким образом, интенсивность темпов аккумуляции, рассчитанная за последние 120 лет, осталась равна 20–30 т/га в год, а за постчернобыльский период выросла до 30–50 т/га в год.

Так как стратозёмы на целинных склонах сформированы в результате аккумуляции наносов за последние 120 лет. Современное их поступление в днище балки по неосложнённым ложбинами склонам не идет. Вероятно, мобилизованное на водосборе ТВ почв поступает вдоль напаши по основному уклону водосбора за его пределы сразу в принимающую долину. Эту версию подтверждают исследования в зоне Б, расположенной на склоне крупной балочной системы Часовенков верх. По почвенно-морфологическому методу здесь диагностирован стратозём тёмногумусовый сверхмощный на чернозёме глинисто-иллювиальном аккумулятивно-карбонатном (разрез 2) с аккумулятивной толщей равной 60 см. Метод магнитного трассера показал, что 40 см из этих 60 накопились за последние 120 лет. В отличие от участка под одной генерацией напашей здесь по радио-цезиевому методу была обнаружена современная аккумуляция, составляющая 16 см, более интенсивная, чем на всем исследуемом водосборе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, проведенные исследования показали, что изменения темпов аккумуляции твердофазного вещества почв довольно динамичны во времени. В подчиненных ландшафтах малого водосборного бассейна диагностированы зоны с контрастным распределением твердофазного вещества почв.

По всем трем методам выявлено, что генерации разновозрастных напашей являются барьером на пути следования наносов, и влияют на их перераспределение в пространстве. На бортах балки установлены зона смыва, характерная для залежи, и зона аккумуляции, характерная для целины. До изменения границ пашни наносы перетекали через напашь, частично аккумулялируясь на склонах, частично доходя до днища. Что подтверждает характер изменения аккумуляции ТВ почв на крутом целинном склоне, мощная аккумуляция на котором протекала более 30 лет назад.

Современная аккумуляция в днище балки возможна только при поступлении твердофазного вещества почв по ложбинам, в которых наблюдается самая интенсивная современная аккумуляция для задернованных бортов балки. Большинство наносов, мобилизованных на водосборе, выносятся за его пределы в принимающую долину вдоль напаши. Часть этих наносов аккумулялируется на её крутом склоне.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазовская М.А., Фридланд В.М. Принципы составления почвенной карты мира для высших учебных заведений // Почвоведение. – 1978. – № 3. – С. 5–17.
2. Голосов В.Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. – М.: ГЕОС, 2006 – 295 с.
3. Пространственно-временные параметры латеральной миграции твердофазного вещества почв (Белгородская область) / А.П. Жидкин, А.Н. Геннадиев, Т.С. Кошовский, Ю.Г. Чендев // Вестник Московского университета. Серия 5: География. – 2016. – № 3. – С. 9–17.

Работа рекомендована к.г.н., с.н.с. А.П. Жидкиным.

УДК 631.41

ИЗМЕНЕНИЕ МОРФОМЕТРИЧЕСКИХ И ЦИТОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛУКА ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ МЕДЬЮ И ЦИНКОМ

А.А. Фролова, К.Д. Рогожина, И.П. Лобзенко, С.Н. Сушкова, Т.В. Бауэр, А.Г. Федоренко
Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

В данной статье рассмотрено негативное влияние Zn и Cu на рост корней лука *Allium cepa*. Проведен контроль роста корней лука в течение опыта. Установлена степень угнетения лука в зависимости от концентрации тяжелых металлов и самого элемента. Также оценка влияния Zn и Cu на клетки *Allium cepa* и кислотность растворов.

ВВЕДЕНИЕ

Каждый год в биосферу, вместе с выбросами заводских комплексов, поступают тысячи тонн соединений тяжёлых металлов [4]. Тяжёлые металлы (ТМ) являются очень опасными поллютантами окружающей среды. Их высокие концентрации оказывают негативное влияние на рост и развитие растений. Cu и Zn – широко известные микроэлементы, имеющие большую значимость в процессах метаболизма, однако при высоких концентрациях они оказывают токсичное влияние. Cu и Zn являются приоритетными загрязнителями, главным образом, потому что техногенное их накопление в окружающей среде идет высокими темпами. Избыточное поступление этих элементов в организм живых существ нарушает процессы метаболизма, тормозит рост и развитие. В сельском хозяйстве это выражается в снижении выхода продукции и ухудшении ее качества [1].

Целью данной работы являлось изучение влияния загрязнения Cu и Zn на морфометрические и цитологические характеристики лука.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились с использованием тест-растения *Allium cepa*, выращенного в водных растворах ацетатов Cu и Zn различных концентраций. Использование лука, как тест-культуры, обусловлено чувствительностью его клеток на соединения тяжелых металлов максимально приближенной к реакции клеток человеческого тела [7]. Для оценки генотоксичности потенциальных загрязнителей окружающей среды природоохранными организациями рекомендованы тест системы на основе растений [2, 5, 6], в том числе, так называемый *Allium* тест [7].

В качестве контроля использовали дистиллированную воду. Загрязнителями являлись растворы солей ТМ в дистиллированной воде в следующих концентрациях: 2000 мг/кг $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, 10000 мг/кг $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, 2000 мг/кг $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$, 10000 мг/кг $\text{Zn}(\text{CH}_3\text{COO})_2$. Концентрации растворов выбраны, исходя из того, что при дозе 2000 мг/кг

начинается угнетение растения, 10000 мг/кг – концентрация ТМ, которая наблюдается в зонах техногенного загрязнения почв. Луковицы *Allium* сера одинакового размера проращивали в дистиллированной воде в течении суток и помещали на пробирки, заполненные приготовленными ранее растворами. Испаряющуюся из пробирок жидкость дополняли дистиллированной водой. Прямые солнечные лучи не попадали на пробирки с луком. Осуществляли контроль роста корней на второй, пятый, девятый и четырнадцатый дни опыта. На 14-й день эксперимента измеряли pH растворов потенциометрически.

Гистологические исследования выполнены на микроскопе «Микмед-6».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Высокие концентрации металлов вызывают у растений в первую очередь замедление роста корней (табл. 1). По сравнению с луковицами, выращенными в дистиллированной воде, луковицы, растущие в растворах солей металлов, имеют очень маленькие, слабо видимые корни (рис. 1).

Таблица 1. Длина корней *Allium cepa*, мм

Вариант	2 день	5 день	9 день	14 день
Контроль	25	25	40	52
2000 мг/кг Zn	6	6	6	6
10000 мг/кг Zn	5	5	5	5
2000 мг/кг Cu	5	6	6	6
10000 мг/кг Cu	2	2	2	2

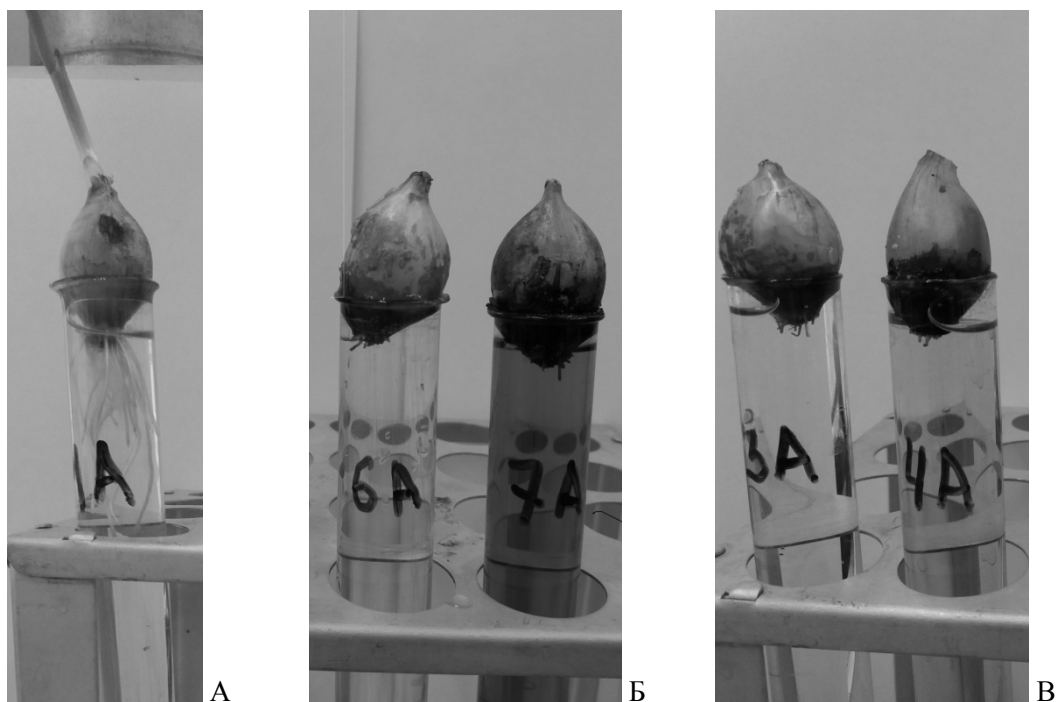


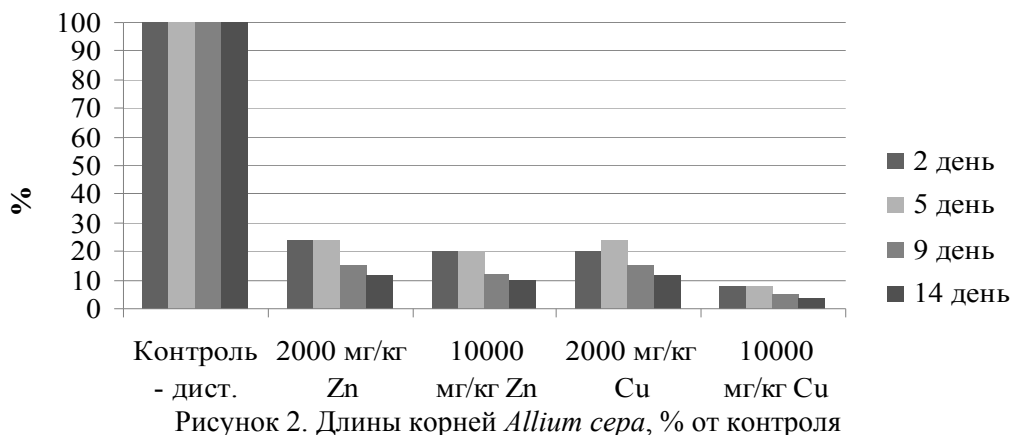
Рисунок 1. *Allium cepa*, длина корней на 14 день.

А – контроль (дистиллированная вода); Б – Cu, Zn 2000 мг/кг; В – Cu, Zn 10000 мг/кг

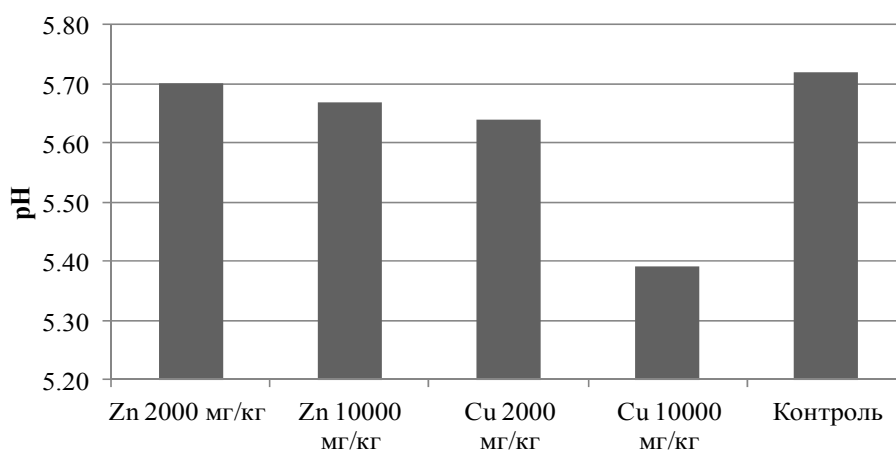
На вариантах с внесением металлов длина корней практически не увеличивалась на протяжении всего эксперимента, в то время как длина корней лука, выращенного в дистиллированной воде, увеличивалась до 52 мм (табл. 1).

Корни являются первым барьером на пути поступления металлов из почвы в растение, и именно корень берет на себя основную функцию по их аккумуляции. Под влиянием тяжелых металлов уменьшаются длина главного корня и количество боковых корней, отмирают корневые волоски, снижается биомасса корней. Указанные изменения приводят к снижению поглощения питательных веществ и воды, что отрицательно отражается на росте и развитии растения, а при высоких концентрациях тяжелых металлов может даже вызвать его гибель. [3].

Результаты исследований показали угнетение корней лука при загрязнении Cu и Zn в концентрации 2000 мг/кг по сравнению с контрольным вариантом на 82 % (рис. 2). При внесении Cu в концентрации 10000 мг/кг длина корней лука была меньше на 4 мм, чем при концентрации 2000 мг/кг. Разница в длине корней лука при загрязнении Zn в концентрации 2000 мг/кг и 10000 мг/кг незначительная и составляет 1 мм. Угнетение Cu в концентрации 10000 мг/кг на 3 мм больше, чем цинком в концентрации 10000 мг/кг. Рост корней лука, загрязненных ацетатами Cu и Zn, не увеличивался после 5-го дня опыта.



Установлены изменения в кислотности растворов при внесении металлов (рис. 3). С увеличением внесённой концентрации металлов снижается pH. Наибольшее подкисление раствора происходит при внесении солей Cu.



Микроскопические исследования показали, что по сравнению с клетками лука, выращенного в дистиллированной воде (рис. 4), клетки лука, выращенного в растворах ацетатов меди и цинка (рис. 5) имеют сильно вытянутые в длину и не растянутые в ширину клетки, ядер не видно, клеточная стенка более тонкая.

Известно, что наиболее интенсивно деление клеток происходит в апикальных меристемах корня и побега, и формирование всех органов растения связано в первую очередь с функционированием меристематических клеток. Изучение митотической активности клеток меристемы корня показало, что в присутствии ТМ в высоких концентрациях замедляется интенсивность клеточных делений, уменьшается количество клеток на всех фазах митоза, увеличивается продолжительность отдельных фаз и всего митотического цикла. Помимо отрицательного влияния на митотическую активность клеток, тяжелые металлы могут замедлять пресинтетический (G1) и постсинтетический (G2) этапы клеточного деления. Повышенные концентрации ТМ могут вызывать в меристематических клетках корней различные цитогенетические нарушения: сильную спирализацию хромосом во всех фазах клеточного деления, неравное расхождение хромосом к полюсам клетки или полное отсутствие расхождения, появление тетраплоидных клеток [3].



Рисунок 4. Клетки лука *Allium cepa*, выращенного в дистиллированной воде в увеличении x400.

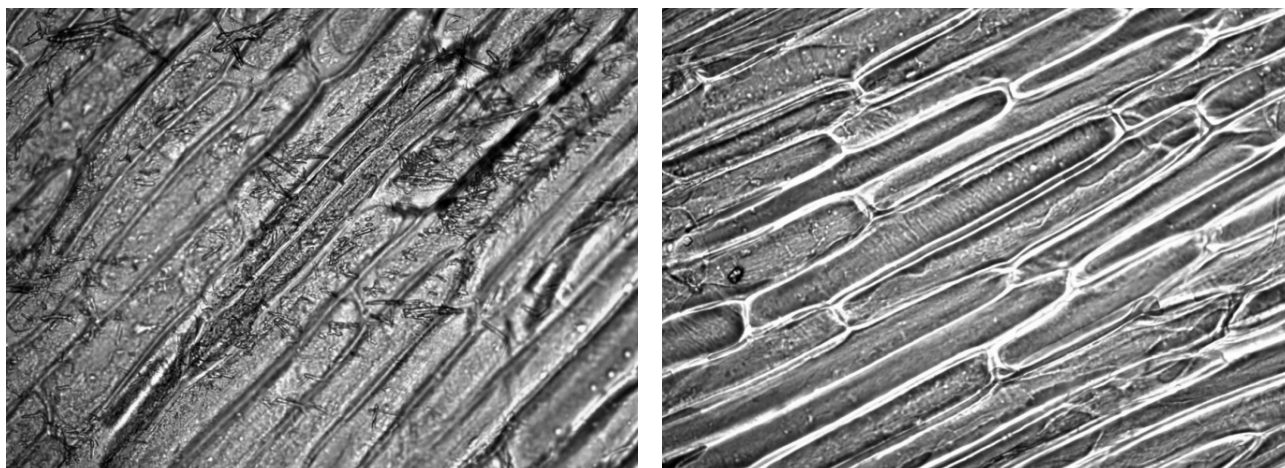


Рисунок 5. Клетки лука *Allium cepa* при внесении 10000 мг/кг Cu (слева) и Zn (справа) в увеличении x400.

Торможение роста является наиболее общим проявлением токсичности ТМ для растений, что связано в первую очередь с их прямым действием на деление и растяжение клеток. Механизм такого воздействия связан в первую очередь со снижением эластичности клеточных стенок. Ионы металлов образуют прочные связи с белками, входящими в состав клеточной стенки, тем самым препятствуя ее растяжению. Уменьшение эластичности клеточных стенок в присутствии ТМ может быть также обусловлено повреждением структуры микротрубочек и нарушением водного режима клеток [3]. Иммобилизация ТМ клеточной стенкой считается одним из наиболее важных защитных механизмов от их токсического действия. При высоких концентрациях металла в корнеобитаемой среде его ионы проникают через клеточную стенку и плазмалемму в цитоплазму клеток.

ВЫВОДЫ

1. Исследования показали, что высокие дозы (2000 мг/кг и 10000 мг/кг) ацетатов Cu и Zn негативно сказываются на растениях *Allium cepa*.
2. Выявлено нарушение роста корней *Allium cepa*.
3. Установлено токсическое влияние на клетки *Allium cepa*.
4. Токсический эффект Cu и Zn проявился уже на 2 день и сохранился на протяжении всего опыта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва–растение. Новосибирск, 1991.
2. Столбова В.В., Манахов Д.В., Щеглов А.И. Регистрация результатов Allium-теста с помощью комплекса визуализации на основе микроскопа МИКМЕД-6 для оценки генотоксичности почв», Вестник Московского университета, серия 17, 2016, № 2, с. 40–44.
3. Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М. Физиологические основы устойчивости растений к тяжелым металлам. Петрозаводск, Карельский научный центр Российской Академии наук, Институт биологии, 2011.
4. Улахович Н.А., Кутырева М.П., Медянцева Э.П., Бабкина С.С. Экоотоксиканты. Учебно-методическое пособие для лекционного курса «Химия в экологии». Казанский государственный университет, химический институт им. А.М. Бутлерова, кафедра неорганической химии, 2010.
5. Constantin M.J., Owens E.T. Introduction and perspectives of plant genetic and cytogenetic assays. A report of the U.S. Environmental Protection Agency Gene Tox Program // Mutation Res. 1982. Vol. 99, Iss. 1.
6. Grant W.F. The present status of higher plant bioassays for detection of environmental mutagens // Mutation Res. 1994. Vol. 310.
7. Fiskesjo G. Allium test: In vitro toxicity testing protocols // Methods in Molecul. Biol. 1995. Vol. 43.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ № 5.948.2017/ПЧ, Гранта Президента РФ № МК-4015.2018.5, РФФИ № 16-35-60055.

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

УДК 631.417: 631.427.2

ДИНАМИКА РАЗЛОЖЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, КОМПОСТИРУЕМЫХ НА ВЕРМИКУЛИТЕ

Д.П. Хромычкина, Н.Б. Паутова

Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пущино

В лабораторном эксперименте определяли скорость разложения органических материалов, компостируемых на вермикулите при постоянной температуре (22 °С) и влажности 70 % ППВ. Минерализационная способность органических материалов уменьшалась в ряду: корни клевера > надземная масса луговых трав > надземная масса клевера > листья дуба > листья осины > солома ячменя > корни луговых трав > хвоя сосны > корни ячменя > мелкие ветви деревьев > тонкие корни деревьев. За 319 суток инкубации наибольшими константами скорости минерализации отличались листья и корни клевера, надземная масса луговых трав (0.035–0.055 сут⁻¹), а наименьшими – тонкие корни и мелкие ветви деревьев (0.007 сут⁻¹). В большинстве образцов растительных остатков и в навозе идентифицировали только умеренно (от 0.090 до 0.042 сут⁻¹) и трудно минерализуемые фракции (от 0.008 до 0.001 сут⁻¹) органического вещества.

ВВЕДЕНИЕ

Содержание органического вещества в почве зависит как от количества, поступающего органического материала, так и от скорости разложения – доминирующего процесса преобразования органических материалов в почвенное органическое вещество. Растительные остатки представляют собой комплексный питательный и энергетический субстрат для большинства гетеротрофных организмов, основной источник растворимых низкомолекулярных веществ: моносахаридов, аминокислот, органических кислот [3]. Скорость разложения растительных остатков напрямую зависит от исходной прочности биомолекул, слагающих растительные ткани, в частности от соотношения паренхимных и склеренхимных тканей, нали-

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 17-04-00707).

© Д.П. Хромычкина, Н.Б. Паутова, 2018

чия лигниноцеллюлозных и лигниногемицеллюлозных комплексов, а так же совокупности внешних условий, контролирующих ферментотрофическую активность почвенного микробиома [3]. Простые, преимущественно водорастворимые субстраты, напрямую утилизируются гетеротрофами, тогда как сложные субстраты, представляющие собой крупные биомолекулы полимеров и многокомпонентных комплексов, деполимеризуются внеклеточными ферментами [4]. Образующиеся при разложении органических остатков дискретные частицы, крупные биомолекулы высокомолекулярных биополимеров и низкомолекулярные не большого размера мономеры более окисленной формы, способные к ассимиляции микроорганизмами, подвергаются в почве стабилизации путем сорбции на минеральной поверхности, агрегации и других процессов [5]. Чем больше дискретных частиц и биомолекул стабилизируется в почве, тем меньше будут минерализационные потери органических остатков. Комплексный субстрат, каким являются растительные остатки, разлагается быстрее, чем какой-либо отдельный его компонент, так же как их разложение микробным сообществом будет более полным, чем монокультурой [1]. Основным критерием качества растительных остатков считается доступность потребителям – почвенным микроорганизмам: целлюлозолитикам, гемицеллюлозолитикам, пектинолитикам, лигнинолитикам. Растительные остатки и другие органические материалы, такие как навоз, являются одним из значимых источников эмиссии диоксида углерода и транзитным пулом секвестрируемого углерода. Разложение органических материалов – это центральный процесс в биохимических циклах азота и углерода, а так же основной этап преобразования органических остатков в почвенное органическое вещество и гумус.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В лабораторном опыте исследовали динамику разложения и минерализации разных органических материалов, компостируемых на вермикулите при постоянных условиях температуры и влажности на протяжении 319 суток, определяя суточную эмиссию C-CO₂ на газовом хроматографе КристалЛюкс-4000М. Содержание органического углерода и азота в органических материалах измеряется на элементарном анализаторе Leco CHNS-932. Объектами исследования служили растительные остатки древесных и травянистых видов лесного и лугового фитоценоза, разных сельскохозяйственных культур и органических удобрений: навоза крупного рогатого скота (КРС), свиного навоза, птичьего помета на вермикулите. Все органические материалы подготовлены по схеме: высушены при температуре 65 °C и измельчены до частиц 10–3 мм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Результаты наших исследований показали, что наиболее интенсивная скорость разложения разных органических материалов, компостируемых на вермикулите, установлена в первые три недели инкубации, а именно в первые сутки, за исключением вариантов с навозом. В последующие сроки на всех вариантах скорость разложения растительных остатков и навоза постепенно снижалась (рис.).

Это подтверждает литературные данные, что разложение растительных остатков подчиняется, как правило, двухфазной динамике с интенсивным в начале и медленным в последующее время продуцированием диоксида углерода в качестве конечного продукта. Легкодоступные для микроорганизмов компоненты органического вещества растительных остатков такие, как простые углеводы, щавелевая и лимонные кислоты, аминокислоты, трансформировались микроорганизмами с высокой скоростью, преимущественно бактериями, а субстраты более сложной химической природы, например, лигнин – в более поздние сроки, преимущественно грибами. Быстрая фаза разложения органического вещества осуществляется быстрорастущими на легкодоступном углероде микроорганизмами, а медленнорастущие микроорганизмы, адаптированные к низким концентрациям углерода, доминируют на медленной стадии [3].

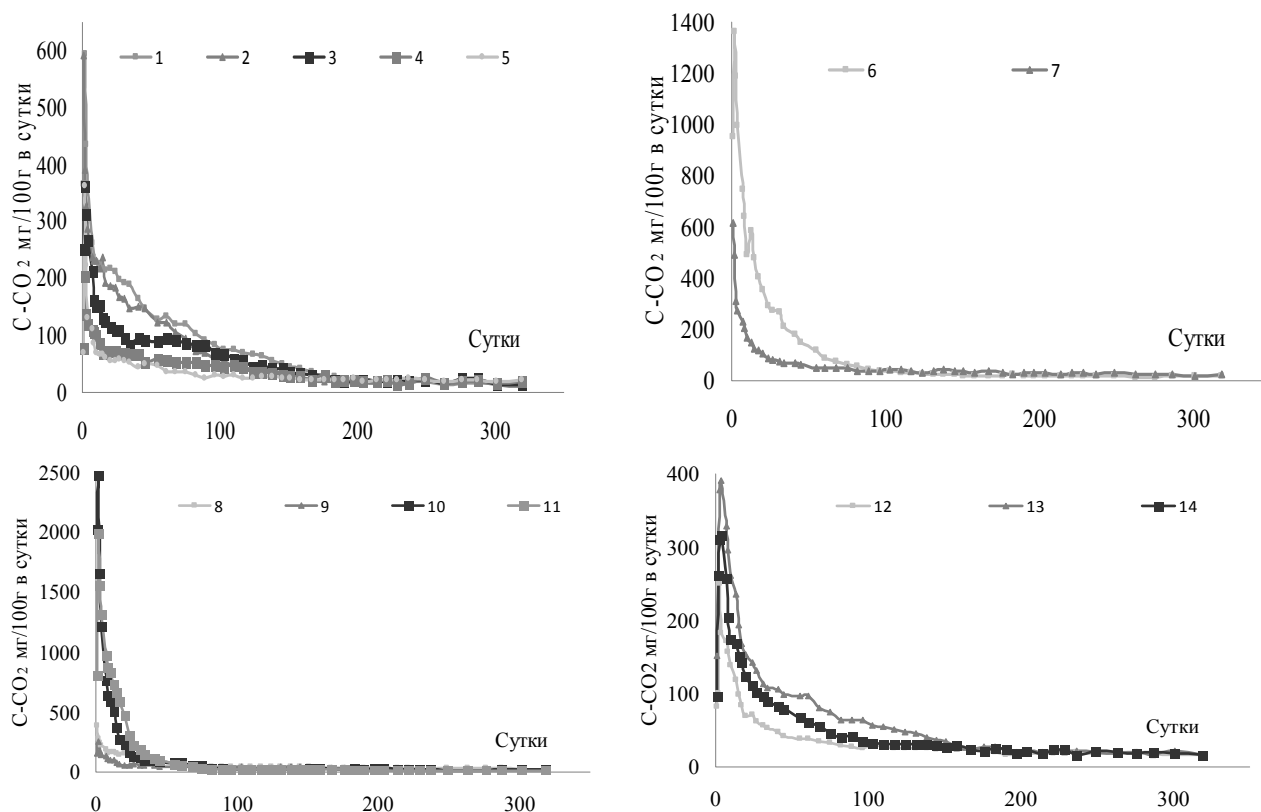


Рисунок. Интенсивность продуцирования $C-CO_2$ разными органическими материалами, компостируемыми на вермикулите. 1 – листья дуба, 2 – листья осины, 3 – хвоя сосны, 4 – мелкие ветки деревьев, 5 – тонкие корни деревьев, 6 – надземная масса луговых трав, 7 – корни луговых трав, 8 – солома ячменя, 9 – корни ячменя, 10 – надземная масса клевера, 11 – корни клевера, 12 – сухой навоз КРС, 13 – сухой свиной навоз, 14 – сухой куриный помет.

Минерализационная способность органических материалов уменьшалась в ряду: корни клевера > надземная масса луговых трав > надземная масса клевера > листья дуба > листья осины > солома ячменя > корни луговых трав > хвоя сосны > корни ячменя > мелкие ветви деревьев > тонкие корни деревьев. К группе сильно разлагаемых материалов (>50 % от $C_{орг}$) относятся: корни и надземная масса клевера, надземная масса луговых трав. Корни ячменя, мелкие ветви деревьев и тонкие корни деревьев – к слабо разлагаемым материалам (< 30 % от $C_{орг}$). Остальные растительные остатки можно отнести к умеренно разлагаемым материалам. Свиной навоз подвергся более сильному разложению (50.5 % от $C_{орг}$), чем куриный помет и навоз КРС (40.5 и 26.3 % от $C_{орг}$ соответственно) (табл. 1). По мере расширения углерода к азоту и лигнина к азоту способность к разложению органических материалов падает. Растительные ткани сельскохозяйственных культур и луговых трав характеризуются повышенным содержанием целлюлозы и гемицеллюлозы и меньшей долей белков и лигнина, а так же наличием растворимых низкомолекулярных органических соединений, легко разлагаемых почвенными микроорганизмами. Ткани ветвей и корней деревьев содержат больше лигнина, их компоненты более защищены от разложения. Если растительные остатки отличаются высокой концентрацией лигнина или полифенолов, способных связывать белки, образующиеся при гидролизе, то скорость их разложения будет низкой. Так же скорость разложения зависит от времени протекания процесса.

Чем продолжительнее период разложения, тем меньше были величины констант скорости минерализации. За весь период инкубации наибольшими константами скорости минерализации отличались листья и корни клевера, надземная масса луговых трав ($0.035\text{--}0.055 \text{ сут}^{-1}$), а наименьшими – тонкие корни и мелкие ветви деревьев (0.007 сут^{-1}) (табл. 1). Подразделение органического вещества на быстро и медленно разлагаемые фракции осуществляется

по константам скорости разложения и минерализации, полученным путем аппроксимации кривых кумулятивного продуцирования диоксида углерода двух (трех)-компонентным уравнением кинетики первого порядка. В нашем эксперименте минерализуемый пул у большинства растительных остатков и у всех видов навозов представлен умеренно- ($0.1 > k_2 > 0.01 \text{ сут}^{-1}$) и трудно- ($k_3 < 0.01 \text{ сут}^{-1}$) минерализуемой фракциями, константы скорости минерализации которых отличаются на порядок. Лишь у надземной массы клевера и надземной массы луговых трав были идентифицированы легко ($k_1 = 0.120 \text{ сут}^{-1}$ и $k_1 = 0.135 \text{ сут}^{-1}$) и трудно минерализуемые ($k_3 = 0.004 \text{ сут}^{-1}$ и $k_3 = 0.007 \text{ сут}^{-1}$) фракции. На долю легко-минерализуемой фракции приходится от 19 до 56 % от минерализуемого пула, на долю же умеренно-минерализуемого приходится от 4 до 67 %, а трудно-минерализуемая фракция представлена 33–95 % пула (табл. 2).

Таблица 1. Эффективность разложения органических материалов в течение их инкубации на вермикулите (% от $C_{\text{орг}}$).

Органические материалы	Эффективность разложения, % от внесенного		Константа скорости разложения, сутки^{-1}	
	89 суток	319 суток	89 суток	319 суток
Листья дуба	44.9±2.4	51.8±3.4	0.016±0.003	0.013±0.002
Листья осины	38.8±5.2	42.3±1.3	0.018±0.003	0.015±0.001
Хвоя сосны	26.7±0.5	34.7±1.3	0.015±0.001	0.010±0.001
Мелкие ветви деревьев	18.5±2.4	27.0±2.0	0.012±0.001	0.007±0.000
Тонкие корни деревьев	12.0±1.0	23.4±5.2	0.023±0.001	0.007±0.001
Надземная масса луговых трав	52.0±3.3	58.6±2.8	0.046±0.002	0.007±0.003
Корни луговых трав	19.4±2.3	36.3±3.3	0.040±0.002	0.011±0.003
Солома ячменя	24.9±2.9	41.8±3.7	0.025±0.002	0.009±0.000
Корни ячменя	16.5±3.3	32.4±0.4	0.021±0.001	0.007±0.000
Надземная масса клевера	45.7±5.5	53.7±6.1	0.088±0.003	0.055±0.003
Корни клевера	61.2±1.0	66.3±0.9	0.066±0.002	0.055±0.001
Навоз КРС	14.3±1.6	24.9±0.7	0.030±0.003	0.010±0.001
Свиной навоз	34.9±0.6	47.9±1.7	0.024±0.001	0.013±0.001
Птичий помет	26.5±2.2	37.4±3.1	0.026±0.001	0.013±0.001

Таблица 2. Структура минерализуемого пула различных органических материалов, компостируемых на вермикулите.

Органические материалы	Легко минерализуемая фракция		Умеренно минерализуемая фракция		Трудно минерализуемая фракция	
	% от пула	$k_1, \text{сутки}^{-1}$	% от пула	$k_2, \text{сутки}^{-1}$	% от пула	$k_3, \text{сутки}^{-1}$
Листья дуба	нет	нет	13	0.042	87	0.011
Листья осины	нет	нет	8	0.032	92	0.007
Хвоя сосны	нет	нет	5	0.074	95	0.009
Мелкие ветви деревьев	нет	нет	4	0.056	96	0.006
Тонкие корни деревьев	нет	нет	10	0.079	90	0.002
Надземная масса луговых трав	нет	нет	62	0.060	38	0.008
Корни луговых трав	19	0.120	нет	нет	81	0.004
Солома ячменя	нет	нет	15	0.054	85	0.003
Корни ячменя	нет	нет	7	0.030	93	0.005
Надземная масса клевера	56	0.135	нет	нет	44	0.007
Корни клевера	нет	нет	67	0.073	33	0.003
Навоз КРС	нет	нет	16	0.061	84	0.002
Свиной навоз	нет	нет	17	0.073	83	0.008
Птичий помет	нет	нет	27	0.042	73	0.003

ВЫВОДЫ

1. Минерализационная способность органических материалов уменьшалась в ряду: корни клевера > надземная масса луговых трав > надземная масса клевера > листья дуба > листья осины > солома ячменя > корни луговых трав > хвоя сосны > корни ячменя > мелкие ветви деревьев > тонкие корни деревьев. К группе сильно разлагаемых материалов (>50 % от $C_{орг}$) можно отнести корни и надземную массу клевера, надземную массу луговых трав. Корни ячменя, мелкие ветви деревьев и тонкие корни деревьев – к слабо разлагаемым материалам (< 30 % от $C_{орг}$). Остальные растительные остатки – к умеренно разлагаемым материалам.

2. Наибольшими константами скорости минерализации отличались листья и корни клевера, надземная масса луговых трав ($0.035\text{--}0.055 \text{ сут}^{-1}$), а наименьшими – тонкие корни и мелкие ветви деревьев (0.007 сут^{-1}).

3. Минерализуемый пул у большинства растительных остатков и у всех видов навозов был представлен умеренно ($0.1 > k > 0.01 \text{ сут}^{-1}$) и трудно ($k < 0.01 \text{ сут}^{-1}$) минерализуемой фракциями, у надземной массы клевера и надземной массы луговых трав были идентифицированы легко ($k=0.120 \text{ сут}^{-1}$ и $k=0.135 \text{ сут}^{-1}$) и трудно минерализуемые ($k=0.004 \text{ сут}^{-1}$ и $k=0.007 \text{ сут}^{-1}$) фракции.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Благodatская Е.В., Семенов М.В., Якушев А.В.* Активность и биомасса почвенных микроорганизмов в изменяющихся условиях окружающей среды. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2016. 243 с.
2. *Семенов В.М., Иванникова Л.А., Тулина А.С.* Стабилизация органического вещества в почве // *Агрохимия*. 2009. № 10. С. 77–96.
3. *Семенов В.М., Козум Б.М.* Почвенное органическое вещество. – М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
4. *Burns R.G., DeForest J.L., Marxsen J., Sinsabaugh R.L., Stromberger M.E., Wallenstein M.D., Weintraub M.N., Zoppini A.* Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions // *Soil Biology and Biochemistry*. 2013. V. 58. P. 216–234.
5. *Lehmann J., Kleber M.* The contentious nature of soil organic matter // *Nature*. 2015. V. 528. P. 60–68.

Работа рекомендована д.б.н. В.М. Семеновым.

ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ
В ПШЕНИЦЕ МЯГКОЙ (*TRITICUM AESTIVUM*)

В.А. Чаплыгин

Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского
Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону

Изучено содержание Mn, Zn, Cr, Cu, Pb, Ni, Cd в пшенице мягкой (*Triticum aestivum*). Рассмотрен характер накопления металлов в различных частях растения и оценена устойчивость культуры к техногенному воздействию. Установлено загрязнение зерна пшеницы Zn, Pb и Cd, представляющее угрозу здоровью жителей региона.

ВВЕДЕНИЕ

Среди экологических проблем защиты окружающей среды от техногенного загрязнения все большее внимание уделяется агроэкосистемам – основным факторам обеспечения продовольственной безопасности государств.

Избыточное накопление тяжелых металлов (ТМ) в растениеводческой продукции, которая используется для кормовых и продовольственных целей, представляет серьезную угрозу здоровью человека и животных [7, 13, 16, 17]. В отличие от органических загрязнителей, биodeградации ТМ не происходит и, следовательно, они непрерывно накапливаются в окружающей среде [15].

Исследование аккумуляции ТМ растениями является одним из самых важных и, в то же время, самых сложных аспектов экологического мониторинга. Для разных видов растений характерно селективное поглощение определенных элементов из почвы, локализация ТМ в различных органах и специфические механизмы устойчивости к техногенному загрязнению. Устойчивость растений не является постоянной величиной и изменяется с течением времени под воздействием на фитоценозы неблагоприятных факторов.

Аккумуляция ТМ в растениях особенно актуальна в аграрных регионах, к числу которых относится и Ростовская область. Промышленные предприятия нередко тесно соседствуют с сельскохозяйственными угодьями, что создает риски для здоровья жителей региона. Именно в таких условиях изучение поступления ТМ в растения имеет наибольшую важность, давая возможность прогнозировать последствия техногенного загрязнения окружающей среды. Несмотря на многочисленные исследования, проблема транслокации ТМ в растениях остается открытой для обсуждения [9, 10].

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Площадки мониторинга расположены на расстоянии от 1.6 до 2.2 км от филиала ОГК-2 «Новочеркасская» ГРЭС (НчГРЭС), крупнейшего в Ростовской области предприятия топливо-энергетического комплекса. Несмотря на близкое расположение к НчГРЭС, в пределах 1.6–2.2 км от предприятия встречаются поля, засеянные масличными и зерновыми культурами, в том числе пшеницей мягкой (*Triticum aestivum*). Растения отбирались ежегодно в первой декаде июля 2014–2017 гг. в фазу полной спелости озимой пшеницы. Наряду с растениями отбирались образцы почв, представленные черноземом обыкновенным карбонатным (Haplic Chernozem).

В образцах растений и почв определялись такие элементы как Pb, Cd, Zn, Cu, Ni, Mn и Cr, присутствующие в выбросах НчГРЭС [8, 12]. Минерализацию проб растений проводили методом сухого озоления по ГОСТ 26657-85. Экстракция ТМ из золы осуществлялась 20 % раствором HCl с последующим определением методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии (ААС) [4].

Общее содержание Cr, Ni, Mn, Cd, Cu, Zn и Pb в почвах определено рентгенофлуоресцентным методом. Подвижные соединения ТМ переведены в раствор 1 н. аммонийно-ацетатным буфером (NH₄Ac) pH 4.8 (соотношение почва:раствор = 1:5, время экстракции – 18 ч), способным переводить в раствор обменные формы металлов, характеризующие их актуальную подвижность [5].

Содержание ТМ в пшенице мягкой (*Triticum aestivum*) сравнивалось с ПДК для продовольственного сырья и пищевых продуктов группы «Зерно (семена), мукомольно-крупяные и хлебобулочные изделия» [6].

Для оценки устойчивости пшеницы мягкой (*Triticum aestivum*) к техногенному воздействию рассчитывался акропетальный коэффициент (АК), представленный как отношение содержания ТМ в надземной части к корневой системе растения [11, 3].

Все исследования были выполнены в 3-х кратной повторности.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования почв площадок мониторинга выявили наличие техногенного загрязнения ТМ [13]. Обнаружено превышение ПДК для общего содержания и обменных форм Pb, а также обменных форм Cd и Cr на площадке № 1 (табл. 1). При превышении ПДК для валового Pb практически не наблюдается превышения для обменных форм металла.

Сельскохозяйственные угодья, на которых выращивается пшеница подвергаются техногенному загрязнению выбросами НЧГРЭС. В зерне пшеницы мягкой (*Triticum aestivum*) отмечается превышение ПДК для Pb в 2–10 раз на всех площадках, для Zn в 1.3 на площадке № 1 и для Cd в 1.2–4.1 раза на площадках № 1, № 2, № 4 (табл. 2).

Zn, Mn, Cr, Ni аккумулируются преимущественно в корнях пшеницы, по сравнению с надземной частью, Cd – в надземной части растения, однако содержание данных элементов в зерне пшеницы превосходит их концентрацию в стеблях и листьях.

Содержание Pb в пшенице находится в диапазоне 0.6–4.0 мг/кг в соломе и 1–5 мг/кг (от 2 до 10 ПДК) в зерне, что соответствует данным, полученным Ю.В. Алексеевым [1]. Невысокая фитотоксичность Pb, по мнению автора, объясняется наличием хорошо действующей в растении системы инактивации элемента, проникающего в корневую систему. Основная часть Pb задерживается в корнях растений. Естественные уровни содержания Pb в растениях из незагрязненных и безрудных областей довольно постоянны и лежат в пределах 0.1–10.0 мг/кг сухой массы (среднее 2 мг/кг) [3].

Для оценки эффективности барьеров поглощения элементов пшеницей был рассчитан АК. Поскольку различные части растений отличаются по аккумуляции ТМ, были рассмотрены два барьера поступления элементов: между стеблями и листья/корневой системой и между репродуктивными органами/стеблями и листьями. Значения АК стебли/корни, рассчитанного для растений пшеницы, отличались на разных площадках мониторинга (табл. 3).

На площадке мониторинга № 1, испытывающей наибольшую техногенную нагрузку (1.6 км СЗ), обнаружены самые высокие значения АК по Mn, Cu и Ni для пшеницы. Максимальные значения АК по Zn обнаружены на площадке № 2 (1.5 км С), для Pb – на площадке № 3 (2.2 км ЮВ) и по Cr и Cd на площадке № 4 (2.1 км В). Наименьшие величины АК стебли/корни отмечаются для Ni, максимальные – для Cr и Pb.

АК зерно/стебли имеет другую тенденцию распределения по площадкам мониторинга. На площадке № 1 самые высокие значения коэффициента установлены для Cr и Pb, № 2 – для Mn и Cd, № 3 – Zn, Ni и № 4 – Cu. Следует отметить что АК стебли/корни для Zn, Cu и Ni в целом ниже, чем для АК зерно/стебли, однако выше для Cr.

Таблица 1. Общее содержание и обменные формы тяжелых металлов в 0–20 см слое Haplic Chernozem площадок мониторинга, мг/кг (2014–2017 гг.).

№ площадки	Направление и расстояние от источника, км	Mn	Zn	Cr	Cu	Pb	Ni	Cd
1	1.6 СЗ	950/68	118/19	137/7	76/5	73/7	69.0/3.8	1.13/0.18
2	1.5 С	870/36	100/8	140/5	49/2	34/3	60.1/2.3	0.64/0.05
3	2.2 ЮВ	1045/106	92/2	122/4	52/1	37/1	64.0/2.8	0.54/0.04
4	2.1 В	777/112	141/3	128/3	62/2	49/2	82.5/2.9	0.46/0.05
НСР0.95		58/5	15/1	19/1	12/1	9/1	12/1	0.10/0.01
ПДК (ГН 2.1.7.2041-06, 2006)		1500/140	–/23	–/6	–/3	32/6	–/4	–/0.05

Примечание: в числителе – валовое содержание, в знаменателе – подвижные соединения.

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в пшенице мягкой (*Triticum aestivum*) на мониторинговых площадках, мг/кг (2014–2017 гг.).

№ площадки	Направление и расстояние от НчГРЭС, км	Mn	Zn	Cr	Cu	Pb	Ni	Cd
1	1.6 СЗ	58/52/38	22/36/63	18/12/8	8/8/9	3.1/4.2/4.2	6.6/8.6/3.2	1.60/1.83/0.37
2	1.5 С	29/41/31	10/12/38	16/11/10	5/7/7	4.0/6.0/5.0	1.9/2.8/2.2	0.51/0.72/0.41
3	2.2 ЮВ	45/52/20	6/9/19	4/6/6	4/5/5	1.0/0.6/1.2	0.9/1.5/1.0	0.29/0.40/0.05
4	2.1 В	17/25/30	7/10/45	5/4/4	2/3/4	0.6/0.6/1.1	1.6/2.1/1.2	0.14/0.07/0.12
ПДК (СанПиН 2.3.2.560-96)		–	50	–	10.0	0.5	–	0.1

Примечание: надземная часть/корни/семена, полужирным шрифтом выделено превышение ПДК для продовольственного и лекарственного сырья.

Таблица 3. Акропетальный коэффициент (АК) пшеницы мягкой (*Triticum aestivum*) на площадках мониторинга, мг/кг (2011–2017 гг.)

№ площадки	Направление и расстояние от НчГРЭС, км	Mn	Zn	Cr	Cu	Pb	Ni	Cd
содержание в стеблях и листьях/содержание в корнях								
1	1.6 СЗ	1.21	0.67	1.14	1.00	0.74	0.75	1.00
2	1.5 С	0.64	1.00	1.08	0.71	0.67	0.67	0.71
3	2.2 ЮВ	0.79	0.71	0.80	0.67	1.67	0.69	0.70
4	2.1 В	0.90	0.70	1.25	0.67	1.00	0.68	1.22
содержание в зерне/содержание в стеблях и листьях								
1	1.6 СЗ	0.59	2.63	0.38	1.29	1.29	0.45	0.62
2	1.5 С	1.26	3.80	0.46	1.40	1.25	1.18	0.82
3	2.2 ЮВ	0.40	4.00	1.25	1.50	1.00	1.11	0.16
4	2.1 В	1.42	6.00	0.80	2.00	1.67	0.74	1.09

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе исследования было установлено загрязнение пшеницы мягкой (*Triticum aestivum*) такими ТМ как Pb, Zn и Cd. Содержание Pb и Cd в зерне пшеницы мягкой превышает ПДК для продовольственного сырья и может представлять угрозу здоровью жителей региона. Почва, а которой выращивается культура, загрязнена Pb, Cr и Cd. Аккумуляция Zn, Mn, Cr, Ni идет преимущественно в корнях пшеницы, по сравнению с надземной частью. Величины АК >1 указывают на низкую устойчивость пшеницы к аккумуляции Zn, Cr, Cu, Pb и Cd.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Ю.В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л. Агропромиздат Ленингр. отделение. 1987. 140 с.
2. ГН 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 19 января 2006 года.
3. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. М.: Мир, 1989. 437 с.
4. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 61 с.
5. Минкина Т.М., Назаренко О.Г., Мотузова Г.В., Манджиева С.С., Бурачевская М.В. Групповой состав соединений тяжелых металлов в почвах агроценозов, загрязненных аэрозольными выбросами Новочеркасской ГРЭС // Агрохимия. 2011. № 6. С. 68–77.
6. СанПиН 2.3.2.560-96. Гигиенические требования к качеству и безопасности продовольственного сырья и пищевых продуктов. Утверждены и введены в действие постановлением Госкомсанэпиднадзора России от 24 октября 1996 г.
7. Серегин И.В., Кожеевников А.Д. Роль тканей корня в транспорте и накоплении кадмия, свинца, никеля и стронция // Физиология растений 2008. Т. 55. № 1. С. 3–26.
8. Экологический вестник Дона: О состоянии окружающей среды и природных ресурсов Ростовской области в 2014 году. Ростов-на-Дону. 2014. С. 283.
9. Gladkov E.A. Evaluation of complex phytotoxicity of heavy metals and definition of estimated allowable concentrations for zinc and copper. Agricultural Biology 6: 2010. Pp. 94–99.
10. Gruzdev L.P. Application of bio-indication to identify the technogenic pollution of agricultural landscapes. Planning, Cadastre and Land Monitoring 3: 2010. Pp. 13–16.
11. Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Motuzova G.V., Chaplugin 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. V. 13. No. 5. Pp. 1307–1315.
12. Minkina T.M., Motuzova G.V., Mandzhieva S.S., Nazarenko O.G., Burachevskaya M.V., Antonenko E.M. Fractional and Group Composition of the Mn, Cr, Ni, and Cd compounds in the soils of technogenic landscapes in the impact zone of the Novocherkassk Power Station // Eurasian Soil Science. 2013. Vol. 46. No. 4. Pp. 375–385.
13. Minkina T.M., Miroshnichenko N.N., Fateev A.I., Motuzova G.V., Mandzhieva S.S., Sushkova S.N., Biryukova O.A. Natural and anthropogenic microelement background in ordinary chernozems of the Azov and lower Don regions // American Journal of agricultural and biological sciences. 2015. 10 (3): 111-115 DOI: 10.3844/ajabssp.2015.111.115
14. Roy M., McDonald L.M. Metal uptake in plants and health risk assessments in metal-contaminated smelter soils. Land Degrad. Dev. <http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2237>. 2013.
15. Sarwar N., Saifullah Malhi S.S., Zia M.H., Naeem A., Bibi S., Farid G. Role of plant nutrients in minimizing cadmium accumulation by plant. J. Sci. Food Agric. 90, 2010. Pp. 925–937.
16. Seth C.S. A review on mechanisms of plant tolerance and role of transgenic plants in environmental cleanup. Bot. Rev. 78, 2012. Pp. 32–62.
17. Seth C.S., Chaturvedi P.K., Misra V. Toxic effect of arsenic and cadmium alone and in combination on Giant duckweed (*Spirodela polyrrhiza* L.) in response to its accumulation. Environ. Toxicol. 22, 2007. Pp. 539–549.

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

ВЛИЯНИЕ МЕДИ НА МОРФОБИОМЕТРИЮ И УЛЬТРАСТРУКТУРУ
КЛЕТОК КОРНЯ ЯЧМЕНЯ

Н.П. Черникова, А.Г. Федоренко, С.С. Манджиева, М.В. Бурачевская

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Исследовано влияние меди на морфобиометрию и ультраструктуру клеток корня ячменя. *Hordeum sativum distichum* выращивали в пластиковых горшках, заполненных 2 кг почвы в двух вариантах – контроль и загрязненная $10000 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1} \text{ Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$. На 45 день проводили отбор образцов для получения морфобиометрических данных и приготовление препаратов тканей растения для исследования ультраструктуры клеток корня на светооптическом и просвечивающем электронном микроскопе. В результате установили, что влияние меди вызвало угнетение роста всех частей растения, изменение на тканевом и клеточном уровнях. В тканевых структурах наблюдаются: деградация эпидермиса и эндодермального слоя, значительное увеличение размеров клеток кортикального слоя, существенное уменьшение диаметра центрального цилиндра и нарушение структуры его исходных клеток. На клеточном уровне отмечаются ультраструктурные изменения, такие как повышение электронной плотности цитоплазмы, увеличение размеров липидных образований, разрывы стенки некоторых клеток экзодермы.

ВВЕДЕНИЕ

Среди многочисленных загрязнителей окружающей среды особое место занимают тяжелые металлы. Их опасность заключается в кумулятивных действиях и сохранении токсических свойств в течение длительного времени. Медь (Cu) – один из наиболее опасных элементов, а также важнейших микроэлементов. Физиологическая активность Cu связана с включением ее в состав активных центров окислительно-восстановительных ферментов, участием в процессе фотосинтеза и усвоением азота растениями. Недостаточное содержание Cu отрицательно влияет на синтез белков, жиров и витаминов у растительных организмов, а избыточные концентрации оказывают негативное влияние на рост, развитие и продуктивность [5].

Активно исследуются поглощение, транспорт и аккумуляция тяжелых металлов в тканях и органах растений, их влияние на основные физиологические процессы (рост, развитие, фотосинтез, водный обмен, минеральное питание), а также механизмы металлоустойчивости растений [4, 7, 8]. Однако существует мало данных, объясняющих воздействие тяжелых металлов на клеточное деление и ультраструктуру клетки в целом. В данной работе изучаются изменения в корнях ярового ячменя под влиянием высокой дозы ацетата меди на тканевом и клеточном уровнях.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Подготовка почвы к исследованию и выращивание растений. Для изучения токсичности Cu на морфобиометрию и ультраструктуру клеток корня ячменя была взята почва из Ростовской области, характеризующаяся как чернозем обыкновенный карбонатный. Почву отобрали из поверхностного слоя (0–20 см), высушивали на воздухе и просеивали через сито 5 мм. Эксперимент проводился в пластиковых горшках с хорошей дренажной системой, каждый из которых был заполнен 2 кг почвы. В качестве контрольного образца использовали чернозем обыкновенный карбонатный, а в качестве экспериментального – чернозем обыкновенный карбонатный с искусственным загрязнением в дозе $10000 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1} \text{ Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2$. Семена *Hordeum sativum distichum* высевали спустя месяц после внесения ацетата меди, при вегетативном росте растений поддерживали наименьшую полевую влагоемкость (до 60 % от полной полевой влагоемкости). Проведение эксперимента и процедура отбора проб проводились в соответствии со стандартной методикой [1].

Отбор образцов и проведение световой и просвечивающей электронной микроскопии. Яровой ячмень был отобран в фазе выхода в трубку. Подготовка образцов тканей растений для просвечивающей электронной микроскопии (ТЭМ) осуществлялась по стандартной мето-

дике [6]. Для исследования выделяли кусочки корня растения *Hordeum sativum distichum* размером около 1 мм. Материал фиксировали 2.5 % раствором глutarальдегида на фосфатном буфере (PBS) в течение одного часа при температуре 20–22 °C. После отмывки в PBS проводилась дофиксация 1 % раствором осмиевой кислоты в PBS в течение 120 минут при комнатной температуре. Дегидратацию проводили в спиртах возрастающей концентрации от 30 до 100 °C и абсолютном ацетоне. В процессе дегидратации образцы для удобства наблюдения помещали в плоские капсулы и заливали эпоксидной смолой. После полимеризации из полученных блоков изготавливали ультратонкие срезы на микротоме Leica EMUC6 (Leica, FRG), которые дополнительно контрастировали в цитрате свинца. Срезы изучали и фотографировали на просвечивающем электронном микроскопе Tecnaï Spirit G2 (Philips, Голландия). Для светооптических наблюдений полутонкие срезы (толщиной около 1 мкм) дополнительно окрашивали 1 % раствором толуидинового синего [3] и исследовали на микроскопе Микомед-6.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Присутствие высокой дозы Cu в почве способствовало замедленному онтогенетическому развитию растений, изменению их морфометрических параметров. По сравнению с ячменем, отобранным на незагрязненном варианте (контроль), было зафиксировано уменьшение длины главного корня и количества боковых корней, отмирание корневых волосков, снижение биомассы корня. Это связано с тем, что корни являются первым барьером на пути поступления металла из почвы в растение, и именно корень берет на себя основную функцию по его аккумуляции и детоксикации [5]. Отмеченные изменения в корневой системе приводят к снижению поглощения питательных веществ и воды, что негативно отражается на росте и развитии всего растения.

Токсичное действие меди проявляется также в угнетении надземной части растения, хотя и в меньшей степени, чем корней. Уменьшается высота побега, снижается площадь листовой пластинки. Отдельно необходимо отметить действие тяжелых металлов на рост листа, поскольку лист является основным специализированным органом фотосинтеза [2]. Было обнаружено уменьшение длины, ширины и площади листовой пластинки растений ярового ячменя 1-го и последующих (2-го и 3-го) листьев. Это является одной из причин снижения интенсивности процесса фотосинтеза.

Светооптические наблюдения корня ячменя показали, что накопление меди вызвало уменьшение длины и количества корневых волосков, деградацию эпидермиса и эндодермального слоя, появление в межклеточном пространстве темных (оптически плотных) образований. Отмечено значительное увеличение размеров клеток экзодермы и мезодермы и существенное уменьшение диаметра центрального цилиндра, нарушение структуры его клеток. А именно, увеличение размеров клеток флоэмы, но уменьшение их количества, увеличение количества клеток ксилемы (рис. 1).

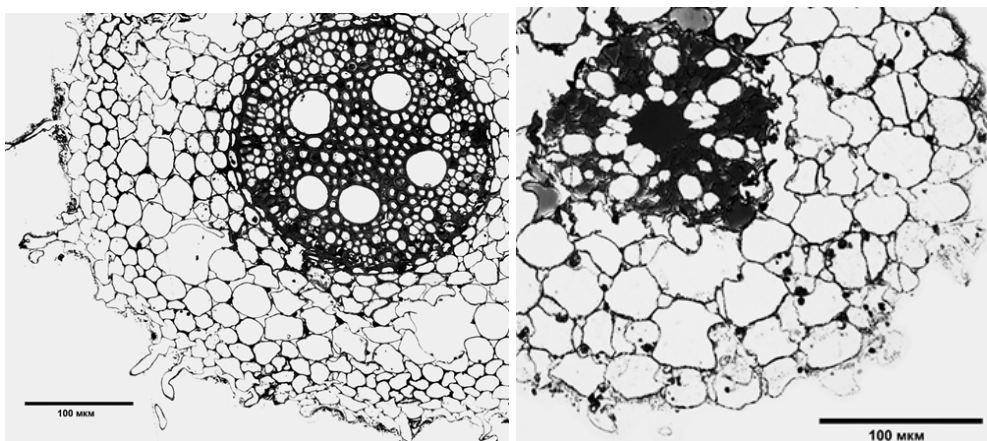


Рисунок 1. Структурные изменения клеток корня *Hordeum sativum distichum*.

Электронно-микроскопический анализ показал, что корни имели нормальные ультраструктурные характеристики в клетках контроля, с неповрежденными клеточными стенками, вакуолью, эндоплазматическим ретикулом, рибосомами, митохондриями, а также липидными каплями и ядром. Под воздействием Си наблюдались существенные ультраструктурные изменения, в том числе, повышение электронной плотности цитоплазмы, увеличение размеров и количества липидных образований, разрывы стенки некоторых клеток экзодермы. Отмеченные отложения электронно-плотного материала на мембранах цитоплазмы и клеточной оболочке, по-видимому, являются отложениями Си (рис. 2).

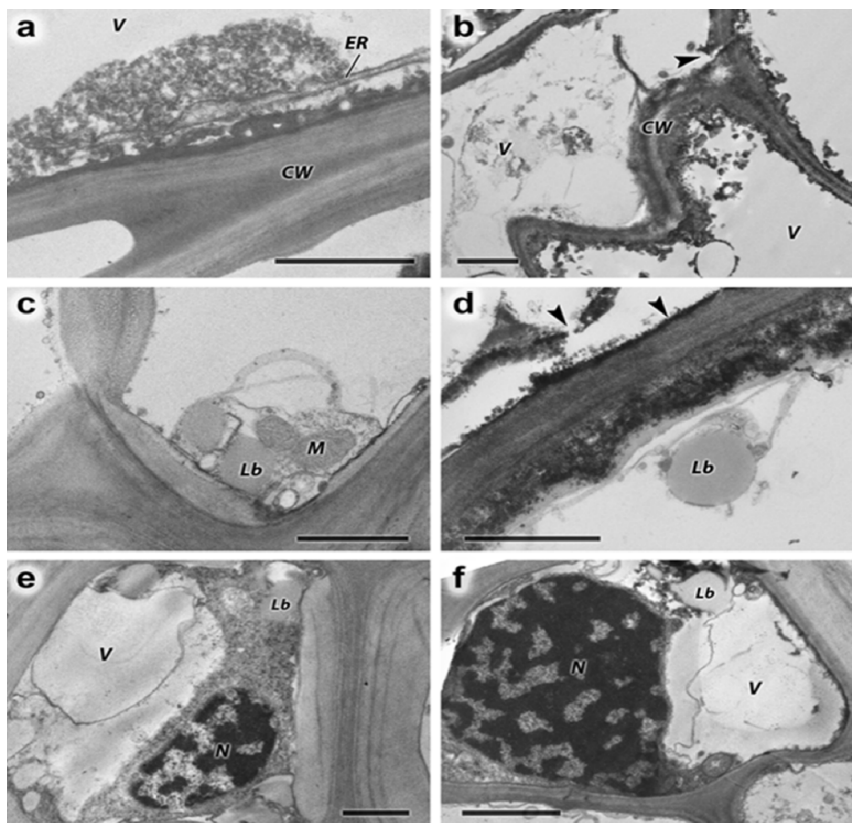


Рисунок 2. Ультраструктурные изменения клеток мезодермы.

а, с, е – контроль; b, d, f – опыт. CW – клеточная стенка, V – вакуоль, ER – эндоплазматический ретикулум, Lb – липидная капля, N – ядро, М – митохондрия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внесение $10000 \text{ мг} \cdot \text{кг}^{-1}$ Си вызвало изменения на визуальном, тканевом и клеточном уровнях. Тяжелые металлы являются неспецифически действующими на рост корня веществами, токсичность которых зависит от способности связывания ионов металлов с сульфгидрильными группами белков и ферментов, ответственных за прохождение митоза, в результате чего данные белки теряют свою активность. Угнетение корневой системы приводит к снижению поглощения питательных веществ и воды. Уменьшение надземной части растения снижает интенсивность процесса фотосинтеза.

Прямое проникновение Си в корень ярового ячменя приводит к изменению в тканевых структурах. А именно – деградации эпидермиса и эндодермального слоя, значительному увеличению размеров клеток кортикального слоя, существенному уменьшению диаметра центрального цилиндра и нарушению структуры его исходных клеток.

Связывание ионов тяжелых металлов клеточными стенками корня позволяет снизить их проникновение из почвенного раствора в цитоплазму. Имобилизация в клеточной стенке ионов тяжелых металлов является одним из важнейших процессов, влияющих на устойчивость растений к их избытку. Отмеченные отложения ионов Си адсорбируются клеточной стенкой и накапливаются в ней, а также осаждаются на ее поверхности в виде гранул. Однако

в случае действия на растения высокой концентрации, клеточная стенка достигает своеобразного «насыщения», ее барьерные функции нарушаются, теряется способность защитить клетку от токсического действия металла. Попадание меди в клетку вызывает ультраструктурные повреждения в клеточной мембране, цитоплазме, эндодерме, митохондриях и вакуолях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). – М.: Книга по Требованию, 2012. – 349 с.
2. Мокроносов А.Т. Онтогенетический аспект фотосинтеза. – М.: Наука, 1981. – 196 с.
3. О'Брайен Т.П., Федер Н., Маккалли М.Е. Полихромное окрашивание стенки растительных клеток толуидиновым синим. – 1964.
4. Серегин И.В., Иванов В.Б. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения // Физиология растений. – 2001. – Т. 48, № 4. – С. 606–630.
5. Титов А.Ф., Таланова В.В., Казнина Н.М. Физиологические основы устойчивости растений к тяжелым металлам: учебное пособие; Институт биологии КарНЦ РАН. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. – 77 с.
6. Усатов А.В., Федоренко Г.М., Щербакова Л.Б., Машикина Е.В. Ультраструктура хлоропластов горчицы *Brassica Juncea* как показатель солерезистентности // Цитология. – 2004. – Т. 46, № 12. – С. 1035 – 1042.
7. Clemens S. Molecular mechanisms of plant metal tolerance and homeostasis // Planta. 2001. V. 212. P. 475–486.
8. Hall J.L. Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance// J. Exp. Bot. 2002. V. 53, N 366. P. 1–11.

Рекомендована д.б.н., профессором Т.М. Минкиной.

УДК 631.4

ИТОГИ РАБОТ ПО ВЫЯВЛЕНИЮ ЦЕННЫХ ПОЧВЕННЫХ ОБЪЕКТОВ НА ТЕРРИТОРИИ ПЕРМСКОГО КРАЯ

И.Е. Шестаков, Д.Н. Андреев

Пермский государственный национальный исследовательский университет,
galendil@yandex.ru

В статье приведены итоги многолетней работы по выявлению ценных почвенных объектов (ЦПО) для Красной книги почв Пермского края. В период 2007–2017 гг. обследованы 42 административных района края, выявлено 94 ЦПО, различных категорий редкости, среди них 50 объектов (53 %) расположено в границах особо охраняемых природных территорий (ООПТ). Общая площадь выявленных ЦПО составляет 58 790 га. Составлен перечень почв, рекомендуемых к занесению в красную книгу, почвенные объекты сгруппированы по типам почв и категориям редкости; для каждого выявленного ЦПО составлен экологический паспорт; подготовлены предложения по структуре и формированию разделов Красной книги.

Работа по созданию Красной книги почв Пермского края была инициирована в 2006 году сотрудниками Пермского госуниверситета и Управления по охране окружающей среды Министерства природных ресурсов, лесного хозяйства и экологии Пермского края. Была разработана концепция Красной книги почв, в которой определялись основные принципы и подходы, используемые при её составлении. На основании анализа имеющихся в регионе материалов и данных полевых исследований были обоснованы природоохранный статус и экологическое состояние некоторых редких и исчезающих почв, выделены категории охраняемых почв. В дальнейшем на основании этой концепции постановлением Правительства Пермского края в 2007 году было принято Положение о порядке ведения Красной книги почв Пермского края.

В соответствии с данным положением, с 2007 по 2017 год проводились полевые работы по обследованию почвенного покрова края с целью выявления ареалов редких, исчезающих и эталонных почв и подготовка обоснований для включения их в Красную книгу и кадастр ценных почвенных объектов (ЦПО).

За это время были обследованы 42 административных района края, выявлено 94 ЦПО (рис. 1), среди них 50 объектов (53 %) расположено в границах особо охраняемых природных территорий (ООПТ).

Таким образом, половина ЦПО уже имеют охранный статус. Объекты, не входящие в ООПТ, в основном, расположены в юго-восточной части Пермского края и предназначены для охраны черноземов глинисто-иллювиальных, серых и темно-серых почв. Общая площадь выявленных ЦПО составляет 58 790 га.

По результатам работ составлен «Перечень почв, рекомендуемых к занесению в красную книгу почв пермского края». Выявленные почвенные объекты сгруппированы по типам почв и категориям редкости:

1. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения по естественным причинам:
 - 1.1. Уникальные
 - 1.2. Редкие (на территории России)
 - 1.3. Редкие (на территории региона)
2. Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения по антропогенным причинам (исчезающие):
 - 2.1. На территории России
 - 2.2. На территории региона
3. Эталонные:
 - 3.1. Основные эталоны
 - 3.2. Локальные (местные) эталоны
 - 3.3. Эталонные комплексы

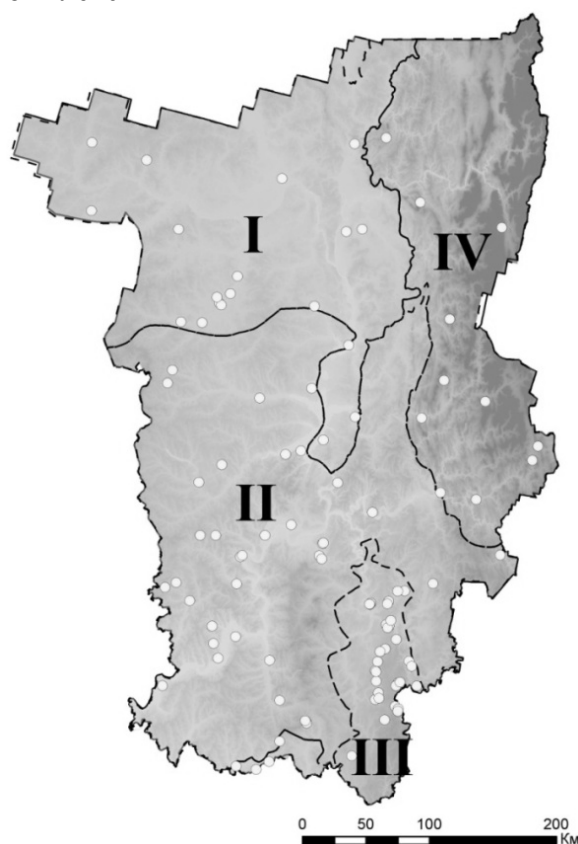


Рисунок 1. Ценные почвенные объекты Пермского края.

Белыми точками указано местоположение ЦПО. Цифрами обозначены: I – Камско-Верхневычегодская почвенная провинция, II – Вятско-Камская почвенная провинция, III – Прикамская лесостепная почвенная провинция, IV – Уральский горный почвенный округ.

В первую очередь шел поиск редких и исчезающих почв, для которых сохраняется угроза исчезновения. Среди почв претендентов на включение в Красную книгу почв РФ, указанных в первом ее издании, на территории края выделены: в лесостепной провинции темно-серые лесные почвы и черноземы выщелоченные и оподзоленные; в лесной зоне эталонные подзолистые, дерново-подзолистые, слабоподзолистые глееватые, дерново-глеевые почвы, подзолы песчаные и редкие и ограниченного распространения дерново-карбонатные почвы, подбуры, бурые лесные почвы, буроземы, подзолистые и дерново-подзолистые почвы на пермских глинах [1].

В Пермском крае практически все подходящие для использования ареалы серых лесных почв и чернозёмов лесостепной провинции распаханы, а развитие водной эрозии приводит к практически их полной потере.

На фоне однородных биоклиматических условий в таёжно-лесной части края фактор «редкости» почв связан, как правило, с редкими для региона почвообразующими породами. В местах выхода коренных пород формируются комплексы серогумусовых (дерновых) и темногумусовых почв в сочетании с петрозёмами и литозёмами, ранее относившихся к дерново-карбонатным и дерново-бурым почвам. На песчаниках древнеаллювиального происхождения формируются псаммозёмы гумусовые, на двучленных породах – дерново-элювозёмы. Особо выделяется в почвенном отношении труднодоступный Уральский горный округ (рис. 1, IV), в котором распространены комплексы различных типов характерных для горной местности почв на элювии кварцитопесчаников.

Подзолы и подзолистые почвы в Пермском крае распространены в Камско-Верхневычегодской почвенной провинции (рис.1, I), где занимают положение основных и дополнительных (региональных) эталонов. Аналогичное положение занимают дерново-подзолистые почвы в Вятско-Камской почвенной провинции (рис. 1, II). В Прикамской лесостепной провинции (рис.1, III) эталонами являются серые лесные почвы и чернозёмы оподзоленные, которые подвержены угрозе исчезновения в связи с высокой степенью распашки (как на территории края, так и в РФ в целом). Подбуры и буроземы распространены в Уральском горном почвенном округе (рис. 1, IV). Дерново-карбонатные, коричнево-бурые, подзолистые и дерново-подзолистые на пермских глинах в Пермском крае относят к категории редких и исчезающих. Небольшие ареалы этих почв сохранились в местах выхода коренных пород, образующийся при выветривании известняков, мергелей, красноцветных глин, конгломератов и гипсов, и встречаются повсеместно на территории края [1, 2]. Кроме того, как локальные (дополнительные) эталоны выделены: торфяные олиготрофные и торфяные эутрофные почвы в Камско-Верхневычегодской почвенной провинции (рис. 1, I).

В настоящий момент все обнаруженные ценные почвенные объекты, рекомендуемые к занесению в красную книгу, сгруппированы по типам почв и категориям редкости. Для каждого выявленного ЦПО составлен экологический паспорт, выполнены физико-химические и агрохимические анализы для характеристики генетических горизонтов; разработаны предложения о мерах охраны ЦПО; созданы картосхемы, отражающие информацию о местоположении ЦПО на территории Пермского края, подобран иллюстративный материал (цветные фотографии).

Составлена цифровая почвенная карта Пермского края масштабом 1:300 000 с обозначенными на ней контурами ЦПО, идёт работа над созданием слоёв геоинформационных данных, в которых представлена пространственная информация о границах, площади и характеристиках ЦПО.

Подготовлены предложения по структуре и формированию разделов Красной книги почв Пермского края.

В ближайшее время предстоит создание нормативно-правовой базы по охране почв, обязательно включающей утвержденный перечень особо охраняемых почвенных ареалов на территории Пермского края (кадастр ЦПО), без которого невозможен реальный режим охраны, даже при условии включения объекта в Красную книгу. Также (по аналогии с охраняемыми видами животных и растений) разрабатываются нормы для исчисления размера возмещения за ущерб, причиненный незаконным использованием или уничтожением ЦПО.

ЛИТЕРАТУРА

1. Еремченко О.З., Скрыбина О.А. Почвы – претенденты на включение в Красную книгу почв Пермского края // Проблемы Красных книг регионов России. Перм. ун-т. – Пермь, 2006.
2. Еремченко О.З., Филькин Т.Г., Шестаков И.Е. Редкие и исчезающие почвы Пермского края // Пермь, 2010. – 91 с.

УДК 631.471

РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ ПОЧВЕННОЙ КАРТОГРАФИИ: ИСТОРИЯ ВОПРОСА И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ

Л.А. Шмелёв

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

В данной работе описана история развития почвенной картографии от момента её появления до настоящего времени. Приведён подробный анализ её современного состояния. Подробно освещены достижения в этой области почвоведения, как в нашей стране, так и за рубежом.

ВВЕДЕНИЕ

Почвенная карта давно стала неотъемлемой частью многих географических исследований. С течением времени процесс её составления был неоднократно модернизирован в связи с усовершенствованием методик изучения почв, развитием концепции структуры почвенного покрова (СПП), внедрением в процесс цифровых технологий и др. В настоящее время интерес к качественным почвенным картам сильно возрос [8], что способствует активному развитию цифровой почвенной картографии, как основного источника достоверной почвенной информации.

Актуальность исследований в области составления почвенных карт и анализа почвенных данных связана с тем, что почвенная карта является необходимой частью любого комплексного исследования территории. Почвенные карты помогают при инвентаризации и оптимизации ресурсов землепользования, упрощают процесс мониторинга почвенного покрова и т.п. В настоящее время в связи с интересом к почвенной картографии не только с научной, но и с прикладной точки зрения, возросло количество публикаций, посвященных развитию этого направления, что позволило добиться успехов в систематизации существующих фактических данных по почвам на основе применения компьютерных технологий; реализации разнообразных проектов, направленных на составление и обновление почвенных карт различных по географическому охвату территорий в электронном виде с использованием ГИС- и Web-картографирования, а также в области модернизации методик картографирования на основе принципов цифровой почвенной картографии.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом изучения стали почвенно-географические методики составления почвенных карт, а также отечественная и зарубежная литература по теме.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Почвенная картография появилась практически одновременно с развитием почвоведения как самостоятельной науки. Первой почвенной картой принято считать десятиверстную (1:420 000) почвенную карту Нижегородской губернии, составленную В.В. Докучевым и его сотрудниками по результатам работ, выполненных в 1882–1886 гг. по заказу земства, и вошедшую в работу «Материалы по оценке земель Нижегородской губернии». Почвенные исследования по заказу земств велись и в других губерниях европейской России. Масштаб карт почвенного покрова, составленных в ходе этих исследований, – от 1 (1:42000) до 10 верст в английском дюйме [5].

Первые почвенные карты решали задачу, прежде всего, изучения и отображения почвенного покрова России. Поскольку почвоведение как наука только формировалось, не существовало и единых методик почвенного картографирования. Для выделения почвенных разностей на первых российских почвенных картах использовались генетические почвенные классификации В.В. Докучаева (1886) и Н.М. Сибирцева (1895). Большой вклад в развитие почвенной картографии в начале XX века внесли также К.Д. Глинка, Л.И. Прасолов, С.С. Неуструев и другие российские почвоведы. Особенностью российского подхода к классификации почв является выделение генетических типов почв на основе строения почвенного профиля (уникального набора почвенных горизонтов), сформировавшихся под воздействием факторов почвообразования. В основе такого подхода лежит гипотеза В.В. Докучаева о том, что «почва всегда и всюду является простой *функцией* от следующих почвообразователей: 1) характера (состав и строение) материнской горной породы; 2) климата данной местности; 3) массы и характера растительности; 4) возраста страны и, наконец, рельефа местности...» [1, 6].

По мере развития почвенного картографирования точность и качество почвенных карт росли параллельно детальности и точности топографической основы и общей изученности почв картографируемых территорий. Качественный скачок в содержании почвенных карт, особенно крупномасштабных, связан с внедрением в практику почвенных исследований с середины 50-х годов аэрофотосъемки. Постепенно менялось основное содержание почвенных карт. Появились специальные почвенные карты, несущие в себе информацию об отдельных свойствах почв (рН, насыщенность основаниями или элементами питания, засоленность, загрязненность тяжёлыми металлами и т.д.). Значительно расширилась область их применения (землеустройство, агрохимия и т.п.).

С 50-х годов в методике составления почвенных карт произошёл ряд важных изменений, связанных с появлением концепции структуры почвенного покрова (СПП), согласно которой на картах в виде дискретных ареалов отражаются типизированные почвенно-географические единицы разных уровней организации: элементарные почвенные ареалы (ЭПА), элементарные почвенные структуры (ЭПС), мезоструктуры почвенного покрова (3).

Существенные изменения в подходах к составлению почвенных карт произошли с начала 70-х годов в связи с внедрением компьютерных технологий и появлением данных дистанционного зондирования с космических носителей. Тогда же в Канаде под руководством Роджера Томлисона была разработана и внедрена первая геоинформационная система. Эта региональная ГИС национального уровня (Canada Geographic Information System, CGIS) была создана для инвентаризации земель Канады в целях рационализации землепользования в крупных сельскохозяйственных районах страны, получения статистических оценок, создания карт систематизации земель по различным признакам, в том числе и для различного их использования [4].

Наличие разнообразных данных дистанционного зондирования позволило использовать в почвенных исследованиях спектральные характеристики почвенного и растительного покрова, за различные временные периоды. Отдельным направлением стало применение для оценки почвенного покрова различных спектральных индексов, в том числе почвенных.

Дистанционное зондирование позволило также создать глобальные (имеющие сплошное покрытие на территории Земли) цифровые модели рельефа, по которым могут быть вычислены различные морфометрические характеристики и топографические индексы, необходимые для анализа ландшафтных связей между почвами и другими компонентами ландшафта.

Благодаря внедрению технологий глобального позиционирования упростилась и повысилась точность привязки точек, в которых проводятся почвенные исследования. Общая схема развития почвенной картографии по [10] представлена на рисунке.

Качественный скачок в методике составления почвенных карт приходится на конец XX века, так как появились первые публикации, которые можно условно отнести к концепции цифровой почвенной картографии (ЦПК). Как самостоятельная дисциплина и методологическая концепция, цифровое почвенное картографирование сформировалось лишь в 2005 г.,

когда появилась организация IUSS (International Union of Soil Sciences). Её созданию предшествовала статья «О цифровой почвенной картографии», обобщающая результаты пионерных исследований в этой области, и первое международное совещание по цифровой почвенной картографии, организованное в 2004 г. в Монпелье (Франция) [2].

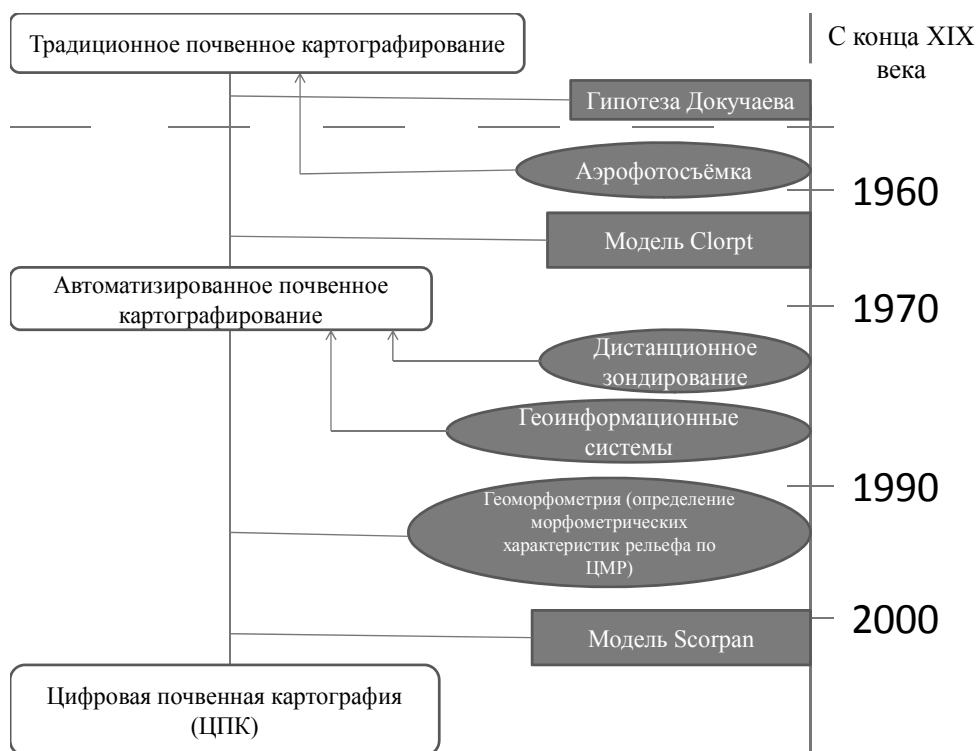


Рисунок. Развитие почвенной картографии [10].

За 10 лет своей работы рабочая группа IUSS добилась значительных успехов. Их главным достижением стал проект Soil Grids (<https://soilgrids.org>), реализация которого позволила методами цифровой почвенной картографии создать почвенную карту в растровом формате (в виде ячеек регулярной сетки) на территорию суши (за исключением арктических островов и Антарктиды). Каждая ячейка регулярной сетки содержит смоделированную информацию о наиболее вероятном типе почвы (по классификациям WRB и USDA), а также смоделированные значения различных физико-химических свойств почв (плотность, гранулометрический состав, pH, содержание органического углерода, емкость катионного обмена для 7 глубин (от поверхности до глубины 200 см)). В моделировании использованы материалы базы данных по почвенным профилям ISRIC-WISE, а также различные глобальные показатели, в том числе, цифровая модель рельефа, данные дистанционного зондирования, данные по климату и почвообразующим породам. В первоначальном варианте размер ячейки составлял 1x1 км. На настоящий момент пространственное разрешение растра составляет 250x250 м (размер одной ячейки 62 500 м²), однако разработчики планируют увеличить разрешение до 100 м на пиксел (площадь ячейки – 10 000 м²).

Помимо проектов глобального уровня охвата, были успешно реализованы проекты по картографированию отдельных континентов, например, была создана база почвенных данных Африки – Africa Soil Information Service (AfSIS). Целью данного проекта было исследовать мало изученный в почвенном отношении материк, и создать подробную базу почвенных данных. Было заложено дополнительно 9500 точек отбора образцов (вдобавок к уже имевшимся 18500) [8]. В итоге общего массива данных хватило для создания электронной карты с пространственным разрешением 250 м, причём для каждой ячейки были смоделированы значения 14 показателей, характеризующих физико-химические свойства на двух и более различных глубинах, а также наиболее вероятные почвенные типы (классы почв) в соответствии с классификацией USDA Soil Taxonomy.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время тематика публикаций по цифровой почвенной картографии очень разнообразна. Существуют как работы, посвященные развитию новых методов картографирования, так и использующие традиционные; анализирующие историю и развитие методик ЦПК и описывающие недавние достижения. Основные проекты и публикации посвящены мелкомасштабному картографированию (Единый государственный реестр почвенных ресурсов России, GlobalSoilMap, Africa Soil Information Service), однако встречаются работы и по картографированию в крупном масштабе [7, 9].

Развитие почвенного картографирования на основе компьютерных технологий поставило перед почвоведомы задачу систематизации и согласования накопленного почвенного материала в базах данных, поскольку полевые описания почвенных профилей по-прежнему остаются основным источником информации при составлении почвенных карт.

В России концепция ЦПК получила развитие в виде реализации проекта «Единый государственный реестр почвенных ресурсов России» (ЕГРПР) (<http://egrpr.esoil.ru/>). Была создана почвенная база данных на основе оцифрованной карты РСФСР в масштабе 1:2 500 000. При создании ЕГРПР учитывалась комплексность атрибутов (использование данных смежных дисциплин и дополнительных разрезов для уточнения информации о почве) и совместимость с почвенными базами данных глобального уровня, включая Мировую справочную базу почвенных ресурсов данных (WRB), базу данных организации ООН по продовольствию и сельскому хозяйству (FAO).

В качестве международных и национальных проектов по базам почвенных данных можно привести примеры уже упомянутой базы по почвенным профилям ISRIC-WISE (<http://www.isric.org>); базу данных по почвам FAO (Harmonized World Soil Database v. 1.2) (<http://www.fao.org>); европейскую базу данных по почвам European Soil Database v. 2.0 (<http://esdac.jrc.ec.europa.eu>); базу почвенных данных для США SSURGO (Soil Survey Geographic Database) (www.nrcs.usda.gov).

ЛИТЕРАТУРА

1. Докучаев В.В. Главные моменты в истории оценок земель Европейской России, с классификацией русских почв // Материалы к оценке земель Нижегородской губернии. Естественноисторическая часть. Отчет Нижегородскому земству. Вып. 1. – СПб., 1886. 391 с.
2. Козлов Д.Н., Конюшкова М.В. Современное состояние и перспективы развития цифровой почвенной картографии (по материалам международного совещания, г. Логан, США, 2008) // Почвоведение, 2009, № 6, С. 750–753.
3. Козлов Д.Н., Сорокина Н.П. Традиции и инновации в крупномасштабной почвенной картографии // Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. Сборник статей. Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2012. С. 35–57.
4. Лурье И.К. Геоинформационное картографирование. Методы геоинформатики и цифровой обработки космических снимков: учебник // Москва: КДУ, 2010. 424 с.
5. Плынов Б.Б. Очерк развития типа почвенных исследований в земском кадастре (начало) // «Почвоведение», 1903. № 2. С. 202–212; окончание: «Почвоведение», 1903. № 3. С. 307–316.
6. Флоринский И.В. Гипотеза Докучаева как основа цифрового прогнозного почвенного картографирования (к 125-летию публикации) // Почвоведение, 2012, № 4, С. 500–506.
7. Corrado C., Zomenia Z., Noller J.S., Zissimos A.M., Christoforou I.C., Bruggeman A. A high resolution map of soil types and physical properties for Cyprus: A digital soil mapping optimization // Geoderma, 285, 2017. P. 35–49.
8. Hengl T., Heuvelink G.B.M., Kempen B., Leenaars J.G.B., Walsh M.G., Shepherd K.D. et al. Mapping Soil Properties of Africa at 250 m Resolution: Random Forests Significantly Improve Current Predictions // 2015, <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0125814>
9. Liengsakul M., Mekpaiboonwatana S., Pramojanee P., Bronsveld K. and Huizing H. Use of GIS and remote sensing for soil mapping and for locating new sites for permanent cropland – A case study in the «highlands» of northern Thailand // Geoderma 60, 1993, P. 293–307.

10. *Minasny B., McBratney A.B.* Digital soil mapping: A brief history and some lessons // *Geoderma*, V. 264, 2016, P. 301–311.

Работа рекомендована с.н.с. О.В. Черницовой.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Апарин Б.Ф., Касаткина Г.А., Федорова Н.Н., Сухачева Е.Ю.</i> Образование как важнейший элемент научно-педагогической школы фундаментального почвоведения СПбГУ (к 95-летию кафедры почвоведения СПбГУ)	3
<i>Булышева А.М., Лазарева М.А.</i> XXI Докучаевские молодежные чтения (обзор).....	15
Материалы Международной научной конференции XXI Докучаевские молодежные чтения «Почвоведение – мост между науками»	
Пленарные доклады	23
<i>Столбовой В.С.</i> Почвенные ресурсы России – современные вызовы	24
<i>Апарин Б.Ф., Лазарева М.А.</i> Выставка «воплощение идеи В.В. Докучаева» (к 100-летию революции в России)	42
<i>Горохова С.М., Васильев А.А.</i> Магнитные сферулы в агрогенных почвах Среднего Предуралья.....	50
<i>Огородников С.С.</i> Расчет и оценка эколого-хозяйственного баланса муниципальных районов Тульской области.....	55
<i>Пискарева В.М., Кошовский Т.С.</i> Влияние локальных факторов на углеводородное состояние почв при атмогенном загрязнении	60
Материалы Международной научной конференции XXI Докучаевские молодежные чтения «Почвоведение – мост между науками»	
Доклады на секциях	65
<i>Аверьянов А.А.</i> Использование метода рентгенофлуоресцентного анализа в исследованиях почв виноградников	66
<i>Бутенко М.С.</i> Изменение гумусного состояния чернозема выщелоченного под действием биогумуса в условиях Красноярской лесостепи	70
<i>Гагулина А.А., Киселева Н.Д.</i> Гипсовые новообразования в почвах	74
<i>Головлева Ю.А., Коркина Е.А.</i> Трансформация криометаморфических почв Западно-Сибирской равнины в результате потепления климата	77
<i>Дзюба Е.А., Андреев Д.Н., Шестаков И.Е.</i> Содержание тяжелых металлов в почвах карстового района нефтедобычи (лог «Арапов ключ», Ординский район, Пермский край)	82
<i>Донгак Ш.К., Куулар А.А., Лопсан А.С.</i> Биологическая активность агропочв Тувы.....	88
<i>Захарова Н.Б., Лысак Л.В., Лапыгина Е.В., Гмошинский В.И.</i> Микроорганизмы, ассоциированные с миксомицетами, в лесном биоценозе	90
<i>Зиннатшина Л.В., Кондрашина В.С., Васильева Г.К.</i> Влияние сорбентов на скорость биоремедиации и свойства почвы, загрязненной нефтепродуктами	95

<i>Игнашев Н.Е.</i> ГИС технологии в точном земледелии	102
<i>Иовчева А.Д.</i> Редкоземельные элементы в почвах Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника	105
<i>Колетвинов Д.С.</i> Оценка состояния окружающей природной среды Тульской области .	108
<i>Комарова Т.В.</i> Экологическая оценка сукцессионной динамики эмиссии CO ₂ при зарастании залежи на дерново-палево-подзолистых почвах.....	112
<i>Лазарева М.А.</i> Почвы антропогенно-измененных ландшафтов Ленинградской области ...	117
<i>Мельникова А.А.</i> Муниципальное управление в сфере землепользования и охраны почв (на примере муниципальных образований Тульской области)	123
<i>Мингареева Е.В.</i> Содержание естественных радионуклидов (²²⁶ Ra, ²³² Th, ⁴⁰ K) в почвах Южного берега Крыма 1926 года отбора.....	126
<i>Михайлова Д.В.</i> Влияние геолого-литологических условий на свойства почв заповедного участка «Буртинская степь» (Оренбургская область)	131
<i>Попилешко Я.А., Сушкова С.Н., Антоненко Е.М., Минкина Т.М.</i> Содержание полициклических ароматических углеводородов в почвах, находящихся в зоне эмиссии Новочеркасской ГРЭС	134
<i>Пыркин В.О.</i> Биологическая активность почв после воздействия лесных пожаров	140
<i>Ревунова А.О.</i> Формирование красноцветных почв на известняках северной части нагорья Лагонаки	143
<i>Самарина Е.Д.</i> Влияние переувлажнения и подкисления на плодородие осушенных пахотных почв.....	146
<i>Самофалова И.А., Кучева А.А.</i> особенности генезиса почв в горной тундре по распределению щебня в профиле (Средний Урал, хребет Басеги)	151
<i>Саркулова Ж., Козыбаева Ф.Е.</i> Влияние цинкового завода на почвенный покров прилегающих территорий (на примере Восточно-Казахстанской области)	156
<i>Сухачева А.М., Сотников И.В., Семенюк И.И.</i> Экофизиологические особенности кишечного сообщества диплопод.....	163
<i>Уляшкина А.Н., Тулина А.С.</i> Влияние гидротермических условий на скорость минерализации пшеничной соломы и углеродно-азотный статус почв	168
<i>Ускова Н.В.</i> Агроэкологическая оценка гумусового состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в длительном стационарном эксперименте	171
<i>Фомичева Д.В.</i> Динамика темпов аккумуляции твердофазного вещества почв в подчиненных ландшафтах (Тульская область)	176

<i>Фролова А.А., Рогожина К.Д., Лобзенко И.П., Сушкова С.Н., Бауэр Т.В., Федоренко А.Г.</i> Изменение морфометрических и цитологических характеристик лука при загрязнении медью и цинком	180
<i>Хромычкина Д.П., Паутова Н.Б.</i> Динамика разложения органических материалов, компостируемых на вермикулите	184
<i>Чаплыгин В.А.</i> Влияние антропогенной нагрузки на содержание тяжелых металлов в пшенице мягкой (<i>Triticum aestivum</i>)	189
<i>Черникова Н.П., Федоренко А.Г., Манджиева С.С., Бурачевская М.В.</i> Влияние меди на морфобиометрию и ультраструктуру клеток корня ячменя	193
<i>Шестаков И.Е., Андреев Д.Н.</i> Итоги работ по выявлению ценных почвенных объектов на территории Пермского края	196
<i>Шмелёв Л.А.</i> Развитие методов почвенной картографии: история вопроса и современное состояние	199

Научное издание

МАТЕРИАЛЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ РУССКИХ ПОЧВ
Выпуск 11 (38)

Компьютерная верстка А.Г. Рюмина

Подписано в печать с оригинал-макета заказчика 20.08.2018 г.

Формат 60х84/8.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Печ. л. 26,0. Тираж 93 экз. Заказ № 436

Типография Издательства СПбГУ
199034, Санкт-Петербург, Менделеевская лин., д. 5