Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова
Институт экологического почвоведения МГУ
Факультет почвоведения МГУ
Общество почвоведов имени В.В.Докучаева
Институт проблем экологии и эволюции имени А.Н.Северцова РАН
Российский фонд фундаментальных исследований

Международная молодежная научная школа

Технологии экологического развития

посвященная
Международному году почв 2015

Москва, Россия

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

7-8 октября 2015 г.

Материалы докладов

УДК 631.4:574
ББК 40.3:20.1
Т38

Публикация осуществляется при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований (грант № 15-34-10416)

Редакционная коллегия:
д.б.н. Ковалева Н.О., Лузянина О.А., Емельяненко Ю.А., Столпникова Е.М.

Технологии экологического развития: Международная молодежная научная школа, посвященная Международному году почв; Москва, Россия, Московский Государственный Университет имени М.В.Ломоносова, 7-8 октября 2015 г.: Материалы докладов. - М.: МАКС-Пресс, 2015. - 212 с.

ISBN 978-5-317-05118-1

В настоящий сборник вошли материалы Международной молодежной научной школы «Технологии экологического развития», посвященной Международному году почв (7-8 октября 2015 г., Москва, Московский Государственный Университет имени М.В. Ломоносова). В работе Молодежной научной школы приняли участие около 100 молодых исследователей из разных регионов России (Дальний Восток, Астрахань, Краснодар, Санкт-Петербург, Москва, республики Коми, Башкортостан, Дагестан, Якутия и т.д.), а также из Казахстана, Белоруссии, Монголии, Голландии. Работа школы состояла из лекций ведущих ученых в области технологий экологического инжиниринга и сессии стендовых докладов молодых исследователей. Развернутые статьи по материалам избранных лекций и постерных докладов опубликованы в данном издании. Представленные материалы рекомендованы студентам и преподавателям, научным работникам по специальности почвоведение, экология, инжиниринг, география и т.п.
Ключевые слова: экология, технологии, инжиниринг, почвоведение.

УДК 631.4:574
ББК 40.3:20.1

The publication includes materials of the International Youth Scientific School "Technologies of Ecological Development", dedicated to the International Year of Soil Science (October 7-8, 2015, Moscow State University). The work of the Youth Scientific School was attended by about 100 young researchers from different regions of Russia (the Far East, Astrakhan, Krasnodar, St. Petersburg, Moscow, Komi Republic, Bashkortostan, Dagestan, Yakutia, etc.), as well as Kazakhstan, Belarus, Mongolia, the Netherlands. The school consisted of lectures by leading scientists in the field of environmental engineering and session of poster presentations of young researchers. The detailed article on the materials selected lectures and poster presentations published in this collection. The materials presented are recommended to students and teachers, researchers, specialty soil science, ecology, engineering, geography, etc.
Keywords: ecology, technology, engineering, soil science.

ISBN 978-5-317-05118-1

©Коллектив авторов
©Институт экологического почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова

Участники Международной молодежной научной школы "Технологии экологического развития", Москва, МГУ, 2015.
Фото О.А.Лузяниной

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие..……..6

Милановский Е.Ю., Юдина А.В., Шеин Е.В.
Лазерная дифрактометрия в почвоведении: проблемы и перспективы.....8

Федотов Г.Н., Шоба С.А.
Супра или макро: анализ вопроса о природе гумусовых веществ
с физико-химических позиций.....10

Ковалева Н.О.
Инженерное почвоведение и почвенно-ландшафтный инжиниринг.....27

Снакин В.В.
Закономерности эволюции биосферы и устойчивое развитие:
теория и практика.....50

Ковалев И.В.
Биогеохимия лигнина в почвах..……...……64

Якушев А.В., Добровольская Т.Г., Головченко А.В., Юрченко Е.Н.
Экофизиологические особенности бактериальных сообществ
верховых болот….....…97

Бармин А.Н., Валов М.В., Бармина Е.А., Куренцов И.В.,
Романов И.В., Романова М.В.
Геосистемный мониторинг почвенно-растительного покрова
как фактор снижения рисков и обеспечения устойчивого
функционирования дельтовых ландшафтов (на примере лугов
среднего уровня дельты реки Волги).....107

Гаджиев К.М., Гасанов Г.Н., Асварова Т.А., Ахмедова З.Н.,
Абдуллаева А.С., Баширов Р.Р.
Реализация гидротермических факторов формирования
продуктивности экосистем светло-каштановой и
лугово-каштановой почвами Терско-кумской
полупустыни Прикаспия..……...…….120

Белюченко И.С., Антоненко Д.А., Мельник О.А.
Свойства чернозема обыкновенного и развитие растений озимой
пшеницы при внесении сложного компоста..……..….129

Телеснина В.М., Ваганов И.Е.

Особенности почв и некоторых показателей биологического круговорота в постагногенных экосистемах южной тайги....……..…146

Сафонова Т.Г., Чухиль А.А.
Пищевой режим чернозема выщелоченного при использовании минеральных микроудобрений под люцерну второго года…….....157

Чухиль А.А., Сафонова Т.Г.
Пищевой режим чернозема выщелоченного Западного Предкавказья при оптимизации минерального питания люцерны второго года жизни.....164

Семенова В.В.
Накопление тяжелых металлов в системе почва-растение в условиях загрязнения..……..……173

Бакунович Н.О., Хохлова О.С., Мякшина Т.Н., Русаков А.В., Шаповалов А.С.
Индикация загрязнения почв тяжелыми металлами на основе комплексного анализа почв и их дыхательной активности (на примере заповедного участка «Ямская степь»)…….....……...……..179

Гаевский Е.Е., Фомина А.С., Сымонович А.И.
Альгофлора окультуренной дерново-подзолистой песчаной почвы под действием торфования и землевания...……....192

Канищев В.В., Тютерева О.И., Ковалева Н.О.
Эколого-гидрологическая оценка агроландшафтов Тамбовской области в историческое время....……198

ПРЕДИСЛОВИЕ

Международная молодежная научная школа «Технологии экологического развития», которая была открыта 7 октября и продолжалась до 8 октября, стала продолжением Международного научного форума «Роль почв в биосфере и жизни человека», посвященного 100-летию со дня рождения академика Г.В.Добровольского. Участие в работе школы заявили 120 студентов, аспирантов и молодых ученых. По словам В.В.Докучаева, «…У нас в России чаще, чем где-либо, знания и умения приложить эти знания на деле не идут рука об руку». Поэтому миссия школы, председателем которой стала вице-директор Института экологического почвоведения МГУ д.б.н. Н.О.Ковалева, – используя научный потенциал известных ученых, познакомить молодых исследователей – почвоведов и экологов, ландшафтных архитекторов, специалистов смежных дисциплин, с новейшими, отвечающими требованиям времени, технологиями в области экологического почвоведения.

Работа Молодежной научной школы проходила в Ломоносовском корпусе МГУ, в Ботаническом саду и в ротонде Музея землеведения МГУ, поэтому слушателями и участниками научного мероприятия стали не только молодые ученые, но и многие участники конференции «Роль почв в биосфере и жизни человека».

В ходе молодежного форума с пленарными приглашенными лекциями выступили ведущие ученые: профессор А.В.Смагин, д.б.н. Г.Н.Федотов, д.б.н. Е.Ю.Милановский, доцент И.О.Алябина, к.б.н. О.М.Голозубов, д.б.н. А.В.Тиунов, д.б.н. В.А.Терехова, к.б.н. А.В.Раппопорт, д.б.н. Н.О.Ковалева, д.б.н. В.В.Снакин, к.б.н. И.В.Ковалев. Научная проблематика лекционного блока конференции была посвящена современным технологиям изучения гумусовых веществ, использования полимерных гелей в рекультивации почв, ГИС-технологий – в картировании, применения изотопного анализа в исследовании почвенных свойств и процессов, методов биодиагностики в оценке почв и природных сред, методологии инженерного почвоведения и экосистемных исследований в условиях города, подходов к познанию эволюции биосферы и использования биомаркеров в палеоклиматических реконструкциях.

Из 120 участников постерной сессии свои стендовые доклады с 10-15-минутной устной презентацией представили 30 молодых исследователей из разных городов и регионов России (Дальний Восток, Татарстан, Дагестан, Коми, Башкортостан, Астрахань, Санкт-Петербург, Пермь, Апатиты, Киров, Краснодар, Пущино), а также из Голландии, Белоруссии, Казахстана, Азербайджана и Вьетнама. Лучшие 5 докладов были награждены призами победителей стендовой сессии. Тематика их выступлений охватывала проблемы сохранения плодородия черноземов, палеореконструкции природной среды плейстоцена, голоцена и исторического времени, эмиссии углекислого газа торфяниками тундры, устойчивого развития сельских

регионов (на примере Вьетнама), влияния пожаров на почвенный покров, оценке биологической активности почв, биологического круговорота, роли почв в поддержании гидрологии речных бассейнов, эффективности применения удобрений.

В Программу Международной молодежной школы входил также Мастер-класс на оборудовании фирмы Fritsch, который позволил всем желающим опробовать методы лазерной дифрактометрии на собственных образцах почв.

Тематическая экскурсия, включающая демонстрацию почвенных разрезов, заботливо подготовленных Ботаническим садом МГУ (к.б.н. А.В.Раппопорт), привлекла внимание не только почвоведов и экологов, но и ландшафтных дизайнеров – слушателей высшей школы «СОГЭЦУ» МАРХИ. Никого не оставили равнодушными посещение ротонды главного здания МГУ (32 этаж) и захватывающие экскурсии – обзорная и посвященная истории МГУ, – безупречно организованные Музеем Землеведения МГУ.

Председатель оргкомитета
Международной молодежной научной школы «Технологии экологического развития»
Вице-директор Института экологического почвоведения МГУ
д.б.н. Н.О.Ковалева

ЛАЗЕРНАЯ ДИФРАКТОМЕТРИЯ В ПОЧВОВЕДЕНИИ: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ

Милановский Е.Ю., Юдина А.В., Шеин Е.В.
Факультет почвоведения МГУ, г. Москва
milanovskiy@gmail.com

Метод лазерной дифракции (ЛД) для определения гранулометрического состава (ГС) почв используется с начала 80-х гг. прошлого века. В настоящее время опубликовано много работ, посвященных сопоставлению и выяснению причин различия результатов, полученных методом ЛД и традиционным, основанным на седиментации частиц в стоячей воде [1, 2, 3, 4]. ЛД получает все более широкое применение в практике почвенных исследований, но остается ряд нерешенных вопросов, связанных с физическим принципом метода ЛД и сложной гетерогенной природой почвенных частиц, как объекта исследования.

Метод ЛД, по сравнению с седиментационным, обладает неоспоримыми преимуществами, такими как экспрессность, воспроизводимость результатов, малая масса пробы, необходимой для анализа. Одно измерение занимает несколько минут, против ~24 часов в случае метода седиментации. Величина навески варьирует от 20 до 600 мг в зависимости от используемой конфигурации приборного обеспечения и ГС исследуемого образца. Также метод ЛД позволяет получить более информационно емкое и наглядное представление результатов, данных ГС почв – преимущественные диаметры почвенных частиц и график непрерывного распределения частиц по размерам.

В цитируемой литературе отмечено, что сходимость результатов ГС двух методов возрастает по фракциям ил, пыль, песок. Расхождения в содержании частиц размером менее 10 мкм связывают с оптическими свойствами (индекс рефракции) поверхности твердой фазы и их геометрическими параметрами. Метод ЛД определяет содержание илистой фракции меньше, а мелкой пыли больше, чем метод, основанный на принципе седиментации. Это связано как с вышеизложенными причинами, так и с низкой плотностью органических частиц, присутствующих в почве наравне с минеральными. При седиментации органические элементарные почвенные частицы размера мелкой и средней пыли попадают в илистую фракцию [5].

Использование метода ЛД требует определенной подготовки исследователя при проведении анализа и интерпретации результатов. При неправильном соблюдении условий (температуры, количества образца) и некорректном использовании оптической теории (т.е. ее выбор и вводимые оптические параметры пробы) возможно возникновение артефактов. Полиминеральный состав и разнокачественная природа почвенных частиц приводит к невозможности прямого использования табличных значений

индекса рефракции, определенных для «чистых» минералов, без органоминеральных пленок на поверхности.

Отдельным большим блоком стоит проблема, связанная с различной природой агрегированности твердой фазы почв. В настоящее время не существует единого методического подхода к диспергации образцов почв разного генезиса до элементарных почвенных частиц.

Литература

1. Beuselinck L., G. Govers J. Poesen, G. Degraer. Grain-size analysis laser diffractometry: Comparison with the sieve-pipette method. // Catena. 1998. №32, p.p. 193-208.
2. Buurman P., Th. Pape, C.C. Muggler. Laser grain-size determination in soil genetic studies.1. Practical problems. // Soil Sci. 1997, №162, p.p. 211-218.
3. Eshel G., Levy G. J., Mingelgrin U, Singer M. J. Critical Evaluation of the Use of Laser Diffraction for Particle-Size Distribution Analysis. // SoilSci. Soc. Am. J. 2004, №68, p.p. 738-743.
4. Loizeau J.L., D. Arbouille, S. Santiago, J.P. Vernet. Evaluation of a wide range laser diffraction grain size analyzer for use with sediments. // Sedimentology.1994, №41, p.p. 353-361.
5. Shein E.V., Milanovskii E. Yu., Molov A. Z. The Effect of Organic Matter on the Difference between Particle-Size Distribution Data Obtained by the Sedimentometric and Laser Diffraction Methods. // Eurasian Soil Science, 2006, Vol. 39, Supp l. 1, pp. S84-S90.

СУПРА ИЛИ МАКРО: АНАЛИЗ ВОПРОСА О ПРИРОДЕ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ С ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ПОЗИЦИЙ

Федотов Г.Н., Шоба С.А.
Факультет почвоведения и Институт экологического почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, г. Москва
gennadiy.fedotov@gmail.com

Проблема. При рассмотрении природы и строения гумусовых веществ (ГВ), как правило, противопоставляются два подхода:

- ГВ представляют собой макромолекулы, все атомы которых связаны между собой ковалентными связями [1, 3, 4, 10, 23];
- ГВ являются супрамолекулярными [7] образованиями [21, 22, 24], состоят из молекул, связанных между собой нековалентными связями.

С этих контрастных позиций проводят исследования и рассматривают полученные результаты.

В связи с тем, что супрамолекулярные образования включают в свой состав низкомолекулярные органические соединения, связанные множественными нековалентными (слабыми) связями, при обнаружении в составе гуминовых кислот низкомолекулярных соединений делают вывод об их супрамолекулярной природе [10, 21].

Однако реальная ситуация, вероятнее всего, является более сложной. Наряду с крайними точками (макромолекулярной и супрамолекулярной) можно предположить существование неких, промежуточных по типам организующих их связей, образований.

Связано это с тем, что в почвах и иных средах, в которых происходит образование ГВ, содержится большое число низкомолекулярных органических веществ и олигомеров, образующихся в результате распада биополимеров. Это – сахара, аминокислоты, пептиды, жиры, низкомолекулярные кислоты, продукты преобразования лигнинов и т.д. Трудно ожидать, что эти вещества не будут сорбироваться на больших молекулах ГВ (независимо от их макро- или супрамолекулярной природы), обладающих к тому же, исходя из их предполагаемого строения, большим числом различных активных центров. Данное предположение, на наш взгляд, вполне оправдано, так как именно принцип комплементарности лежит в основе устройства биополимеров.

Целями статьи являются:

- анализ возможной природы и строения ГВ;
- определение свойств систем, образующихся из ГВ, вытекающих из их природы и строения и выбор критерия супрамолекулярности и макромолекулярности ГВ;
- сравнение поведения гелей, образованных из макромолекул и супрамолекулярных образований;

- анализ экспериментальных результатов по изучению структур новой фазы, образующихся в гелях на основе ГВ;
- определение природы и строения ГВ, исходя из свойств образующихся из них систем.

Теоретический анализ возможного строения ГВ. Попытаемся проанализировать ситуацию о строении ГВ, опираясь на ранее полученные при изучении ГВ экспериментальные данные, а также на основе известных свойств высокомолекулярных соединений и супрамолекулярных образований.

Сведем в таблицу возможные варианты природы, строения и поведения больших молекул (макромолекул и супермолекул) ГВ, прослеживая непрерывный переход от макромолекулярных систем к супрамолекулярным системам (табл. 1). Переход, который с физико-химических позиций может реализовываться при постепенной замене ковалентных связей на нековалентные, оценивая возможность перемещения частей больших молекул друг относительно друга в пространстве.

Первый вариант. Предположим, что ГВ представляют собой макромолекулы. Тогда они должны сворачиваться в клубок, в котором сегменты постоянно меняют свое положение в пространстве [6, 8]. Сегменты (части макромолекулы) находятся в постоянном движении. Они непрерывно перемещаются, меняя свое положение в пространстве друг относительно друга. Происходит постоянная смена конформаций макромолекул, но из-за того, что наиболее вероятное макросостояние, определяющее размер частицы (клубка), реализуется подавляюще большим числом конформаций (микросостояний), то размеры клубков макромолекул остаются практически неизменными.

Табл. 1. Предполагаемые возможные варианты природы и строения ГВ

Варианты	Природа и строение	Структурная организация и поведение фрагменов больших молекул
1	Макромолекулы	Сегменты макромолекул свободно перемещаются друг относительно друга
2	Макромолекулы с сорбированными на них низкомолекулярными веществами	Сегменты макромолекул с сорбированными на них низкомолекулярными веществами перемещаются друг относительно друга
3	Макромолекулы, сегменты которых «сшиты» между собой сорбированными на них низкомолекулярными веществами	Жесткие образования с определенной структурой. Сегменты макромолекул потеряли подвижность и не перемещаются друг относительно друга
4	Супрамолекулярные образования из молекул низкомолекулярных веществ	Образования, имеющие четкий состав и жесткую структуру

Следует отметить, что в этом варианте мы рассматриваем идеальные (чистые) макромолекулы ГВ, считая, что низкомолекулярные органические вещества не могут относительно прочно закрепляться на макромолекулах.

Второй вариант. Как известно, в ГВ существуют различные функциональные группы, гидрофобные участки, ароматические кольца и

т.д., то есть участки макромолекул [4], которые способны взаимодействовать за счет нековалентных (супрамолекулярных) связей [7]. Они, во-первых, могут взаимодействовать между собой в рамках одной или разных макромолекул. Такие процессы хорошо известны, именно за счет них формируются вторичная, третичная и четвертичная структуры белка и спираль ДНК. Во-вторых, можно предположить, что в клубок (частицу) ГВ могут входить низкомолекулярные вещества, комплементарные частям макромолекул ГВ, и закрепляться на них за счет нековалентных взаимодействий. Причем прочность их закрепления может сильно отличаться и зависеть, во-первых, от размера этих молекул и, как следствие, от количества связей, посредством которых они взаимодействуют с макромолекулами, а, во-вторых, от взаиморасположения функциональных групп и гидрофобных участков на макромолекулах и сорбирующихся малых молекулах.

В результате можно предположить существование макромолекул ГВ, сегменты которых не потеряли способности к перемещению в пространстве, но с сорбированными на них молекулами органических веществ. Этот вариант при рассмотрении ГВ как макромолекул представляется значительно более реальным для реализации в природе.

Третий вариант, существование которого логически следует из изложенного выше, – молекулы низкомолекулярных органических веществ сорбируются на макромолекулах в количестве, достаточном, чтобы связать сегменты макромолекул между собой за счет множественных слабых взаимодействий и прекратить их перемещение друг относительно друга.

При таком подходе к ГВ как во втором, так и третьем вариантах мы имеем макромолекулу, включающую в свой состав низкомолекулярные вещества, но в одном случае ее макромолекулярная природа, проявляющаяся в физических свойствах, сохраняется – сегменты макромолекулы перемещаются друг относительно друга. В другом случае возникает жесткое образование на основе макромолекул ГВ с неменяющейся структурой, которое, по сути, представляет собой супрамолекулярное образование.

Нельзя исключить и других способов реализации третьего варианта. Можно предположить, что олигомерные молекулы[1] выступают в качестве многоцентровой основы для возникновения супрамолекулярных образований[2].

Четвертый вариант. Возникновение супермолекул ГВ из низкомолекулярных органических соединений (без участия макромолекул и олигомерных молекул) – образование классических супермолекул с четким составом и архитектурой. Основной принцип супрамолекулярной химии – комплементарность (принцип «ключ – замок»), поэтому молекулы, найдя

[1] Олигомерные молекулы представляют собой органические молекулы с повторяющимися звеньями и молекулярной массой 1000-10000 Дальтон, все части которых связаны между собой ковалентными связями.

[2] Этот вариант, если принять единичное супрамолекулярное образование на основе олигомерной молекулы в качестве фульвокислоты, представляется более близким к реальности, так как позволяет объяснить экспериментальные данные по взаимному переходу гуминовых кислот в фульвокислоты в почвах в годичном цикле [2].

свое место в структуре, теряют способность к перемещению, также как и более крупные части супрамолекулярного образования, состоящие из большого числа малых молекул. Таким образом, четкие состав и архитектура супермолекул предполагают их жесткость – отсутствие перемещения частей друг относительно друга.

Следует отметить, что только в ГВ, соответствующих 1 варианту, не будут обнаруживаться низкомолекулярные вещества. Однако это, по-видимому, наименее вероятный вариант существования ГВ в почвах, так как трудно ожидать, чтобы из такой сложной, многокомпонентной смеси, какую представляет собой почвенный раствор, на макромолекулах ГВ не сорбировались бы низкомолекулярные вещества.

В гумусовых веществах, относящихся к остальным трем вариантам (2-4), будут обнаруживаться молекулы низкомолекулярных веществ, которые могут быть выделены из них теми приемами, которые уже использовали исследователи для доказательства супрамолекулярной природы ГВ.

Таким образом, можно предположить существование нескольких вариантов строения (природы) ГВ и только первый из них является в «чистом» виде макромолекулярным, а четвертый в «чистом» виде – супрамолекулярным. При этом с общих физико-химических позиций можно предполагать существование с большой долей вероятности именно промежуточных (2 и 3) вариантов.

Таким образом, задача доказательства природы ГВ состоит не в том, чтобы отличить классические макромолекулы (1 вариант) от классических супермолекул и супрамолекулярных образований (4 вариант), а в нахождении способов отличить 1 и 2 варианты от 3 и 4.

Критерии супрамолекулярности и макромолекулярности ГВ. Наличие не двух – 1 и 4, а большего числа вариантов природы и строения ГВ, поднимает вопрос о критериях. В каких случаях подобные образования следует воспринимать в качестве макромолекул, а когда – в качестве супрамолекулярных образований?

Возможность выделения из ГВ низкомолекулярных органических веществ отсутствует только для 1 варианта. Поэтому присутствие в ГВ низкомолекулярных органических веществ не может являться доказательством (критерием) супрамолекулярности. Во 2 и 3 вариантах они тоже присутствуют. В связи с этим использование все более и более совершенных аналитических методов для обнаружения и определения содержания низкомолекулярных органических веществ в больших молекулах ГВ не может дать ответ на вопрос о природе ГВ.

Данная задача, в определенной мере, похожа на ту, которая возникла в начале 30-х годов прошлого века при изучении механизма эластичности каучука. Попытка объяснить его эластичность с позиций химического строения молекул потерпела неудачу. Рассмотрение же каучука, наряду с другими полимерами, с позиций поведения макромолекул и их расположения в пространстве позволило объяснить природу эластичности.

Основываясь на этой аналогии, мы попытались выбрать критерий, базирующийся на сравнении не состава, а нехимических свойств макромолекул и супрамолекулярных образований, так как они могли позволить получить ответ на вопрос о природе строения ГВ.

Из приведенного выше описания природы макромолекулярности и супрамолекулярности можно сделать вывод, что основное качественное отличие макромолекулярных систем от супрамолекулярных систем состоит в наличии подвижности у частей макромолекулярных систем (сегментов в клубках макромолекул) друг относительно друга и отсутствия подобной подвижности для супрамолекулярных образований.

Основываясь на этом принципиальном различии в поведении макромолекул и супрамолекулярных образований, мы попытались найти свойство, которое вытекает из этого различия и может быть определено экспериментально.

Сравнение поведения гелей, образованных из макромолекул и супрамолекулярных образований. Из-за низкой плотности заполнения пространства клубка сегментами макромолекул (она редко превышает 1 %) клубки взаимопроникают друг в друга [6, 8]. Локальные участки макромолекул взаимодействуют между собой, препятствуя перемещению макромолекул (как целого) в гелевой матрице друг относительно друга. При этом сегменты макромолекул сохраняют подвижность, меняя свое положение в пространстве. В подобных гелевых матрицах взаимодействие между сегментами одной макромолекулы из-за взаимопроникновения клубков заменено взаимодействием между сегментами разных макромолекул [6].

Для супрамолекулярных образований характерно наличие четкой архитектуры, отсутствие внутреннего свободного пространства и невозможности их проникновения друг в друга [7]. В результате количество контактов между частицами супрамолекулярных образований значительно меньше – только по внешней поверхности частиц. Как следствие, прочность связей между супрамолекулярными частицами тоже значительно меньше по сравнению с взаимопроникающими макромолекулярными клубками (частицами).

Таким образом, полимерная матрица (студень, гель) состоит из взаимопроникающих друг в друга клубков макромолекул, а супраполимерная матрица состоит из контактирующих друг с другом частиц супрамолекулярных образований.

Подобное различие в структурной организации гелевых матриц должно проявляться в различии структур, возникающих при прохождении процессов сегрегации в гелях из макромолекул [5, 15-20] и супрамолекулярных образований.

Проанализируем, как должны вести себя выделяющиеся области новой фазы в макромолекулярных и супрамолекулярных системах.

Процессы сегрегации в макромолекулярных системах получили название микрофазного расслоения [5, 15-20]. Суть этих процессов состоит в

том, что при наличии в одной макромолекуле сегментов, обладающих разными свойствами, при определенных условиях становится термодинамически выгодным объединение однотипных сегментов разных макромолекул с одинаковыми свойствами с образованием новой фазы. В области выделяющейся фазы могут входить только те сегменты макромолекул, которые могут переместиться туда (достичь этих областей) при конформационных перестройках макромолекул. Связано это с тем, что сами макромолекулы фиксированы друг относительно друга взаимодействием между участками макромолекул и как целое по гелевой матрице перемещаться не могут.

Из природы процесса микрофазного расслоения следует:

- Размер областей новой фазы из-за возможности объединения только близкорасположенных в гелевой матрице сегментов чрезвычайно мал – образуются наноструктуры (рис. 1).
- Набор образующихся наноструктур ограничен – наноточки, наностержни, наноламели, алмазоподобные и гироидные нанообразования. Все они имеют наноразмеры хотя бы в одном измерении.
- Перемещаться по гелевой матрице выделения новой фазы не могут, так как в их состав входят сегменты разных макромолекул, а макромолекулы по гелевой матрице могут.

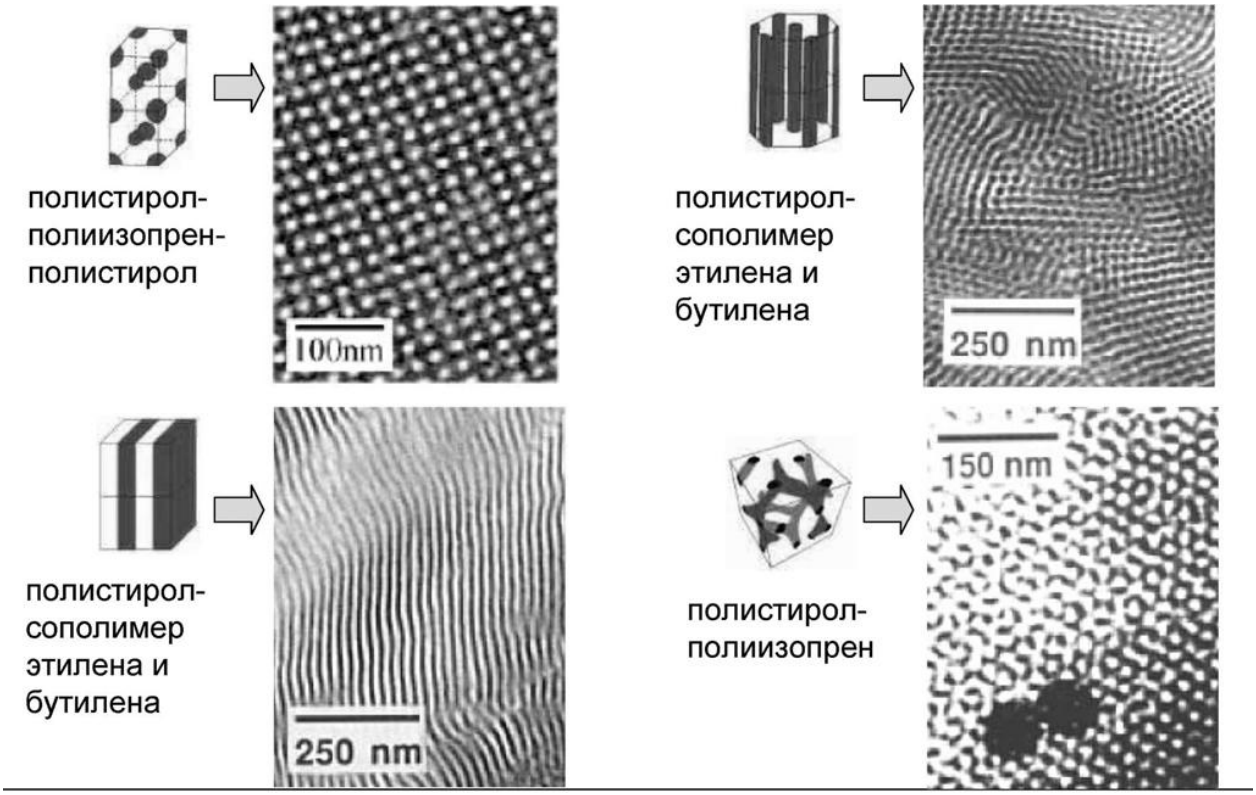


Рис. 1. Наноструктуры, образующиеся при микрофазном расслоении полимеров

Подобные процессы проходят, например, при сегрегации в полиэлектролитных гелях при изменении количества диссоциированных групп (степени гидрофобности) за счет изменения pH среды или вхождения в систему ионов, образующих с этими группами малодиссоциируемые соединения. При этом наблюдается взаимодействие гидрофобных сегментов (принадлежащих одним или разным макромолекулам гелевой матрицы) между собой с образованием нанообластей (наноточки, наностержни и т.д.) в матрице полиэлектролитного геля [19, 20].

Совершенно другая картина должна наблюдаться для органической гелевой матрицы из супрамолекулярных наночастиц, имеющих диссоциированные группы. При уменьшении степени их диссоциации меняются гидрофильно-гидрофобные свойства – возрастает гидрофобность поверхности у этих частиц. Поскольку подобные процессы, как и распределение ионизированных групп на поверхности супрамолекулярных образований, носят случайный характер, можно ожидать, что произойдет распределение по гидрофильно-гидрофобным свойствам поверхности (по степени гидрофильности) наночастиц супрамолекулярных образований. Как следствие, более гидрофобные наночастицы, прочность связи которых (как было отмечено выше) достаточно мала, будут перемещаться по гелевой матрице, которую они образуют[3], стремясь за счет гидрофобного эффекта (энтропийного фактора) объединиться друг с другом и создать области новой, более гидрофобной фазы. В результате из-за наличия свободы перемещения подобные области могут иметь уже не нано, а значительно большие размеры и достаточно сложное строение – не должны ограничиваться строением, характерным для микрофазнорасслоенных полимеров.

Таким образом, в результате проведенного анализа появился другой критерий, позволяющий ответить на вопрос о природе ГВ (супра или макро) – характер структур, образующихся при сегрегации гелей. Причем этот критерий значительно более универсальный.

Представим себе макромолекулу неких прогуминовых веществ, на которой сорбированы низкомолекулярные органические вещества. Отнести по содержанию в этой большой молекуле низкомолекулярных органических веществ к супра или к макро – невозможно, а по критерию подвижности частей большой молекулы друг относительно друга – достаточно легко.

Если сорбция на макромолекулах ГВ низкомолекулярных органических веществ обеспечивает «сшивку» и потерю подвижности сегментами макромолекул, то макромолекулы превращаются в образования, обладающие супрамолекулярными свойствами: неподвижностью частей

[3] Матрица из частиц ГВ представляет собой не непроницаемый континиум, а состоит из частиц ГВ. В этой структуре есть свободное пространство, по которому частицы ГВ могут перемещаться. В данном подходе использована аналогия гумусовых матриц с полимерными матрицами. В них есть свободное пространство, что обеспечивает перемещение сегментов макромолекул или вхождение в матрицы и перемещение по ним низкомолекулярных веществ [6]. Даже кристаллические решетки имеют свободное пространство, по которому атомы или ионы могут перемещаться – диффундировать.

большой молекулы друг относительно друга и непроницаемостью этих образований друг для друга.

Анализ экспериментальных результатов по изучению структур новой фазы, образующихся в гелях на основе ГВ. Для систем на основе ГВ структуры, возникающие при сегрегации гумусовой матрицы, уже были обнаружены и изучены при помощи электронной микроскопии [11-14].

При изучении матриц из ГВ, возникающих в нейтрализованных катионитом в Н-форме щелочных вытяжках из торфа, содержащих алюминий [14], было обнаружено, что в гумусовом веществе наблюдается сегрегация с выделением при малом содержании алюминия нанообластей новой фазы размером 10-20 нм, очень похожих на те, которые возникают при микрофазном расслоении. Однако при росте концентрации алюминия количество выделяющихся частиц увеличивается и они начинают взаимодействовать между собой. В результате образуются дендритные структуры, которые, как хорошо видно на микрофотографии (рис. 2), состоят из достаточно мелких частиц размером 100-200 нм.

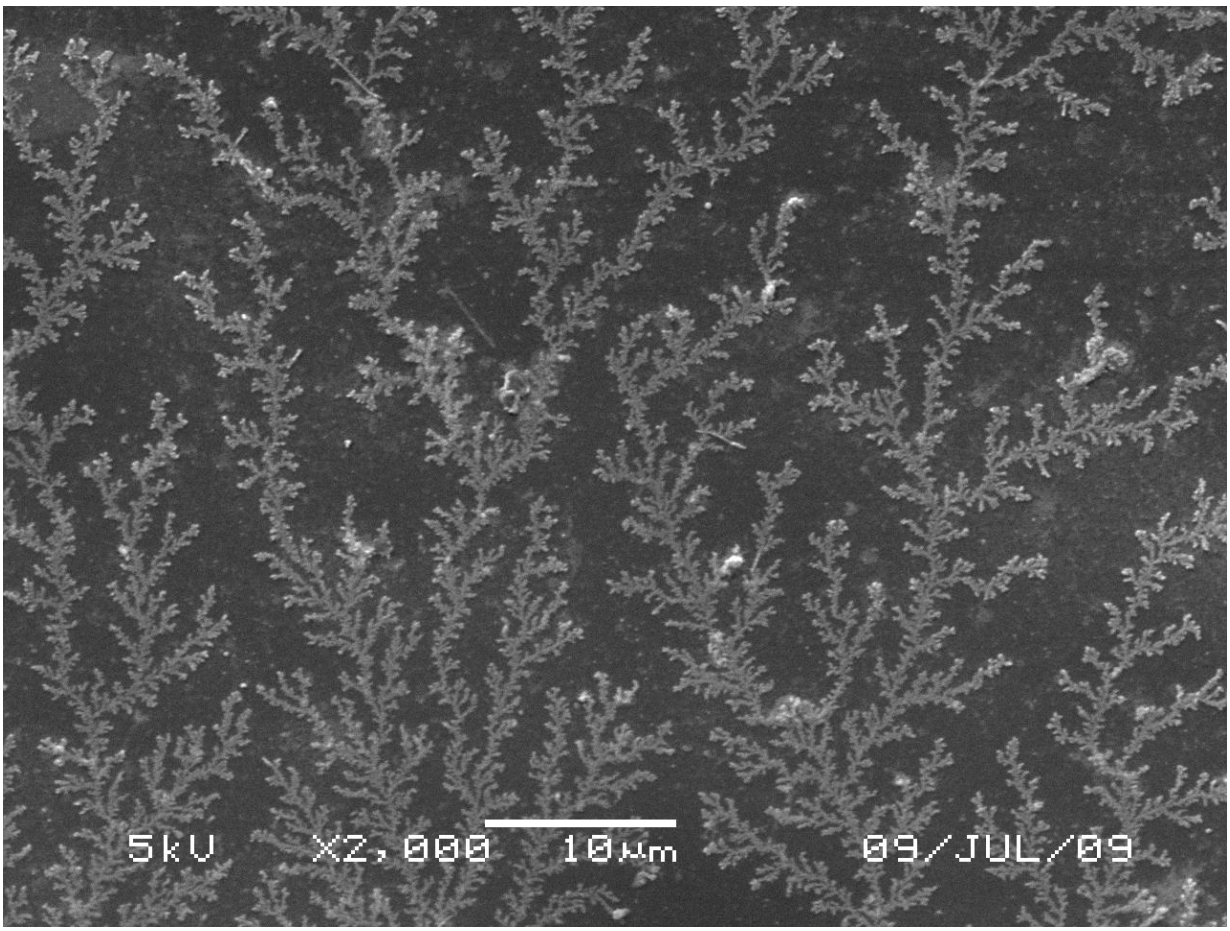


Рис. 2. Дендритные структуры, наблюдаемые при сегрегации органического вещества в гумусовых системах при введении в них небольших количеств алюминия (2,81 %). Увеличение ×2000

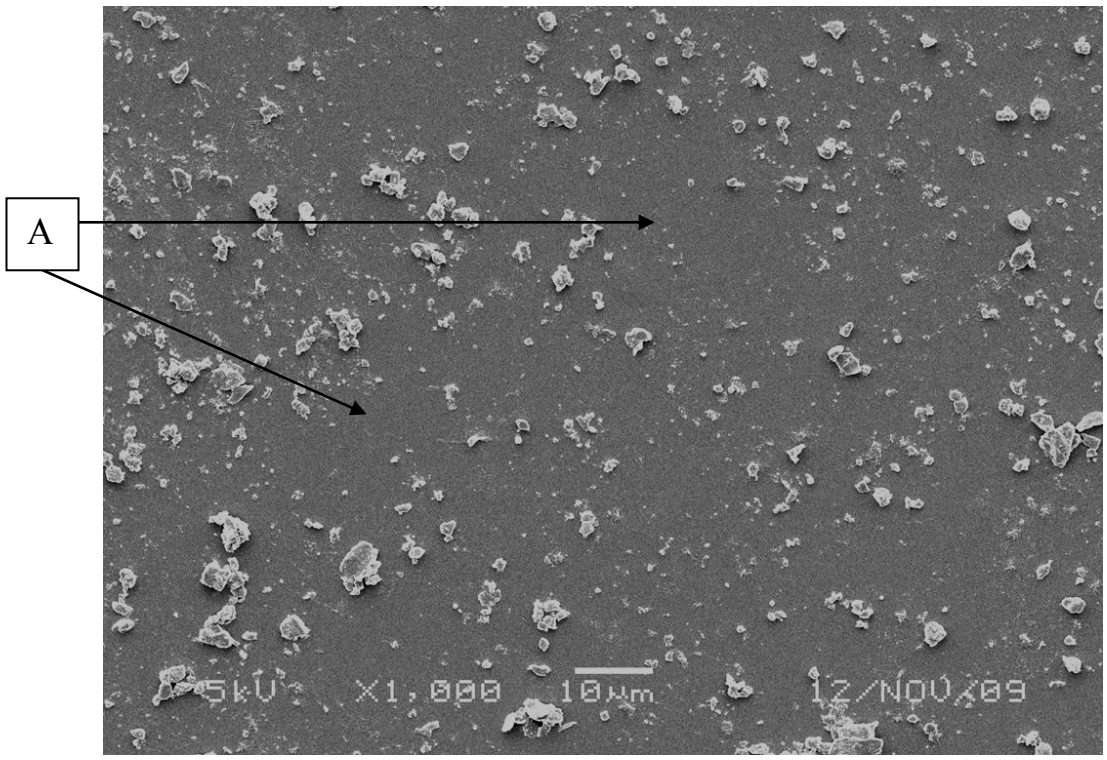
Следует отметить, что в данном случае изучали не изменения в связнодисперсных системах при определенных воздействиях на них, а процесс перехода свободнодисперсных систем в связнодисперсные системы. Однако связнодисперсные системы в данном случае возникали, по-видимому, не в результате коагуляции, а в результате высушивания (увеличение концентрации алюминия в вытяжке из торфа не приводило к прохождению коагуляции). Это связано с постановкой эксперимента, при которой уменьшение pH сопровождается не повышением ионной силы, что наблюдается при обычной нейтрализации, а ее уменьшением. Для этого щелочные вытяжки из торфа, в которые вводили при необходимости алюминий в виде щелочного раствора алюмината, обрабатывали катионитом в Н-форме. Происходила замена катионов щелочных металлов на водород. В результате pH систем уменьшался с одновременным уменьшением ионной силы раствора, что значительно стабилизировало коллоидные системы.

Стабильность подобных растворов ГВ и отсутствие в них коагуляции и позволили предположить, что процесс перехода этих свободнодисперсных систем в связнодисперсное состояние происходит после нанесения капли растворов на подложку при высушивании. И именно при высушивании возникают описанные выше структуры.

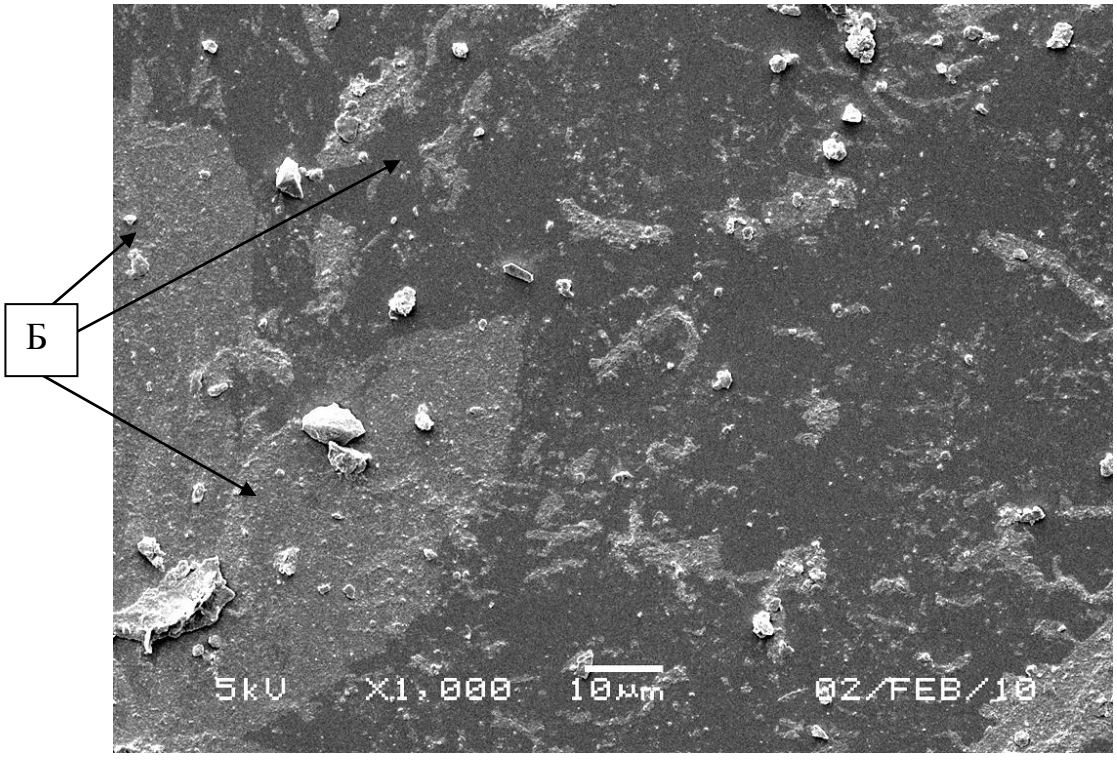
Следовательно, полученные данные позволяют говорить о частицах ГВ, образующих гумусовую матрицу, которые имеют размеры не более 10-20 нм и обладают разными свойствами. Одни из них выделяются в гумусовой матрице в виде частиц новой фазы размером 10-20 нм, которые при повышении концентрации алюминия объединяются в частицы размером 100-200 нм и дендриты из них (рис. 2).

Сделать однозначный вывод на основе этих данных о перемещении частиц новой фазы ГВ по гумусовой матрице, в результате чего возникают дендритные структуры, не представляется возможным, так как в экспериментах при высушивании происходил переход: свободнодисперсная система – связнодисперсная система. Однако эти данные свидетельствуют об образовании новой фазы в ГВ и стремлении частиц новой фазы ГВ к объединению.

Выделение крупных блоков размером десятки микрон новой фазы в гумусовой матрице наблюдается при введении в дерново-подзолистую почву микроколичеств цинка [12]. На микрофотографии (рис. 3а) представлено изображение гелевой пленки из исходной почвы.



а.



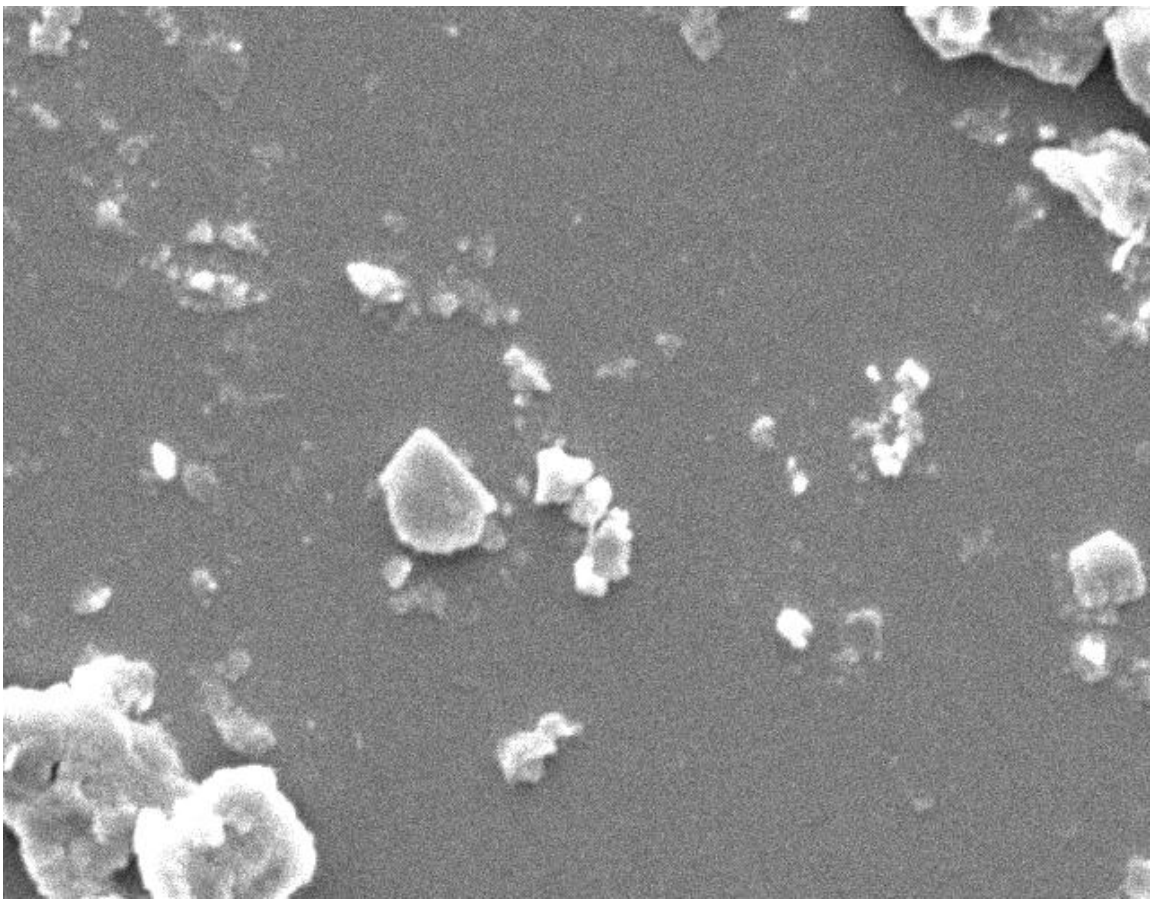
б.

Рис. 3. Электронно-микроскопическое изображение гелевых пленок, выделенных из исходной дерново-подзолистой почвы (а) и из дерново-подзолистой почвы, модифицированной цинком (1,3 мг цинка на 1 г почвы) (б). Увеличение ×1000

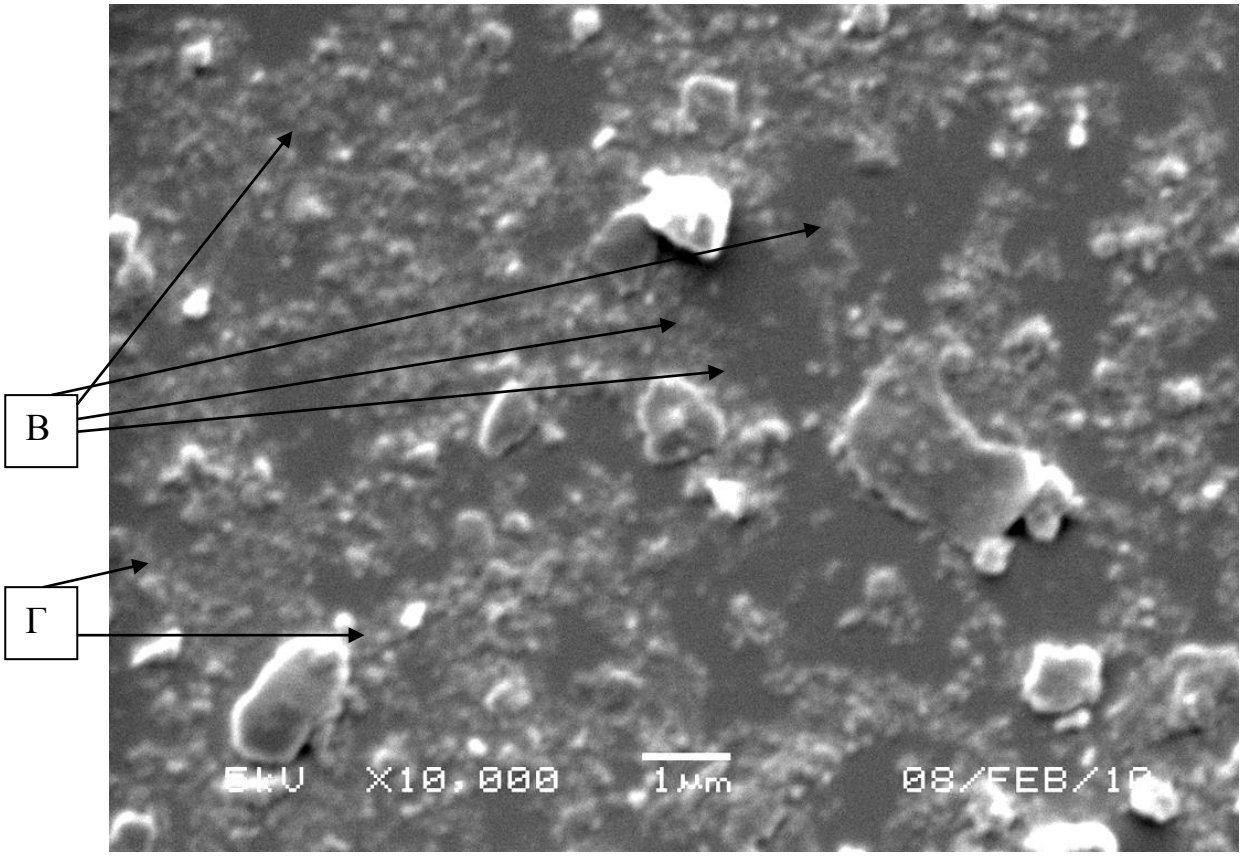
Мы видим минеральные частицы, входящие в состав органической матрицы, которая при таком способе наблюдения остается невидимой из-за отсутствия в ней значимой сегрегации (А). На микрофотографии (рис. 3б), на которой представлено изображение гелевой пленки из почвы после введения в нее цинка, хорошо видны не только минеральные частицы, но и образовавшуюся новую фазу в органической матрице (Б).

В данном случае почву поливали растворами, содержащими цинк, доводя влажность почвы до наименьшей влагоемкости. При подобной постановке эксперимента ионы цинка взаимодействовали с ГВ, находящимися в связнодисперсном состоянии, и объяснить существование подобных образований новой фазы ГВ без перемещения частиц новой фазы по гумусовой матрице достаточно сложно, так как на микрофотографии наблюдаются как частицы новой фазы размером несколько сот нанометров, так и образования размером несколько микрон.

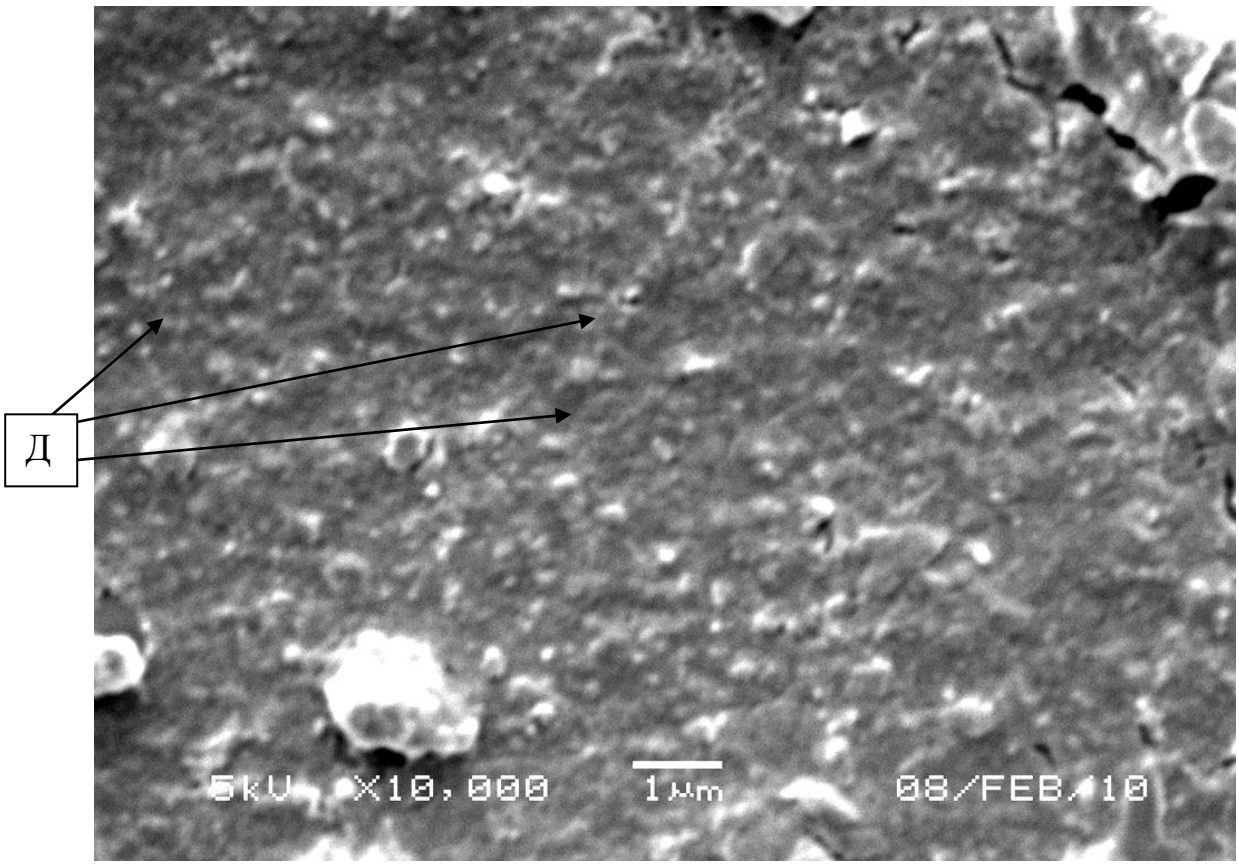
Подобные же объединения из частиц новой фазы были обнаружены в почвенных гелях при введении в почвы некоторых поверхностно-активных веществ [11] (рис. 4). На микрофотографии представлено изображение гелевой пленки, выделенной из образца исходной дерново-подзолистой почвы. Изображение аналогично представленному (рис. 3а), но сделано при большем увеличении (рис. 4а). Выделения новой фазы в органической матрице практически незаметны. При введении в почву Span 80 (рис. 4б) наблюдается обильное выделение частиц новой фазы размером 100-200 нм (В), которые собираются вместе, образуя области размером несколько микрон (Г). При введении в почву Span 20 (рис. 4в) сегрегация еще больше усиливается, захватывая всю органическую матрицу (Д). В этих случаях взаимодействие ПАВ также происходило с ГВ, находящимися в связнодисперсном состоянии, что для объяснения полученных результатов требует принятия концепции о свободе перемещения частиц новой фазы по гумусовой матрице.



а.



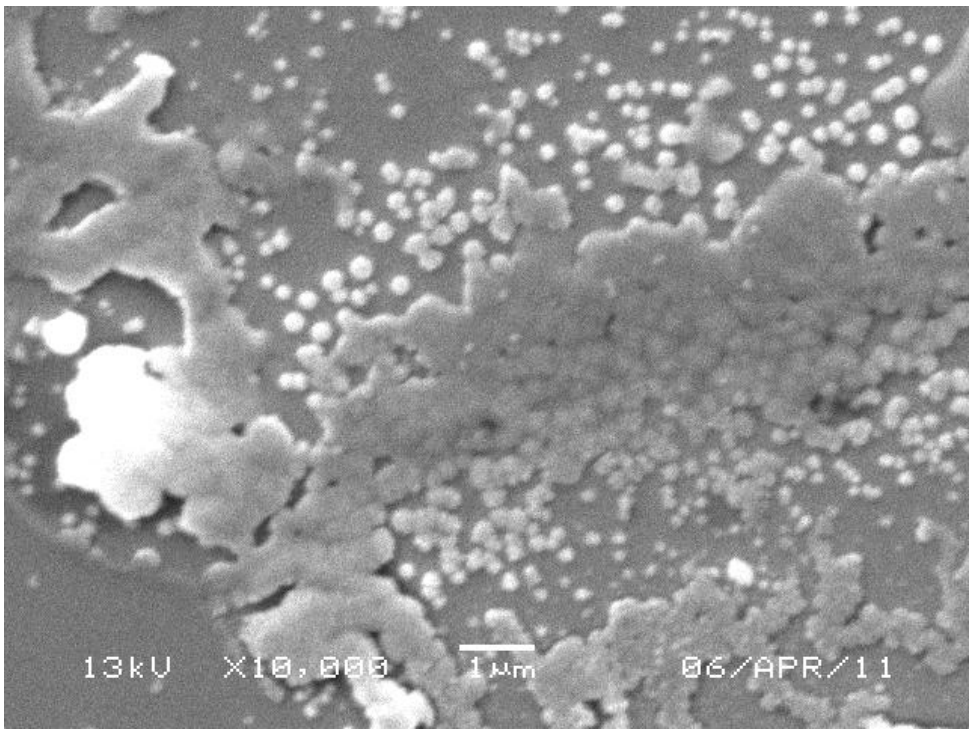
б.



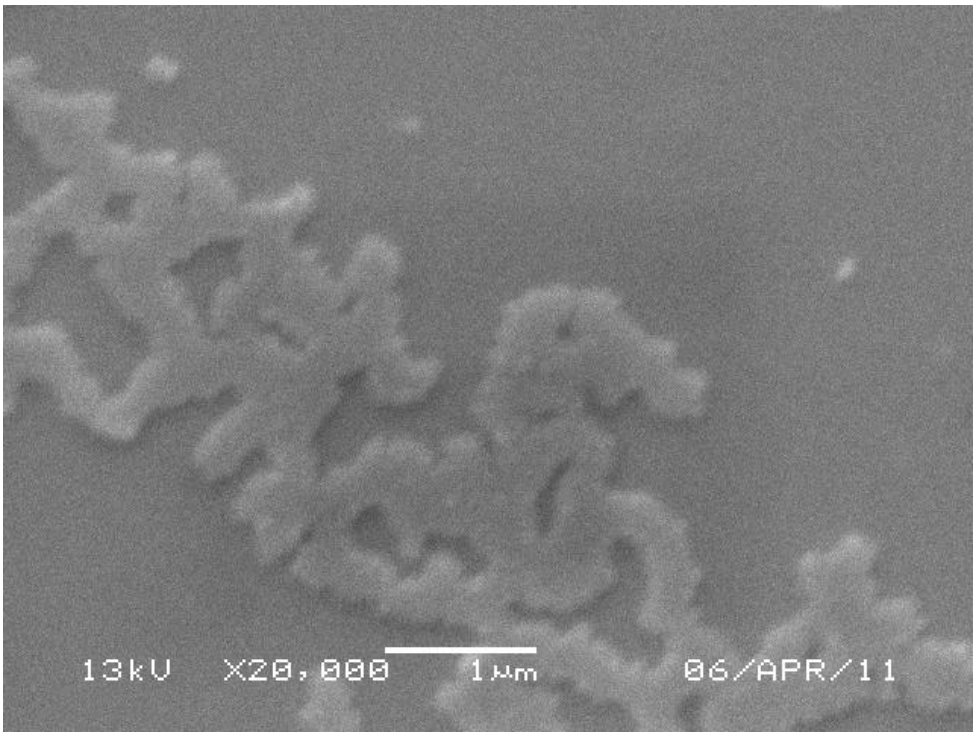
в.

Рис. 4. Электронномикроскопические фотографии почвенных гелей при концентрации в дерново-подзолистой почве модификаторов, соответствующих 4-5 мкг/г.
а. исходная почва без добавок; б. Span 80; в. Span 20. Увеличение ×10000

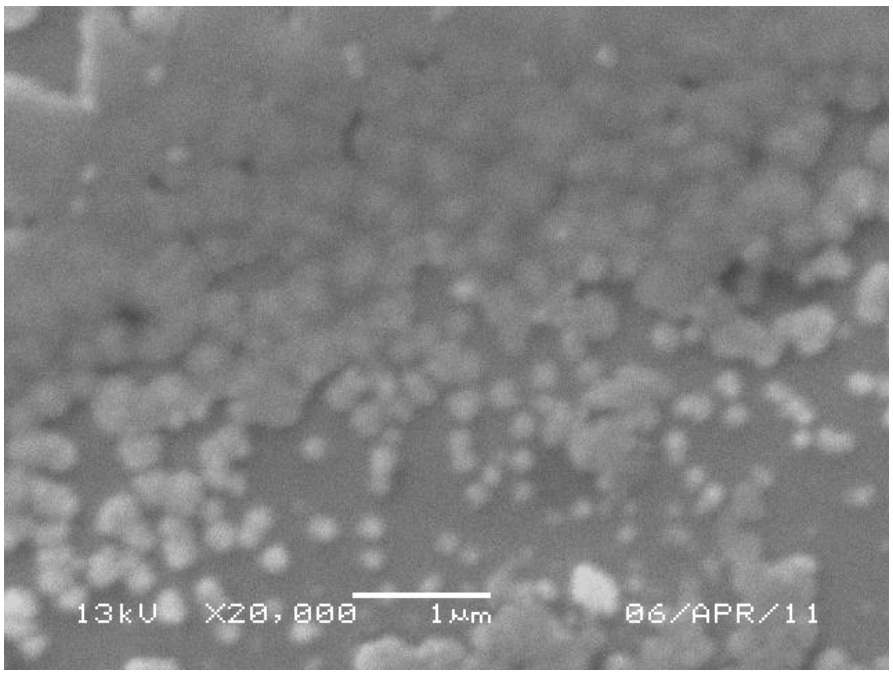
Еще более яркое подтверждение образования нанообластей новой органической фазы в гумусовой матрице почвенных гелей, их перемещения по матрице и объединения обнаружено при электронно-микроскопическом изучении гелевых пленок, выделенных из бурой полупустынной почвы [13] (рис. 5). На представленных электронно-микроскопических изображениях хорошо видны образующиеся частицы новой фазы ГВ размером 100-200 нм, которые перемещаются по гумусовой матрице и объединяются, образуя либо крупные протяженные области новой фазы ГВ микронных размеров, либо сложные узорчатые структуры, тоже имеющие микронные размеры (рис. 5б).



а.



б.



в.

Рис. 5. Электронномикроскопические фотографии почвенных гелей из бурой полупустынной почвы при различных увеличениях

Рассматривая эти микрофотографии, надо отдавать себе отчет, что процессы перемещения областей новой фазы происходили в гелях влажных почв. Удалив воду, мы «заморозили» то состояние, которое было в системах на момент высушивания почв.

Подобных электронно-микроскопических изображений, подтверждающих перемещение выделяющихся областей новой фазы по гумусовой матрице, накоплено при изучении гелей, выделенных из различных почв, достаточно большое количество.

Заключение. Таким образом, проведенный анализ поведения гелей, образованных макромолекулами и супрамолекулярнымими образованиями, а также рассмотренные экспериментальные данные по электронно-микроскопическому изучению гумусовой матрицы почвенных гелей, позволяют сделать однозначный вывод о том, что выделяющиеся области новой фазы ГВ способны перемещаться по гумусовой матрице и взаимодействовать друг с другом, что говорит о супрамолекулярной природе частиц ГВ.

Фактически предлагаемый подход привел к обобщению супра- и макромолекулярных подходов и снял ряд противоречий рассмотрения ГВ с позиций их классической супрамолекулярной организации, так как в состав супрамолекулярных образований могут входить макромолекулы.

Однако, на наш взгляд, не менее важным результатом данного рассмотрения стало появление представлений о характере взаимодействия частиц ГВ между собой – об их поведении как жестких взаимонепроницаемых частиц, способных образовывать структуры различных типов и размеров.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, проект 13-04-00140 и Минобрнауки России, проект № 37.2486.2014/К.

Литература

1. Александрова Л.Н. Гумус как система полимерных соединений / Тр. юб. сес. посв. столетию со дня рождения В.В. Докучаева. М.: Изд. АН СССР, 1949. С. 225-232.
2. Дергачева М.И. Органическое вещество почв: статика и динамика (на примере Западной Сибири). – Новосибирск: Наука, 1984. – 153 с.
3. Кононова М.М. Органическое вещество почв. М: Изд. АН СССР, 1963. 314 с.
4. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. – М.: МГУ, 1990. – 325 с.
5. Рамбиди Н.Г., Березкин А.В. Физические и химические основы нанотехнологий. М.: Физматлит, 2008. 456 с.
6. Семчиков Ю.Д. Высокомолекулярные соединения: учеб. для вузов. М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 368 с.
7. Супрамолекулярная химия: Концепции и перспективы / Ж.-М. Лен; Пер. с англ. – Новосибирск: Наука. Сиб. предприятие РАН, 1998. – 334 с.
8. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. – М.: Химия, 1978. – 544 с.
9. Тейт Р. Органическое вещество почвы. М.: Мир. – 1991, 400 с.
10. Трубецкой О.А., Трубецкая О.Е. Почвенные гуминовые кислоты: макромолекулы или супрамолекулярный комплекс / Тезисы докладов международной конференции «Биодиагностика в экологической оценке почв и сопредельных сред», Москва, 4-6 февраля 2013. М.: Бином. Лаборатория знаний. 2013. С. 217.
11. Федотов Г.Н., Добровольский Г.В. Влияние наноструктурной организации почвенных гелей на водоустойчивость почвенной структуры // Доклады академии наук, 2011, т. 441, № 1, С. 137-141.
12. Федотов Г.Н., Добровольский Г.В., Рудометкина Т.Ф. Влияние микрофазного расслоения почвенных гелей на каталазную активность почв // Доклады академии наук, 2011, т. 438, № 6, С. 842-845.
13. Федотов Г.Н., Добровольский Г.В., Шоба С.А. К вопросу о механизме возникновения наноструктурной организации в почвенных гелях // Доклады академии наук, 2012, т. 445, № 4, С. 482-485.
14. Федотов Г.Н., Добровольский Г.В., Шоба С.А., Рудометкина Т.Ф., Черич М.С., Шалаев В.С. Микрофазное расслоение в гумусовых системах // Доклады Академии Наук РФ. 2009, т. 429, № 3, С. 336-338.
15. Халатур П.Г. Самоорганизация полимеров // Соросовский образовательный журнал. 2001. Т. 7. № 4. С. 36-43.
16. Хмелевская В.С. Процессы самоорганизации в твердом теле // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6. № 6. С. 85-91.
17. Хохлов А.Р. Восприимчивые гели // Соросовский образовательный журнал. 1998. № 11. С. 138-142.
18. Хохлов А.Р. Инженерия АВ-сополимеров // Соросовский образовательный журнал. 2000. Т. 6. № 10. С. 108-115.

19. Хохлов А.Р., Дормидонтова Е.Е. Самоорганизация в ион-содержащих полимерных системах // Успехи физических наук. 1997. Т. 167. № 2. С. 113-128.

20. Хохлов А.Р., Кучанов С.И. Лекции по физической химии полимеров. М.: Мир, 2000. – 192 с.

21. Piccolo A. The Supramolecular Structure of Humic Substances // Soil Science. 2001. 166 (11). pp. 810-832.

22. Schaumann G.E. Review Article Soil organic matter beyond molecular structure Part I: Macromolecular and supramolecular characteristics // J. Plant Nutr. Soil Sci. 2006, 169, pp. 145-156.

23. Stevenson F.J. Humus Chemistry. Genesis, Composition, Reactions, 2nd Ed. Wiley, New York. 1994. 443 p.

24. Sutton R, Sposito G. Molecular structure in soil humic substances: The new view // Environmental Science and Technology. 2005. 39. pp. 9009-9015.

ИНЖЕНЕРНОЕ ПОЧВОВЕДЕНИЕ И ПОЧВЕННО-ЛАНДШАФТНЫЙ ИНЖИНИРИНГ

Ковалева Н.О.
Институт экологического почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова,
г. Москва
natalia_kovaleva@mail.ru

Введение. Неуклонное развитие в рамках экологического почвоведения учения о функциях почв в биосфере [2] и насущные запросы практики землепользования и природообустройства, внедрение новых дисциплин в учебные программы университетов и развитие инновационных технологий получения и обработки информации требуют переосмысления существующих фундаментальных парадигм и содержания некоторых известных разделов знания. В результате, на стыке традиционных наук, таких как: почвоведение, земледелие и растениеводство, дендрология, ландшафтная архитектура, инженерная геология и инженерное строительство, экология, мелиорация и эрозия почв, охрана почв и окружающей среды и т.д., появляются новые дисциплины или трансформируются старые. Так, благодаря развитию малоэтажного строительства и садово-паркового искусства, увеличению доли земель частного землепользования и либерализации землепользования, возрождению усадебной культуры и потребности в озеленении городов, становлению ландшафтного планирования и внедрению новых технологий в коммунальном хозяйстве, уже возникли: ландшафтный дизайн и архитектурная дендрология, инженерная биология и инженерная экология, ландшафтное планирование и почвенно-ландшафтное проектирование, почвенно-экологический консалтинг и экспертиза, оценка почв и т.д.

Востребованность знаний о почвах в обществе при этом также оказалась очень высока. Практически все новые специальные курсы ландшафтного дизайна, инженерной экологии, экологического консалтинга и т.п. открыли преподавание почвоведения. Большинство популярных изданий – от элитных архитектурных журналов до газет для дачников – регулярно печатают статьи о почвах [10, 11, 12, 17, 18]. Однако ниши почвоведов в данной сфере бизнеса заняли инженеры-мелиораторы, агрономы, дендрологи, агротехники и цветоводы, более адаптированные к практической деятельности. Между тем, выпускники кафедр почвоведения, сдав почвоведение по классическим программам, зачастую оказываются не готовы к подобной работе.

Опыт работы автора на протяжении последних 15 лет на объектах малоэтажной, дачной и коттеджной застройки в сфере почвенно-экологического консалтинга, проектирования и воплощения проектов дренажных и оросительных систем, конструирования рельефа, строительства элементов гидропластики, стажировка в Нижне-Саксонском Институте Инженерной мелиорации ФРГ и опыт преподавания курса «Инженерное

почвоведение» на факультете почвоведения МГУ, мелиорации почв на курсах повышения квалификации и Центров дополнительного образования МГУ («Экотерра», «Биоцентр»), курсов почвоведения и мелиорации почв – в Высшей Школе ландшафтной архитектуры МАРХИ, в НИИ сантехники и коммунального строительства и Университета рынка и труда определил необходимость и возможность разработки новой отрасли прикладного почвоведения – инженерного почвоведения и почвенно-ландшафтного инжиниринга.

Усадебное строительство как новый способ освоения окружающей природной среды. Больше нельзя не замечать, что, благодаря становлению юридического права частной собственности на землю, в современной России возникло и активно развивается новое градостроительное и ландшафтное явление – малоэтажные загородные поселения, получившие вне зависимости от типа застройки общеупотребительное название коттеджных поселков. Они появились во всех без исключения природных зонах нашей страны – от тундры до тропиков – и синхронны общемировой моде на частный дом и сад у дома. Действительно, в последние десятилетия все большую долю в составе земельных угодий стран СНГ занимают дачные и коттеджные поселки, растет увлечение парками и их миниатюрными подобиями (например, в Белгородской области реализуется областная программа «500 парков Белгородья» [43]), стремительно набирает авторитет новое направление в архитектуре – ландшафтный дизайн. Если в 2001 г. в Московской области было около 30 коттеджных поселков, то в 2004 г. – их стало более 300, в 2007 г. – более 600, а в 2009 – уже около 1000. По оценкам ГУП МО «НИиПИ градостроительства» в ближайшие 10-15 лет численность постоянного и сезонного населения Московской области увеличится на 1 млн. человек и к 2020 г достигнет 13,4 млн. человек, в том числе численность сезонного населения превысит 6,3 млн. человек [27] (рис. 1). Причем взаимосвязанными с поселком становятся не только ближайшие окрестности с общественными объектами в радиусе 2-3 км, но и отдаленные территории, расположенные в пределах 0,5 – часовой изохроны транспортной доступности (рис. 2).

В составе природно-территориального комплекса коттеджного поселка повышенной комфортности можно выделить три составляющих с разной антропогенной нагрузкой на ландшафт. Во-первых, это комплекс частных усадеб, во-вторых – общественная территория поселка, в-третьих – окружающая природная среда, вектор нагрузки в которой концентрически убывает по мере удаления от поселка. При этом первые две составляющие могут находиться в различных по влиянию отношениях к окружающей природной среде. Общественные территории могут выходить за границы их земельных угодий при условии существенной зависимости создаваемых там объектов от потребностей собственников коттеджей и в соответствии с идейной концепцией жизни в поселке. В роли подобного «якоря» могут выступать такие функциональные типы общественно-парковых территорий как «Гольф-клуб» (Риверсайд, Гринфильд и т.д.), «Яхт-клуб» (Пестово,

Завидово и т.д.), «Конный парк» (Завидово, Кузнечики, Княжье озеро и т.д.), «Рыбацкая деревня» (Велегож-парк, Капитан), «Дендропарк» (Бенелюкс, Лукоморье и т. д.), «Зверинец» (Бобровый остров и т.д.), «Шахматный клуб» (Таганьково), «Оранжерея – Зимний сад» (Монолит, Корабельные сосны) и т.д.

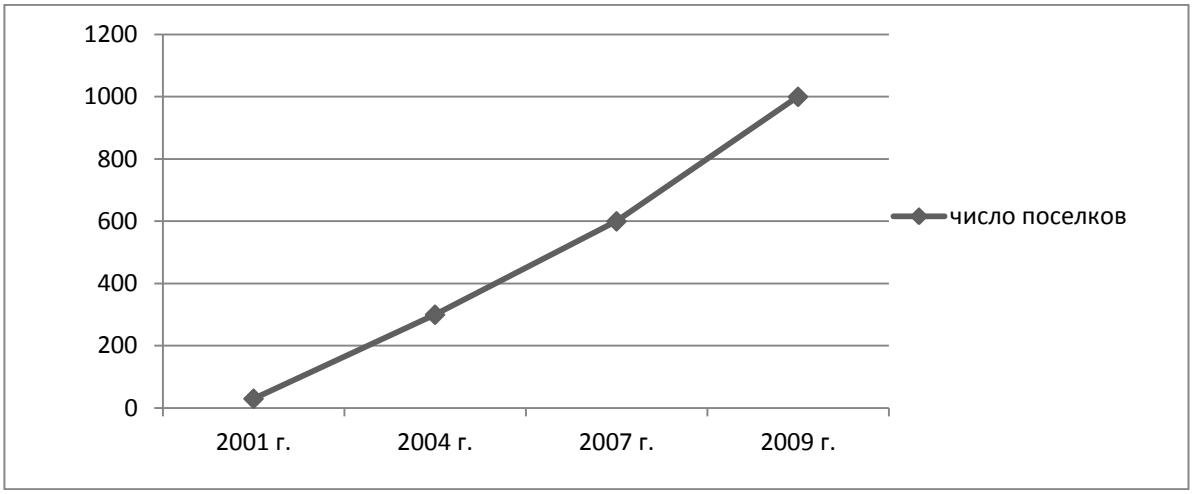


Рис. 1. Рост численности коттеджных поселков в Московской области в последние 10 лет [27]

Таким образом, ландшафтная среда становится сферой воплощения концепций публичной и приватной жизни, отражающей интересы нового социального слоя – жителей коттеджных поселков и новую социальную и земледельческую культуру – усадебную.

Вариантом усиленной нагрузки на окружающую территорию являются поселки с функциональной насыщенностью окружающего природного ландшафта: конно-спортивные комплексы, автодромы, причалы, тепличные хозяйства, поля с сельскохозяйсвенными культурами (овес, ячмень, лен и т.п.) и т.д., – нередко приводящие к экологическим конфликтам поселка с его ландшафтным обрамлением из-за значительного превышения рекреационной емкости биогеоценозов, особенно в таких ранимых ландшафтах, как тундра, лессовые равнины, горные или пустынно-степные территории.

Рис. 2. Пример организации прилегающей к поселку территории

Одним из архитектурных приемов, изолирующих владельца от окружающего ландшафта и защищающим его приватность, является организация интроспективных архитектурно-ландшафтных пространств, создание интравертных территорий, являющихся продолжением дома, и, как правило, резко контрастирующих по формам рельефа и ассортименту растений с окружающим природным комплексом (поселок «Хлебниково», «Монолит» в Московской области и т.д.). Возникающие при этом рукотворные биогеоценозы определяются функциональным назначением ландшафта: лесной, садовый, альпийский, парадно-гостевой, пляжный, территории для детского отдыха или спорта и т. д. Для исполнения замысла художника иногда в коренной трансформации нуждаются такие зональные факторы, как видовой состав травянистых и древесных растений, грибов, популляций насекомых, птиц, землероеев, земноводных и т.д. Причем, антропогенная нагрузка в коттеджных поселках значительно выше по сравнению с садовыми и дачными товариществами, так как садовые работы выполняются не эпизодически садоводом-любителем малыми средствами и нормами, а систематически руками профессионалов – плодоовощеводов, дендрологов и агротехников на каждом без исключения усадебном участке и общественных территориях. В результате существенную угрозу ландшафтам и здоровью жителей окружающих территорий создает чрезмерное увлечение и засорение почв биологически активными веществами – пестицидами в целях борьбы с сорняками (гербициды), насекомыми (инсектициды), болезнями растений (фунгициды), почвенными животными (нематоциды, аскарициды), биологически активными веществами для регулирования роста и развития растений [16]. Дозы применяемых средств защиты растений и удобрений никем не нормированы и декоративность, гарантированная ландшафтной фирмой, взявшей участок или поселок в целом на эксплуатацию, обеспечивается любой ценой.

По отношению к соседним экосистемам увеличивается контрастность возникающих в пределах поселка структур биогеоценозов, хотя внутри

контура поселка или усадьбы она существенно сглаживается даже в разных ландшафтных позициях за счет создания однотипных ландшафтных форм (парковка, сад, аллея, цветник и т.д.). Создаваемые структуры могут быть как фоновыми, например, в пейзажных парках, так и абсолютно бесфоновыми, полностью утратившими связь с окружающим ландшафтом, – например, насыпные плодородные массивы орошаемых почв в пустыне или подогреваемые клумбы в тундре. Возникающие структуры почвенного покрова определяются функциональным назначением ландшафта: лесной, садовый, альпийский, парадно-гостевой, пляжный, территории для детского отдыха или спорта и т. д. При этом часто наблюдается не только коренная трансформация зональных факторов, но зачастую меняется и привычная докучаевская формула почвообразования за счет сокращения или увеличения количества параметров в ней (факторы «почвообразующая порода» или «рельеф» иногда отсутствуют, например, при озеленении крыш и стен зданий, внутренних двориков). Появляются новые нетипичные для зональных ландшафтов рисунки природных территорий: правильной формы квадратные, прямоугольные, шестигранные в партерных и регулярных зонах, округлые и эллипсовидные свойственны геопластикам, серповидные – на террасах амфитеатров и т.д. [19].

Коренное бесконтрольное изменение зональных ландшафтов, их гидрологии, климата и почв наблюдается при строительстве осушительных и оросительных систем, при удалении и переброске ручьев и малых рек, при искусственном затоплении понижений, при перекрытии поверхностного и внутрипочвенного стоков малыми архитектурными формами и фундаментами сооружений, при замене 1,5-3 метровой толщи почво-грунтов привозным черноземом, компостами, перегноем, глиной и суглинками породы. В зависимости от архитектурно-художественной концепции ландшафта наиболее часто перераспределяются площади и изменяются контуры элементарных почвенных ареалов гидроморфных и автоморфных почв во всех природных зонах. Строительство оросительных систем на каждом земельном участке поселка, включающихся по показаниям датчиков дождя без расчета норм орошения, особенно в засушливых регионах, радикально меняет зональную норму осадков (до 700-1000 мм вместо естественных 300-400 мм) и неизбежно провоцирует подъем уровня минерализованных грунтовых вод и приводит к развитию явлений слитизации, вымокания, засоления и осолонцевания почв на площадях внутри и, особенно, вокруг коттеджных поселков [14].

Художественное воссоздание каменистой, такыровидной, барханной или медальонной поверхности при строительстве дюн, рокариев и альпинариев, японских садиков, гамады усложняют естественную структуру почвенного покрова, накладываясь на нее. В питомниках развиваются регулярно-мозаичные структуры почвенного покрова с контурами посадочных ям на фоне зональных почв. На осушенных массивах преобладают линейные сочетания пахотных или лесных почв с материалом

траншейных засыпок [9]. Повсеместно в результате ландшафтного строительства появляются контуры оскальпированных и погребенных почв.

Увеличивается площадь и разнообразие техногенных почв при подъеме гипсометрических отметок поверхности и конструировании рельефа и почв при строительстве геопластик, холмов, террас, валов. Строительство спортивных, детских и мангальных площадок, парковок и отмосток, неоправданное увлечение покровными материалами и одеждами каналов приводят к запечатыванию значительных массивов почв и изменению биоразнообразия микроорганизмов и почвенных животных. Изменение гранулометрического состава, химических и физических свойств почв – непременный атрибут их освоения в ландшафтном строительстве [12, 18]. Наиболее частые экологические конфликты коттеджных поселков с окружающей природной средой заключаются также в уменьшении высоты и полноты лесных насаждений, развитии эрозии почв, оползней на склоновых территориях, прогрессирующем оврагообразовании на территории лессовых равнин, загрязнении водоемов и уничтожении рыбы в них, загрязнении почв и грунтовых вод патогенными микроорганизмами при строительстве полей фильтрации и т.д.

Однако, изменения природной среды при ландшафтном планировании часто приводят и к позитивным сдвигам в эволюции ландшафтов: например, при реконструкции водно-болотных угодий на осушенных торфяниках; рекультивации почв на территории бывших свалок, полей аэрации, кладбищ; сохранении зональных массивов почв и растительности в лесопарках и пейзажных парках; восстановлении природных экосистем на месте агрогенных. Частные усадьбы и их общественные территории могут быть продолжением окружающего ландшафта, если их архитектурно-художественная концепция базируется на принципе топослияния, как, например, покрытые сосновым бором террасы поселка Завидово на берегу Иваньковского водохранилища, дубравы поселка Лукоморье на Подольско-Коломенском ополье, нетронутые человеком ландшафты «Экологической деревни» на берегах Оки и т.п.

Приоритет природного ландшафта в подобных поселениях обязывает архитектора встраивать концепцию усадьбы в экологический каркас: геопластические решения (террасы, валы, гроты и т.п.) становятся продолжением естественных форм рельефа, земляные работы производятся с нулевым балансом, водоемы защищаются от хозяйственных сбросов системами дренирования, склоны и крутые откосы закрепляются от оползней и эрозии, карстовые воронки фиксируются амфитеатрами, скейттрассами, речная эрозия стабилизируется набережными, в озеленении используются растения местной флоры, работа каскадов и фонтанов, оросительных систем организуется в замкнутых циклах, оберегаются от застройки воздушные перспективы и визуальные каналы, поддерживаются пути миграции животных.

В основе нормативно-правового регулирования формирования структуры современных загородных поселений, по мнению Прокофьевой

[27], – изменения в Земельном, Градостроительном, Лесном и Водном кодексах РФ, устанавливающие и предусматривающие зонирование различных территорий и земель, устанавливающие специфику частного владения, пользования и распоряжения земельными участками, участия частных инвесторов и приобретения статуса поселения. Как известно, земли в Российской Федерации по целевому назначению подразделяются на земли сельскохозяйственного назначения, земли населенных пунктов, земли промышленного и иного специального назначения, земли особо охраняемых территорий и объектов, земли лесного фонда, земли запаса (статья 7 Земельного кодекса РФ). Эти документы – первый опыт либерализации природопользования. Согласно новой ландшафтной политике стало возможным строительство жилых домов на территории водоохранных зон при обязательном строительстве очистных сооружений, наличия ливневой канализации и набережной. Новый Водный кодекс РФ [42] ужесточил правила пользования водными объектами, которые находятся в федеральной собственности (реки, озера, ручьи, кроме прудов и обводненных карьеров, которые находятся на территории частных земельных участков). Налоговые ставки на пользование водными ресурсами, находящимися в федеральной собственности, повышаются на 15-20 %. В соответствии с новым Лесным кодексом, вступившим в силу 1 января 2007 г. [42], минимально необходимая территория общего пользования (18 % от площади поселка) может прирастать лесными участками для осуществления рекреационной деятельности. Такие участки предоставляются государственным и муниципальным учреждениям в постоянное (бессрочное) пользование, другим лицам – в аренду сроком на 49 лет. При осуществлении рекреационной деятельности в лесах возможно возведение временных построек на лесных участках (беседок, пунктов хранения инвентаря и т.д.) и осуществление благоустройства лесных участков (размещение дорожно-тропиночной сети, скамеек, навесов от дождя, контейнеров для сбора мусора, указателей направления движения). Органы власти субъектов РФ и муниципальных образований, помимо общих экологических требований (ст. 44 Федерального закона 10 января 2002 г. № 7-ФЗ «Об охране окружающей среды»), вправе в интересах рационального природопользования устанавливать на своей территории и другие требования и ограничения, обязательные для исполнения всеми предприятиями, организациями, учреждениями и гражданами. Такого рода ограничения и требования получили название земельно-планировочных, сосредоточены в СНиПах и касаются не только пользователей, арендаторов, но и владельцев земли.

Таким образом, очевидно, что новое социально-экономическое явление «современная русская усадьба» нуждается в изучении и разработке норм и правил по организации ее взаимодействия с окружающей природной средой, которое радикально отличается от влияния дачного строительства и очень схоже с совмещенным в пространстве и времени влиянием города, которое детально охарактеризовано в монографии «Почвы, город, экология» [26]. Для обучения студентов почвенных и ландшафтных отделений работе с

возникающими новыми объектами землепользования в условиях современного технологического и информационного пространства необходимо внедрение новых практических дисциплин в учебные курсы университетов.

Предмет «инженерное почвоведение»: место в системе наук. Существует и постоянно возникает целый ряд новых проблем, связанных с использованием почв и в других сферах природообустройства, которые не под силу решить узким специалистам в рамках существующего знания. Строители аэродромов, федеральных трасс, городских и поселковых полей фильтрации, мусорных свалок, объектов пригородной застройки, инженеры, коммунальные службы и работники городского озеленения столкнулись с неожиданно возникающими проблемами «почвенно-растительного слоя», которые должны быть регламентированы в СНиПах (строительных нормах и правилах). Чтобы избежать этих проблем, почвенный слой сгребают бульдозером, закапывают под четвертичными отложениями, заменяют привозным грунтом, но никак не могут победить его набухаемость, засоленность, липкость, торфянистость, кислотность, бесплодие, загрязненность, заболоченность, карбонатность и т.д. Причем, одни и те же инженерные приемы «борьбы» с перечисленными явлениями, неплохо зарекомендовавшие себя на Рублевском шоссе Московской области, не дают ожидаемого эффекта не только на Черноморском побережье Кавказа или в Карелии, но не работают уже на Подольско-Коломенском ополье или в Шатуре.

Наши наблюдения [5, 20] на сотнях объектов в разных регионах нашей страны обнаруживают, что в истоке проблемы – неверное представление о почве (регламентированное в СНиПах): независимо от зональной и ландшафтной обстановки практики-садоводы почвой называют лишь верхние 20-40 см, специалисты-инженеры и геологи – верхние 0,6-1,5 м. Проблема осложняется краткими сроками выполнения проектов, отсутствием предпроектного анализа территории и специалистов, способных его выполнить, в применении устаревших СНиПов [35, 36], [44], ориентированных либо на градостроительство, либо на сельскохозяйственное строительство. Сами СНиПы сегодня нуждаются в уточнениях в соответствии с достижениями науки о почвах.

Новым способам освоения окружающей ландшафтной среды явно недостаточно предлагаемых существующими дисциплинами методов. Так, например, инженерная биология объектом изучения считает только растения, хотя ноль-моментом своего возникновения считает работы Докучаева в Каменной степи, целью которых была борьба с эрозией почв [24].

Инженерная геология заменяет почву понятием «почвенно-растительный слой» [25, 23]. Результаты описаний геологических скважин часто на деле не совпадают с лабораторными данными о физико-механических свойствах образцов, потому что не учитывают неоднородность грунта, влажность образца, из-за сжатых сроков проектного

периода нет возможности выполнить бурение в меженный период и в период максимального обводнения грунта. Грунтоведение [45] никак не определится с объемом и смыслом термина «грунт». На деле же на месте грунта оказывается конструктозем из почвы, захороненной почвообразующей породой, свойства которого резко меняются при сезонном переувлажнении, что приводит в результате к деформациям или разрушению архитектурно-ландшафтных форм и почвенно-инженерных конструкций, неустойчивости фундаментов сооружений.

Парадигма классической мелиорации почв (мелиорация как улучшение неблагоприятных свойств почв) уже не соответствует современной концепции экологического почвоведения и учению о функционировании и, тем самым, незаменимости свойств любых – даже самых «плохих» почв в ландшафте. Тем не менее, мелиорация почв, тщательно разрабатывая теоретические основы улучшения почв и ландшафтов [22, 29, 1, 30, 47], ближе остальных подходит к практике, но и она закономерно не считает областью своего знания почвенно-ландшафтный инжиниринг или принятие проектного решения и его внедрение (проект, смета, авторский надзор, гидрологические расчеты, гарантия), оставляя эти вопросы в сфере профессиональной деятельности инженеров-строителей. Однако, последние подменяют все сложные вопросы устаревшим СНИПом, не готовы работать с постоянно меняющим свои свойства конструктоземом [32, 31], используют малоизученные и неапробированные в разных природных зонах нашей страны новые технологические материалы и приемы. За рамки мелиорации почв, как в сельскохозяйственном ландшафте, так и в градостроительстве выходит проектирование дренажных и оросительных систем, совмещенных с дренажными системами зданий, архитектурно-ландшафтных сооружений (подпорных стенок, беседок, бассейнов и т.д.), ливневой и коммунальной канализации. Классическая отечественная сельскохозяйственная и лесохозяйственная мелиорация почв не проектирует и не дает рекомендаций для осушения или орошения современных ландшафтных форм в разных природных зонах: септических станций, зон интенсивного использования, автомобильных и детских площадок, элементов геопластики рельефа, теннисных кортов, гольф-клубов и конно-спортивных комплексов, полей аэрации и фильтрации, кладбищ, коттеджных и дачных поселков, участков малоэтажного строительства [10], футбольных полей [4].

Геодезия [46], выполняя топографическую съемку территории, вынуждена вплотную подходить к вертикальной планировке рельефа или конструированию ландшафта, но останавливается перед разработкой проекта земляных масс (снятия и отсыпки грунта, заполнения посадочных ям, создания геопластических форм рельефа), особенно в поймах, на болотах, осушенных торфяниках, в ландшафтах с засоленными грунтовыми водами и т.д.

Малые архитектурные формы и инженерные конструкции не являются и объектами непосредственной работы и изучения агротехники, агрохимии и

земледелия, на которые, тем не менее, выпал центр тяжести в современном освоении частных землевладений [17, 11, 12].

Выходом из создавшейся ситуации оказалась разработка сначала учебного курса «Почвововедение для целей ландшафтного дизайна» [13], который рассчитан на 75 часов (2 семестра) и до настоящего времени преподается автором в Высшей Школе ландшафтного дизайна в МАРХИ для будущих архитекторов и ландшафтных дизайнеров, а затем предмета «Инженерное почвоведение» – для студентов-почвоведов МГУ.

Инженерное почвоведение – это прикладная наука, призванная решать конкретные инженерные задачи природообустройства, связанные с разработкой экологичных технологий использования почв. Последние уже сегодня экстренно востребованы в малоэтажном, коммунальном, ландшафтном, садово-парковом, сельскохозяйственном, гидрологическом, лесном, городском и т.п. строительстве.

Объект инженерного почвоведения – естественные и нарушенные почвы и почвенные конструкции.

Почвенно-инженерные сооружения – это почвенно-технический комплекс, сохраняющий или создающий основу для устойчивого существования естественной окружающей среды. Это сооружения в почве: 1) инертные – фундаменты, трубопроводы, дорожные покрытия; 2) взаимодействующие с почвой – септики, колодцы, водоемы, дренажные системы. Это сооружения, выполненные из почвы: 1) плоские – спортивные и детские площадки, газоны и т.д.; 2) объемные – посадочные ямы, альпийские горки, террасы, гроты, амфитеатры.

Принципы инженерного почвоведения: природная зональность; соблюдение ландшафтных и геохимических законов; использование инородных материалов, строительство почвенно-инженерных сооружений и конструирование почв в строгом соответствии со свойствами почв и с учетом закономерностей почвообразовательных процессов.

Теоретическая концепция инженерного почвоведения опирается на достижения экологического почвоведения и учения и функциях почв в биосфере [2], географию и физику почв и ландшафтоведение, на теоретические и практические разработки мелиорации, земледелия, агрохимии и эрозии почв, геодезию, экологию, инженерную геологию и грунтоведение, ландшафтную архитектуру и прочие смежные дисциплины. При этом в предлагаемой области знания уже сложился свой понятийный и методологический аппарат [13], выработалась своя система методов, которая в процессе становления научного направления будет совершенствоваться.

Методы инженерного почвоведения включают:

- предпроектный анализ территорий с помощью почвенно-инженерного картирования (карты предпроектного анализа территории), призванного дать оценку почв, грунтовых вод, рельефа, ландшафтных комплексов, климата и геологических особенностей территории, а также степени и характера его антропогенного освоения;

- топографическая съемка территории для целей ландшафтного и мелиоративного строительства;

- «вертикальная» и «горизонтальная» планировка территорий (в виде генеральных топографических планов, карт благоустройства, разбивочно-посадочных чертежей, карт геопластики рельефа и баланса земляных масс);

- проектирование дренажных и оросительных систем;

- проектирование элементов гидропластики ландшафтов;

- разработка технологий почвенных конструкций;

- инженерия малых архитектурных форм, септиков;

- анализ агрохимических, агрофизических и инженерно-геологических свойств почв;

- объемное проектирование ландшафтов методами макетирования и компьютерной 3-D визуализации;

- гидрологические, реологические и прочие почвенно-инженерные расчеты, обеспечивающие устойчивость ландшафтных и архитектурных форм;

- прогнозное моделирование устойчивости и функциональности проектируемых ландшафтов в условиях природной и селитебной сред.

Важно отметить, что универсализация обработки информации с помощью специального 3D-программного обеспечения значительно облегчает процесс чертежного проектирования и не требует от исполнителя навыков ландшафтной графики.

Программа разработанного нами учебного курса «Инженерное почвоведение» адаптирована для практического применения. Помимо лекционных занятий, она включает серию практических работ (построение почвенно-инженерной карты, выполнение проекта дренажа, проекта вертикальной планировки, проекта элемента гидропластики, макетирование ландшафта, практику на объектах почвенно-инженерного строительства), рассчитана на 36 часов и ориентирована на студентов факультета почвоведения, специализирующихся по направлению «ландшафтный дизайн и почвенно-ландшафтное планирование» (рис. 3). Но никакая программа не может охватить весь круг вопросов, принципов и положений, отвечающих сложной специфической задаче формирования профессионала. Любая программа является лишь канвой для определенного способа постигать и организовывать учебный процесс, но, по нашему мнению, она должна быть современной, нетерпимой к догмам и ограничениям, стремиться к активному осмыслению перемен, происходящих в обществе и в науке о почвах. Только в этом случае обучающиеся смогут найти себе применение на современном рынке труда.

Рис. 3. Практическое занятие по инженерному почвоведению

Задачи инженерного почвоведения и почвенно-ландшафтный инжиниринг. Спектр проблем, с которым столкнулось инженерное почвоведение, оказался неожиданно широк. И начинается он с необходимости выполнения предпроектного анализа территории - пропедевтики, по Регелю [28], и участия в поиске оптимального проектного решения, который включает сбор сведений о природной обстановке на объекте благоустройства и анализ соответствия эскизов геохудожника почвенно-ландшафтным условиям, что особенно важно в свете расширяющейся географии ландшафтного строительства. Действительно, для того, чтобы верно составить ассортиментную ведомость растений и разбивочно-посадочный чертеж, рассчитать высоту и устойчивость проектируемых насыпей (амфитеатров, геопластик, валов, холмов, дорожного полотна, смотровых площадок и т.д.) и выемок, оптимальное количество террас, необходимо сориентироваться в почвенно-климатической зональности, иметь представления о продолжительности морозного периода, глубине промерзания и физико-химических свойствах почв, сумме активных температур, характере подстилающих пород и т.д. Очевидно, что предпроектный анализ территории должен базироваться на предварительных инженерно-геологических, почвенно-мелиоративных и гидрологических изысканиях, содержать специальную почвенную карту для целей благоустройства и озеленения территории и решать не только задачу экономической оценки планируемых мероприятий, но и анализ возможности устойчивого развития создаваемого ландшафта в конкретной природной зоне, а также прогноз времени и условий его жизнеспособности.

Результаты предпроектного анализа территории должны быть представлены в виде соответствующих планов предпроектных изысканий, результатов анализа химических и физических свойств почв и грунтов и

пояснительной записки – обоснования проектного решения в портфолио проекта.

Важной задачей инженерного почвоведения стала разработка новых современных технологий планировки «нулевого уровня» территории после окончания строительных работ (рис. 4). Тщательное выравнивание поверхности породой, вынимаемой из котлованов, и ее утрамбовывание – наиболее популярный в строительстве прием, создающий серию проблем для дальнейшего окультуривания территорий. В результате этой строительной технологии на поверхности гумусового горизонта формируется водонепроницаемый слой из почвообразующей породы. На нем впоследствии создается 10-20 сантиметровый гумусированный слой среднесуглинистого состава или организуются посадочные ямы из перегноя. Очевидно, что рукотворный дополнительный ярус верховодки или «водные мешки» не обеспечивают в большинстве случаев хорошего качества посадок, а привозной грунт (из черноземных областей) нередко не улучшает, а ухудшает свойства подстилающей его глинистой почвы или породы.

Рис. 4. Планировка «нулевого уровня» территории

Появилось много нового в технологии осушительных мелиораций, что требует от разработки теоретических обоснований использования инновационных материалов, а также современных технологий проектирования и строительства дренажных систем. Так, нередко объектами осушения, наравне с почвами садов, выступают малоэтажные архитектурные формы (дома, бани, гаражи, бассейны, беседки и т.д.) (рис. 5). Два соседних участка одинаковой площади могут коренным образом отличаться по стоимости и конструкции дренажа, тиражируемого для всех усадеб поселка в соотвествии с одним и тем же СНиПом. Это связано, во-первых, с архитектурным решением дома, во-вторых, с использованием разного грунта и разных технологий его укладки на поверхности участка, а, значит, с различной структурой внутрипочвенного стока, величинами фильтрации и

неодинаковым количеством ярусов верховодки [3, 8]. Каковы механизмы и закономерности движения внутрипочвенной влаги в нарушенных почво-грунтах? Решение этих теоретических вопросов, безусловно, лежит в плоскости почвоведения [32]. И именно от ответов на них зависит эффективность осушительных систем, появление новых технологий строительства домов, сооружений и инженерных коммуникаций. Дело в том, что пазухи котлованов зданий и сооружений, траншеи коммуникационных трасс имеют обратную засыпку из местного грунта. Даже тщательная послойная утрамбовка этих засыпок, производящаяся вручную (ведь специальные механизмы не загонишь на участок), не исключает формирования «водных мешков» в трещинах набухания-усадки. Этот факт, в совокупности с различным количеством глинистых минералов в покровных и моренных суглинках, приводит к развитию явлений набухания, деформациям отмостки и отделочных конструкций цоколей и фасадов зданий. Использование же грунтов с более высокими значениями коэффициента фильтрации (песок или щебень) усиливает эффект накопления инфильтрационных вод при отсутствии дренажной системы. В свою очередь, засыпка дренажных траншей местным грунтом резко снижает гидравлическую связь трубы с поверхностными слоями почвы.

Существенно нарушена структура почвенного покрова селитебных территорий, и, следовательно, изменена гидрология ландшафтов: это связано с различной зарегулированностью поверхностного и внутрипочвенного стоков фундаментами зданий, ландшафтных сооружений и заборов, комплексом ландшафтных форм. Необходимо совершенствовать методику расчета междренных расстояний для этих новых ландшафтных условий плотно зарегулированного стока, высокой насыщенности дренажных и оросительных систем (на каждом участке), с различной нагрузкой на дренажные системы, которые совмещаются с ливневым стоком (рис. 5), со стоков из септиков и бассейнов, с разным планом посадок древесных пород и необходимостью герметизации дрен, а также разработкой приемов устройства дренажа вблизи деревьев [9]. Здесь используется и герметизация дрен, и засыпка траншей шлаком с медным колчеданом, обработка антисептиками, увеличение глубины закладки дренажа и уклонов дрен, использование объемных фильтров из кокосового волокна (рис. 6).

Появление новых изоляционно-фильтрующих полимерных материалов (тефонд, дрениз, энкандрайн, пордрен, унидрен и др.) ставит новые вопросы по оценке эффективности их действия. СНиПов по их применению нет, как нет и исследовательских работ по анализу их поведения в разных типах почв. Это новое направление в сегодняшней практике осушения и в исследованиях траншейных засыпок и процессов установления гидравлической связи поверхностных слоев почв с дренажными трубами. Существенно изменились и сроки проведения дренажных работ, которые теперь выполняются круглогодично (рис.7).

Рис. 5. Строительство дренажной системы, совмещенной с ливневой канализацией

Рис. 6. Технология укладки дрены вблизи деревьев

Рис. 7. Строительство ревизионного колодца в зимний период

Одной из задач инженерного почвоведения является дальнейшая разработка теоретических принципов и технологий строительства современных оросительных систем в разных природных зонах. Большинство оросительных систем, использующихся сегодня в ландшафтном озеленении, работают, ориентируюясь на показания датчиков дождя и метеоусловия. Гранулометрический состав почв при этом не учитывается вовсе, оросительные и поливные нормы не рассчитываются. При этом, даже если к оросительным системам прилагается тензиометр для определения потенциала почвенной влаги, остается непонятным, как им воспользоваться в условиях высокой комплексности посадок? Строительство выборочных, нескоординированных друг с другом, выполненных без учета норм осушения, частных осушительных систем вызывает колоссальный осушающий эффект, распространяющийся на окружающую территорию, и приводит к загрязнению водоприемников дренажным стоком, насыщенным выносимыми из осушенного ландшафта соединениями [7].

Отдельного внимания заслуживают вопросы закрепления откосов склонов, береговых линий, каналов, оврагов, железнодорожных насыпей и шоссейных дорог. Простота устройства откосов и естественный внешний вид делают их распространенным способом сопряжения поверхностей на объектах ландшафтной архитектуры. Известно, что устойчивость откоса зависит от характеристик почвы или грунта, гидрологического режима, положения в ландшафте, климата, растительности, уровня нагрузки. Параметры высоты и заложения откоса, коэффициент откоса определяются, исходя из гранулометрического состава почв, плотности, деформационных характеристик, оструктуренности и использования структурообразователей. В последние годы появилось много новых технологий закрепления склонов, с которыми необходимо знакомить наших выпускников. Это не только

использование структурообразователей [32] или разных видов задернения, но и габионных конструкций, георешеток, геотекстильных материалов, пленок и экструдеров, приемов армирования грунта. Весьма популярны габионы, заполненные почвой или щебнем. Они позволяют сформировать конструкцию требуемой конфигурации, значительно повысить устойчивость склона и впоследствии становятся частью ландшафта. Основным принципом укрепления откосов является равномерное распределение нагрузок и передача напряжений, действующих в почве, на георешетки и габионы. Основной вопрос практиков – где найти специалиста, умеющего одновременно и рассчитать напряжения, и выбрать газонные злаки и растения для габионов, и выполнить по проектным отметкам склон.

Радикальные экономические и социальные перемены в нашей стране привели к небывалому росту дорожно-транспортного строительства (рис. 8). Транспортные магистрали, как инженерные сооружения, нарушают природные ландшафты, изменяют режим стока поверхностных и грунтовых вод, приводят к изменениям в структурах почвенного покрова и свойствах почв, микроклимата, путей миграции животных, биоразнообразия. При строительстве мостовых переходов нарушается гидрологический режим территорий, усиливается эрозия почв с незакрепленных откосов. На дорогах местной сети укрепление откосов, устройство быстротоков, рассеивающих трамплинов и гасителей водной энергии не считается обязательным. Все это неизбежно приводит к разрушению окружающей природной среды и конструктивных элементов самих дорог.

Рис. 8. Строительство дорожного полотна

Перспективным направлением деятельности почвоведов на всех уровнях дорожно-транспортного строительства является участие: а) в изыскательских работах и проектировании полотна дороги вдоль заданной линии с соблюдением расчетных уклонов, б) в проектировании и строительстве нагорных и водоотводных каналов, придорожных кюветов, в)

закреплении склонов растительностью, глинистой суспензией на песчаных почвах, битумной эмульсией на железнодорожных насыпях, подпорными стенками, полимерными материалами и т.д., и в защите почв от эрозии, г) лесонасаждении, е) в разработке и строительстве шумозащитных почвенно-грунтовых валов. К сооружениям, непроницаемым для акустических колебаний, относятся откосы выемок с различными геометрическими параметрами. Заглубление магистрали относительно общего уровня поверхности прилегающей территории позволяет обеспечить рекомендуемые санитарными нормами уровни шума на расстоянии 40-50 м от улиц и дорог. Это очень востребованная технология для коттеджных и дачных поселков, расположенных вдоль автомагистралей. Оптимальная ширина такого сооружения 10-20 м, наиболее эффективная форма – треугольная с более пологой стороной – в сторону поселка, максимально крутой – к источнику шума, засаженная кустарниками и хвойными растениями в шахматном порядке, почвенный покров должен быть армирован. В небольших немецких городах защиту от шума осуществляют с помощью хорошо озелененных грунтовых валов высотой около 2 м, шириной до 6-9 м вдоль крупных магистралей. Эффективность грунтовых валов значительно повышается при использовании на них дополнительных стенок-экранов из шумопоглощающих материалов (вермикулит, перлит, пластик, геотекстиль). Грунт для кавальеров используется местный, оставшийся при строительстве дорог.

Проблема организации мусорных свалок в городах и поселках также требует сегодня участия специалистов-почвоведов. По принципу действия методы обезвреживания и переработки отходов делятся на: 1) ликвидационно-термические (сжигание), 2) ликвидационно-биологические (складирование на полигонах) (рис. 9), 3) утилизационные биологические или компостирование. При разработке технологий утилизации бытовых отходов знания почвоведения необходимы на всех этапах процесса: при анализе почв и грунтовых вод, при расчете времени перегнивания, при разработке технологии освобождения от патогенных микроорганизмов, тяжелых металлов, при сборе полезных биогенных газов в результате этого производства, при устройстве очистительных водоемов, при расчете параметров насыпи складирования, при выборе грунта для консервации и способов его уплотнения, при расчете параметров поверхностного и внутрипочвенного стоков, не говоря уже об определении коэффициента фильтрации, потенциала почвенной влаги и т.д., при устройстве дренажной системы в основании такого склона, при армировании грунтов геотекстилем, геомембранами, геосетками, габионными и армогрунтовыми конструкциями, при выращивании тест-растений, использовании методов экстремального озеленения, биоматов и биотекстиля, составлении ассортиментной ведомости с учетом почвенно-климатических факторов.

Рис. 9. Почвенно-инженерная технология организации мусорной свалки

Целая серия проблем связана с отсутствием почвоведов и знаний о почвах в фирмах и государственных институтах, организующих канализационные системы, поля аэрации и фильтрации и устанавливающих частные септические станции.

Гидропластика рельефа – или искусство сооружения гидротехнических объектов также требует знаний о почвах. Сюда входит разработка технологий строительства искусственных и естественные декоративных, спортивных, рыбоводческих, рекреационных, ирригационных водоемов и водоемов-отстойников, бассейнов, ручьев и каналов, каскадов, плотин, акведуков, водопадов, фонтанов, сухих русел, рек, запруд, дамб, водозаборных скважин, гаваней и т.д.

Проблемы выбора грунта и расчет площадей и объемов его отсыпки решается в рамках вертикальной планировки рельефа. Самый болезненный сегодня запрос практики – где взять специалиста по вертикальной планировке рельефа, владеющего знаниями о почвах и грунтах. Именно эта ниша до сих пор содержит массу вакансий, которые могли бы занять наши выпускники.

Вертикальная планировка – это комплекс мероприятий, направленных на частичное или полное преобразование рельефа в целях реализации проекта благоустройства территории. При разработке проекта вертикальной планировки последовательно решается ряд задач: выделение и анализ характерных форм рельефа, определение крутизны склонов, построение продольного профиля по горизонталям плана, прокладка линии заданного уклона, определение границ водосборной площади, построение полей невидимости, абриса, перспективы, ракурсов местности, макета, определение по заданному значению уклона проектных отметок будущего рельефа, нанесение на план проектных горизонталей, проектирование необходимых инженерных сооружений – поглощающих и смотровых колодцев, подпорных стенок, определение объемов земляных работ по всей территории и по отдельным ее участкам. Именно в рамках вертикальной планировки территории разрабатываются инженерные мероприятия по

обеспечению отвода вод поверхностного и внутрипочвенного стоков, проекты создания пластически выразительных форм рельефа в соответствии с замыслом проектировщика: альпийских горок, партеров, водопадов, гротов и амфитеатров, геопластик, валов и пр., выполняется расчет посадочных ям и выбор грунта для них в соответствии с разбивочно-посадочным чертежом, ведется проектирование и организация дорожной сети, проектирование и выведение на нулевой уровень детских и спортивных площадок, устройство специальных сооружений – лестниц, пандусов, подпорных стен, прилегающий ландшафт увязывается с территорией застройки.

При расчетах и строительстве подпорных стенок в укрепительных и декоративных целях также требуются результаты анализа физических свойств почв и гидрологического режима территории, расчеты нагрузок и деформаций. Для всех подпорных конструкций на ленточных фундаментах во избежание деформаций необходимо разрабатывать дренаж – пластовый, продольный или поперечный.

К задачам инженерного почвоведения можно отнести необходимость разработки почвенно-инженерных конструкций для городского строительства, имея в виду хотя бы озеленение крыш – очень модное (востребованное) направление современного городского дизайна.

Безусловно, методы инженерного почвоведения окажутся полезными при разработке технологий инженерных конструкций в сельском и лесном хозяйстве, экотехнологий рекультивации почв и реставрации ландшафтов на местах бывших мусорных свалок и воинских частей, кладбищ и карьеров, осушенных торфяников и нефтезагрязненных территорий. Именно в этой сфере прикладного почвоведения достаточно много уже и практических и теоретических разработок.

Предоставление услуг по доведению научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок до стадии производства носит название инжиниринга. Мы расширили смысл термина до почвенно-ландшафтного инжиниринга, вкладывая в него не только внедрение разработанных технологий, но и авторский надзор за их исполнением, так как само строительство ландшафтно-инженерных объектов в живой динамичной природной среде – тоже процесс творческий. «Идеалом садостроителя, по Регелю [28], является тот, кто хоть до известной степени соединяет в себе теорию с техникой». При отсутствии же авторского надзора, по мнению известного ландшафтного архитектора, реализацию проекта ждет или «несоразмерный расход, или баснословная чушь».

Очевидно, что работа с почвами частных землевладений не терпит застывших границ, зависит от объема сметы и пожеланий и пристрастий землевладельцев, но в ней есть место творчеству, фантазии, чувству времени. По сравнению с сельскохозяйственными угодьями, в большинстве случаев площади применения сил и знаний ограничены, хотя последние иногда тоже достигают десятков и сотен гектар, но результаты, в любом случае, достижимы быстрее, а ответственность выше.

Заключение. Таким образом, становление экологического почвоведения, с одной стороны, и наличие инженерных систем и инженерных свойств у самой почвы, которые прекрасно были изложены проф. В.Е.Х.Блюмом (устное сообщение на факультете почвоведения), с другой, определяют теоретическую базу и возможность выделения в рамках почвоведения такого практического направления, как инженерное почвоведение. Его дальнейшее развитие соответствует и лучшим традициям русского садового зодчества [15, 21, 6], ведь русская усадьба стала источником вдохновения и для художников и для естествоиспытателей: и почвоведам и архитекторам одинаково дороги имена Энгельгарда и Болотова. Запросы практики делают насущной и востребованной практическую значимость этого направления [15, 21]. А наличие специалистов, владеющих комплексом всех необходимых знаний по геодезии, картированию, агрохимии, ландшафтному планированию и оценке земель, физике и мелиорации, эрозии и общему почвоведению, которых мы можем предложить рынку труда, обучив инженерному почвоведению, обеспечит развитие почвенно-ландшафтного инжиниринга во всех сферах жизнедеятельности.

Литература

1. Владыченский С.А. Сельскохозяйственная мелиорация почв. М: Изд-во МГУ, 1964, 415 с.
2. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Экологические функции почв. М: Изд-во МГУ, 1986, 137 с.
3. Зайдельман Ф.Р., Ковалев И.В. Эколого-гидрологическая оценка светло-серых оглеенных почв, осушенных бестраншейным и траншейным дренажом. // Почвоведение. 1994, № 1, С. 116-127.
4. Замотаев И.В., Белобров В.П. Почвогрунты и зеленые газоны спортивных и технических сооружений. М.: ГЕОС, 2007. 168 с.
5. Карпачевский Л.О., Зубкова Т.А., Ковалева Н.О., Ковалев И.В.. Ашинов Ю.Н. Почва в современном мире. Опыт популярного изложения вопросов современного почвоведения. – Майкоп: ОАО «Полиграф-Юг», 2008, 164 с.
6. Ковалев А.И. Усадебное строительство в России как новое социально-экологическое явление и фактор классового расслоения общества. //Молодежная конференция «Ломоносов-2011», секция психология, М: МГУ, С. 45.
7. Ковалев И.В. Сезонная динамика и состав дренажного стока в серых лесных оглеенных почвах. // Мелиорация и водное хозяйство. 2001, № 1, С. 32-34.
8. Ковалев И.В. Методические особенности лабораторного определения коэффициента фильтрации в тяжелосуглинистых почвах методом Хануса //Электронный журнал «Доклады по экологическому почвоведению», 2007, выпуск 5, N 1, С. 61-81. http://soilinst.msu.ru.
9. Ковалев И.В. Особенности устройства дренажа на объектах малоэтажного и ландшафтного строительства. // I Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Фундаментальные достижения в почвоведении, экологии, сельском хозяйстве на пути к инновациям». Москва-2008, С. 132-134.
10. Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Кондиционер для почвы, или что такое дренаж. //Сад своими руками. № 6, 2003, С. 36-38.

11. Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Почвы легкие и тяжелые //Сад своими руками. № 1, 2004, С. 19-21.

12. Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Торф – почва или удобрение? //Сад своими руками. № 8, 2004, С. 38-39.

13. Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Почвоведение для целей ландшафтного дизайна. Почвоведение: история, социология, методология / Отв. Ред. В.Н. Кудеяров, И.В. Иванов. – М.: Наука, 2005, С. 210-214.

14. Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Инженерное почвоведение и почвенно-ландшафтный инжиниринг. //Научные основы экологии, мелиорации и эстетики ландшафтов. М., 2010, С. 309-314.

15. Ковалев И.В., Ковалева Н.О. «Горящее лето» 2010 – результат отсутствия почвенно-ландшафтного инжиниринга. //Украина, Судак, 2010, http://www.isras.ru/files/File/Seminar/20_SEI_KULPIN.pdf

16. Ковалева Н.О. О необходимости смотреть под ноги, или чем опасна почва. //Сад своими руками. № 12, 2002, С. 11-13.

17. Ковалева Н.О., Ковалев И.В. Сад на кислых почвах. //Сад своими руками. № 9, 2003, С. 37-39.

18. Ковалева Н.О., Ковалев И.В. Где лежит вода. //Сад своими руками. № 6, 2004, С. 11-13.

19. Ковалева Н.О., Ковалев И.В. Изменение структуры почвенного покрова в результате ландшафтного строительства. //Пространственно-временная организация почвенного покрова: теоретические и прикладные аспекты. Санкт-Петербург, 2007, С. 447-449.

20. Ковалева Н.О., Ковалев И.В. Инженерное почвоведение и почвенно-ландшафтный инжиниринг. // I Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Фундаментальные достижения в почвоведении, экологии, сельском хозяйстве на пути к инновациям». Москва-2008, С. 134-135.

21. Ковалева Н.О., Ковалев И.В. Усадебное строительство в России как новый способ освоения окружающей природной среды и элемент ландшафтной политики. // Украина, Судак, 2010, http://www.isras.ru/files/File/Seminar/20_SEI_KULP IN.pdf.

22. Костяков А.Н. Основы мелиораций. М-Л: Изд-во колхозной и совхозной литературы. 1933, 887 с.

23. Ломтадзе В.Д. Инженерная геология. Инженерная геодинамика. Л., «Недра», 1977, 479 с.

24. Основы инженерной биологии с элементами ландшафтного планирования: учебное пособие для студентов биологических и технических специальностей. Майкоп. – М: Т-во научных изданий КМК, 2006, 281 с.

25. Пашкин Е.М. Инженерная геология: Учебное пособие.С М.: Архитектура-С, 2005. – 264 с.

26. Почвы, город, экология /Под общей ред. Акад. РАН Г.В.Добровольского. – М: Фонд «За экономическую грамотность», 1997, 320 с.

27. Прокофьева Е.Ю. Социально-экологические инновации в планировке загородных поселений. //Автореферат на соискание ученой степени кандидата архитектуры. М. 2010, 21 с.

28. Регель Арнольд. Изящное садоводство и художественные сады. М, 1990, 74 с.

29. Розов Л.П. Мелиоративное почвоведение. М: Сельхозгиз. 1956, 415 с.

30. Сабо Е.Д., Кормилицына О.В., Бондаренко В.В. Гидротехнические мелиорации ландшафта: Учебное пособие для студентов спец. 260500. Ч. 1. – М.: МГУЛ, 2004. – 124.

31. Садовникова Н.Б. Влияние сильнонабухающих полимерных гидрогелей на физическое состояние почв легкого гранулометрического состава. // Автореф. на соиск. уч. степени к.б.н. М., 2008, 25 с.

32. Смагин, А.В., Шоба С.А., Макаров О.А. Экологическая оценка почвенных ресурсов и технологии их воспроизводства (на примере г. Москвы). – М.:Изд-во МГУ, 2008. – 360 с.
33. СНиП 2.07.01-89 «Градостроительство, планировка и застройка городских территорий и сельских поселений»
34. СНиП 2.06.15.85 «Инженерная защита территории от затопления и подтопления»
35. СНиП 2.06.03-85 «Мелиоративные системы»
36. СНиП 30-02-97 «Планировка и застройка территорий садоводческих объединений граждан, зданий и сооружений»
37. СНиП 2.06.14.85 «Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод»
38. СНиП 2.01.14-83 «Определение расчетных гидрологических характеристик»
39. СНиП 2.06.01-86 «Гидротехнические сооружения. Основные положения по проектированию
40. СНиП 2.06.05-84 «Плотины из грунтовых материалов»
41. СНиП 2.01.01.-82 «Строительная климатология и геофизика»
42. Собрание законодательства Российской Федерации, М., 2006.
43. Сударенков В.В. Ландшафтная политика: наши надежды, неуспехи и предложения. //Научные основы экологии, мелиорации и эстетики ландшафтов. М., 2010, С. 9-11.
44. Теодоронский В.С., Сабо Е.Д., Фролова В.А. Строительство и эксплуатация объектов ландшафтной архитектуры. М.: Издательский центр «Академия», 2007, 352 с.
45. Трофимов и др. Грунтоведение. М: Изд-во МГУ, 2005, 1024 с.
46. Усова Н.В. Геодезия: Учебник. – М.: Архитектура-С, 2004. – 224 с.
47. Eggelsmann R. Dränanleitung. Fur Landbau, Ingenieurbau und Landschaftsbau/ Zweite, neubearbeitete und erganzte Auflage. Verlag Paul Parey. Hamburg und Berlin. 1981.
48. Kovalev I.V., Huwe B. Auswirkung von Draenagemassnahmen auf Wasser- und Stofftransport von hellgrauen gleyartigen Waldboeden im Stupinsker Bezirk bei Moskau. // Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft. Band 91. Heft 1, 1999. S. 207-210.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ЭВОЛЮЦИИ БИОСФЕРЫ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ: ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

Снакин В.В.
МГУ им. М.В. Ломоносова (Музей землеведения), г. Москва
Институт фундаментальных проблем биологии РАН, г. Пущино
snakin@mail.ru

Введение. Человечество все в большей мере ставит задачу управления природными процессами. Но при этом следует осознать, что природа представляет собой саморегулирующуюся систему с высокой степенью надежности, функционирующую по своим, не всегда нами пока понимаемым, законам. Понять эти законы, выявляемые путем анализа вековых тенденций в эволюции биосферы, – важнейшая задача, решение которой должно помочь избежать непродуманных управленческих решений, противоречащих сути эволюционных процессов. В современном обществе доминирующей является социально-политическая концепция так называемого устойчивого развития, предполагающая постоянный рост благосостояния современных людей без ущерба для будущих поколений, при сохранении здоровой окружающей природной среды.

Однако прежде, чем принимать эту концепцию, необходимо научно обосновать ответы на следующие вопросы:

- Возможно ли в принципе устойчивое развитие?
- Если возможно, то при каких условиях?
- Есть ли в мире примеры устойчивого развития?

Для ответа на эти вопросы нужно проанализировать историю развития биосферы, понять основные законы ее функционирования и эволюции.

Экология и эволюция биосферы. Эволюция биосферы – это закономерный процесс развития живой природы в сторону усложнения ее организации и прогрессивно нарастающей независимости от внешних условий [1, 11 и др.]. Эволюция биосферы, обусловленная биогеохимической работой живого вещества, в свою очередь, стимулирует и направляет эволюцию видов организмов. К сожалению, в экологии историзму, анализу закономерностей эволюции экосистем и биосферы в целом уделялось крайне малое внимание, что слишком часто позволяет манипулировать результатами краткосрочных наблюдений. «Экология практически не рассматривает эволюционные проблемы, потому из системной триады – история, структура, функция – практически выпало историческое звено» [9]. Один из первых глубоких анализов закономерностей эволюции биосферы и роли в ней человека принадлежит В.И.Вернадскому, создавшему учение о биосфере и ноосфере (рис. 1).

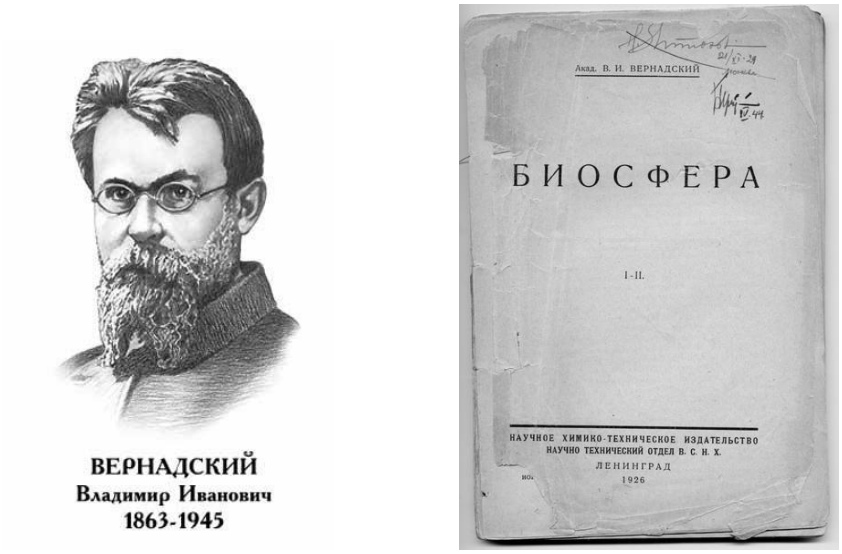


Рис. 1. В.И. Вернадский и первое издание на русском языке его книги «Биосфера» [2]

Закономерности эволюции биосферы. Вполне соглашаясь с Н.В.Тимофеевым-Ресовским, что "точный ход эволюционного процесса непредсказуем», попытаемся проанализировать основные вековые тенденции эволюции биосферы, опираясь на научное наследие В.И.Вернадского [2, 3 и др.]. Его работы до сих пор остаются чрезвычайно актуальными и, к сожалению, в полной мере пока не востребованными.

Необратимость эволюции. «Необратимость эволюционного процесса является проявлением характерного отличия живого вещества в геологической истории планеты от ее косных естественных тел и процессов» [2]. Живое вещество в свое время необратимо изменило биосферу, создав кислородную атмосферу. Все изменения, произошедшие на Земле под воздействием живых организмов, необратимы, будь-то изменение состава атмосферы, образование почвы и т.п. «В косной среде биосферы нет необратимости» [2]. Всякий доминирующий вид существенным образом изменяет облик своего местообитания. Так дуб создает особый образ дубравы, а динозавры в свое время создали неповторимые ландшафты юрского периода. Человечество также необратимо изменяет «лик Земли». Необратимость эволюции требует особой предусмотрительности в преобразующей природу деятельности.

Давление жизни. Воздействие живых организмов на окружающую среду выражается, с одной стороны, в способности организмов к размножению в геометрической прогрессии, а, с другой, – в ограниченности ресурсов среды, препятствующей полной реализации потенциала жизни. Согласно В.И.Вернадскому, живое вещество (в т.ч. человечество) естественным образом в процессе эволюции биосферы, по мере захвата жизнью всё новых местообитаний, усилило своё преобразующее давление на окружающую неживую природу и на самоё себя.

Скачкообразность эволюции. Для эволюционного процесса характерна неравномерность, неоднородность и не свойственна устойчивость.

Эволюционные всплески, рост численности и разнообразия видов неоднократно сменялись эволюционными кризисами и вымираниями. «…Эволюционный процесс совпадает в своем усилении, в своих самых больших изменениях с… критическими в истории планеты периодами…, вызванными глубокими, с точки зрения земной коры, процессами, по всей видимости, выходящими за ее пределы (усиление вулканических, орогенических, ледниковых явлений, трансгрессий моря и др.)» (Вернадский, 1967).

Ускорение эволюции. «Эволюция биосферы связана с усилением эволюционного процесса живого вещества» (Вернадский, 1967). Об ускорении эволюции свидетельствует сжатие геологических периодов развития жизни на Земле (если протерозой охватывал период 600-800 млн. лет, то кайнозой только – 56-66 млн. лет). Сжатие исторического времени отмечал и С.П.Капица (1999), анализируя периоды развития человечества (сравните длительности древнего мира, средневековья и нового времени). В ходе геологического времени мощность проявления живого вещества в биосфере постоянно увеличивается, увеличивается и давление на косное вещество биосферы, особенно с появлением человека.

В настоящее время говорится даже о сингулярности эволюции, т.е. о взрывоподобном росте скорости эволюции, при котором перестают действовать привычные законы (рис. 2). При достижении т.н. точки сингулярности скорость эволюция становится столь быстрой, что делает это состояние близким бифуркации.

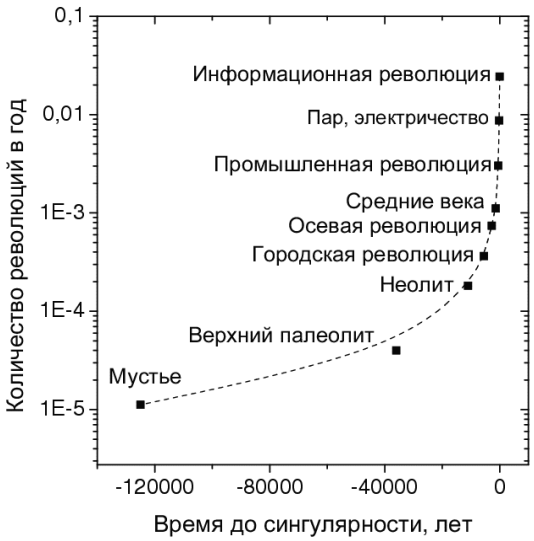


Рис. 2. Гиперболический рост скорости эволюции [12]

Показаны точки, отвечающие лишь нескольким последним фазовым переходам. По оси ординат отложено количество фазовых переходов в год, аппроксимированное как обратный промежуток между фазовыми переходами. По оси абсцисс – абсолютное время фазового перехода, отсчитанное от точки сингулярности

Смена стратегии размножения. В процессе эволюции видов происходит существенная смена стратегии размножения, что показали американские зоологи Р.МакАртур и Э.Вилсон [22]. Разработанная ими

модель может объяснить цивилизационный феномен так называемого демографического перехода. На ранних стадиях заселения территории видом доминирует высокая плодовитость при невысокой степени заботы о потомстве (r-стратегия), а по мере достижения максимальных размеров популяции плодовитость снижается, наблюдается более эффективное использование ресурсов, повышается степень заботы о потомстве, возрастает конкурентоспособность (К-стратегия).

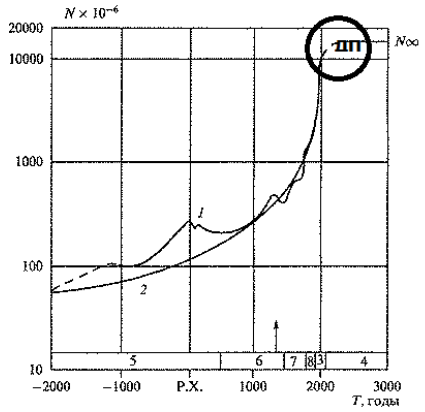


Рис. 3. Кривая роста численности человечества от 2000 г. до н.э. до 3000 года н.э. [7]: ДП – область демографического перехода

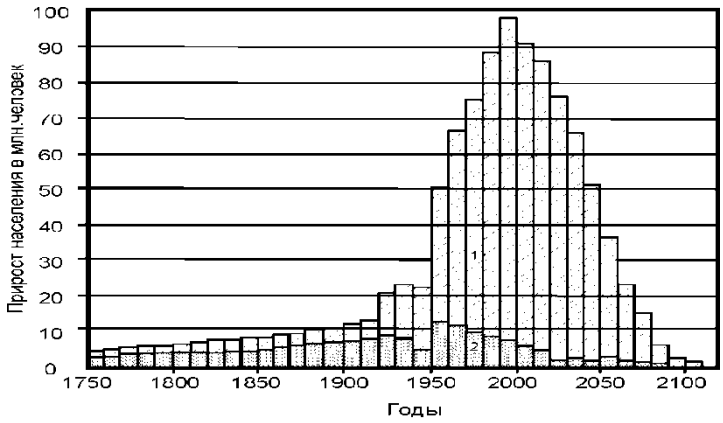


Рис. 4. Прирост населения мира, осредненный за декады с 1750 по 2100 гг. по данным ООН: 1 – развивающиеся страны; 2 – развитые страны

Демографический переход, произошедший на рубеже третьего тысячелетия, свидетельствует о возможно новом этапе эволюции. Суть его заключается в том, что прирост численности человечества стал уменьшаться в условиях материального изобилия (рис. 3 и 4). Так, ежегодный прирост мирового населения уменьшился с 1,7 % за 1987 г. до 1,1 % за 2007 г. При этом отмеченное выше давление жизни, как закономерность, видоизменяется: давление растёт не столько за счет роста народонаселения, сколько за счет колоссального растущего количества вовлекаемого в хозяйственный оборот вещества и энергии. Демографический переход обусловлен упомянутой выше сменой стратегии размножения человека

(замена r-стратегии на К-стратегию) и переносом существенной части наследственной информации с генетического уровня на социальный. Возможно, он также является реакцией на рост продолжительности жизни людей и смягчит ситуацию в случае решения в будущем геронтологических проблем.

Снижение степени конкуренции. В процессе эволюции происходит снижение конкуренции за счет дифференциации экологических ниш, более полного и эффективного использования ресурсов среды. Есть основания полагать, что саморазвитие (аутогенная эволюция) сопровождается, наряду со снижением конкуренции, снижением уровня агрессивности и жестокости и, соответственно, ростом взаимного (реципрокного) альтруизма. В человеческом обществе снижение уровня жестокости связывают также с усилиями власти и закона в этом направлении и с процессами феминизации [24]. В то же время в кризисные периоды (например, в обществах, находящихся на грани распада – Украина, Сирия) агрессивность может резко возрастать.

Возрастание независимости организмов от внешних условий. В процессе эволюции наблюдается возрастание независимости организмов от природных условий. И процесс этот происходит не столько за счет адаптации, сколько за счет преобразования условий среды организмами для своего более эффективного функционирования. «Увеличение независимости от прежних условий существования, освоение новых, более разнообразных условий (новых, более широких адаптивных зон), более широкая степень автономизации развития, возникновение все более совершенных регуляторов, все более полное овладение средой – вот возможные критерии для сравнения групп по пути неограниченного прогресса» [17].

Рост биоразнообразия, усложнение биосферы. История биосферы – это история вымирания одних видов и возникновения других. На протяжении фанерозоя обычно выделяют 5–6 великих вымираний, во время которых на Земле биологическое разнообразие быстро (в геологическом масштабе времени) и резко (исчезали до 90 % видов) снижалось. В промежутках между вымираниями биразнообразие восстанавливалось и перед очередным вымиранием превосходило свой прежний уровень. В процессе эволюции биосферы число видов возрастало, биосфера распространялась на незанятые жизнью участки, включала в орбиту своей деятельности новые вещества, а энергию солнечных лучей и химических соединений утилизировала всё более эффективно. В результате вымираний, на смену примитивным видам приходили более совершенные [8, 18]. «Для биосферы вымирания были благом, как для вида благом является смерть особи от старости. В обоих случаях отсекаются носители косной наследственной информации, сдерживающей эволюцию» [18]. Глобальные вымирания – неизбежные и необходимые составляющие эволюции, которую нельзя остановить.

Важно при этом отметить эмпирическую закономерность социальной и биологической эволюции, выраженную правилом нефункционального

разнообразия. Это правило заключается в том, что в условиях кризиса вероятность сохранения сложной системы пропорциональна накопленному в ней разнообразию, причем решающее значение приобретают те элементы, которые на прежнем этапе существования системы были задействованы в наименьшей степени [14]. Например, в раннепротерозойской эре накопление кислорода в атмосфере Земли привело к массовой гибели цианобактерий (синезелёных водорослей), и решающую роль для сохранения жизни приобрели аэробные организмы, прежде распространённые незначительно.

Рост стабильности и снижение устойчивости экосистем. В ходе аутогенного развития (саморазвития) отмечается рост стабильности экосистем и снижение их устойчивости. Самые неустойчивые – климаксные экосистемы, достигшие максимального равновесия с окружающей средой. В таких экосистемах любые существенные изменения внешних факторов ведут к гибели самых, казалось бы, стабильных конкурентоспособных видов, разрушению экосистемы и началу нового витка эволюции, приводящей к образованию новых конкурентоспособных видов на основе пионерных видов. Эта закономерность в значительной мере объясняет ситуацию со всё увеличивающимися убытками народного хозяйства от стихийных бедствий. Несомненно также, что рост экономического ущерба от стихийных бедствий связан со всё более растущей стоимостью техногенных элементов в ландшафтах.

Цефализация, развитие мысли. Процесс цефализации выявлен в форме эмпирического обобщения американским натуралистом, геологом, зоологом, палеонтологом и минералогом Джеймсом Дана (1813-1895), который «заметил, что с ходом геологического времени на нашей планете у некоторой части ее обитателей проявляется все более и более совершенный, чем тот, который существовал на ней раньше, – центральный нервный аппарат – мозг. Процесс этот, названный им энцефалозом, никогда не идет вспять, хотя и многократно останавливается, иногда на многие миллионы лет. Процесс выражается, следовательно, полярным вектором времени, направление которого не меняется» [3]. Этот процесс обеспечил появление сознания, основного инструмента трансформации биосферы в ноосферу.

Аутогенное и аллогенное развитие. Развитие систем происходит в различных условиях: 1) автономное (аутогенное, прогрессивное) развитие, или саморазвитие, когда влияние внешних факторов минимально; 2) аллогенное (или кризисное) развитие под доминирующим воздействием внешних для системы сил. На фоне целенаправленного (полярного) вектора аутогенного развития спорадически происходят кризисы (революции), резко изменяющие ход эволюции. Закономерности эволюции в этих различных условиях различны, чаще всего противоположны: при аллогенном развитии наблюдается массовое вымирание видов (преимущественно конкурентоспособных), растет уровень жестокости, уменьшается степень использования ресурсов среды, сокращается социальность. В таблице обобщены закономерности аутогенной эволюции на основании анализа ряда работ [3, 9, 10, 14 и др.].

Табл. 1. Закономерности (тенденции) изменения основных характеристик экосистемы в ходе аутогенной (прогрессивной) эволюции[4]

Энергетика экосистемы: • Возрастает биомасса (B) и количество органического детрита; • Возрастает валовая продукция (P) за счет первичной; вторичная малая изменяется; • Уменьшается чистая продукция; • Увеличивается дыхание (R); • Соотношение P/R приближается к единице (равновесию); • Соотношение P/B уменьшается; • Возрастание активной энергии единого комплекса организмов; • Происходит более интенсивное накопление энергии живым веществом в сравнении с неживой природой.
Биологический круговорот: • Круговороты элементов становятся все более замкнутыми; • Увеличивается время оборота и запас биогенных элементов; • Возрастает коэффициент цикличности (возобновление/вход).
Виды и структура сообщества: • Меняется видовой состав сообщества; • Возрастает богатство как компонент биоразнообразия; • Возрастает выравненность как компонент разнообразия; • r-стратеги в широких масштабах заменяется K-стратегами; • Усложняются и удлиняются жизненные циклы; • В значительной степени развивается симбиоз; • Конкурентное давление уменьшается.
Устойчивость экосистем: • Возрастает стабильность экосистем; • Снижается упругая устойчивость экосистем к внешнему воздействию.
Информационная компонента: • Рост интенсивности информационного обмена как за счет увеличения биоразнообразия, так и усложнения взаимосвязей между видами и компонентами среды; • Возрастание роли передачи наследственной информации на социальном уровне (культура, интернет-технологии и т.п.) в сравнении с генетическим путем; • Более высокая скорость эволюции (и информационного обмена) у медленно размножающихся видов (виолентов, сукцессионных видов) в сравнении с быстро размножающимися (пионерные виды, эксплеренты).
Общая стратегия: • Эволюция биосферы идёт скачкообразно с нарастающей скоростью и сопровождается необратимым преобразованием природной среды; • Возрастает эффективность использования энергии и биогенных элементов; • С термодинамических позиций общая направленность эволюции биосферы интерпретируется как процесс сокращения производства энтропии в открытой системе.

Эволюция биосферы – супер многофакторный процесс. Как писал известный французский физик начала XIX в. О.Френкель, создается впечатление, что природа как бы издевается над нашими аналитическими затруднениями: применяет она лишь простые средства, но их сочетание порождает почти неразрешимую путаницу (по: [16]).

Роль человека. Человек – часть природы, закономерно появившаяся в процессе эволюции биосферы. «Человек должен понять, как только научная, а не философская или религиозная концепция мира, его охватит, что он не

[4] Закономерности эволюции биосферы подробно рассмотрены в наших публикациях (Снакин, 2010, 2013, 2014).

есть случайное, независимое от окружающего – биосферы или ноосферы – свободно действующее природное явление. Он составляет неизбежное проявление большого природного процесса, закономерно длящегося в течение, по крайней мере, двух миллиардов лет» [3]. Повсеместное развитие человечеством охраны природы также является новым эволюционным элементом, не характерным для других сообществ живущих (и живших) видов, способным в существенной степени стабилизировать биосферу даже в ущерб технологическому развитию.

С антропогенным воздействием в настоящее время часто связывают глобальные изменения климата, изменения в озоновом экране планеты, деградацию почв и лесов, глобальное загрязнение природных сред и космоса. В качестве особенно негативных процессов называют необратимость происходящих в настоящее время изменений природной среды, гибель видов, повсеместное распространение ксенобиотиков, что даёт основание делать пессимистические прогнозы судьбы человечества (например, в работах Римского Клуба), говорить о наступившем экологическом кризисе и даже о начале «конца света», резко отзываться о деятельности человека и даже использовать термин «какосфера» для обозначения измененной человеком биосферы [6].

Научное знание. «Научное знание, проявляющееся как геологическая сила, создающая ноосферу, не может приводить к результатам, противоречащим тому геологическому процессу, созданием которого она является. Это не случайное явление – корни его чрезвычайно глубоки» [3]. Повсеместно имеющие место негативные явления (загрязнение среды, замусоривание, бессмысленное уничтожение живых организмов и т.п.) демонстрируют атавизмы человеческого сознания, присущие нашим далёким предкам. При этом «**главный враг знания** – не невежество, а иллюзия знания» [20]. Незнание, а еще хуже, иллюзия знания у лиц, принимающих решения[5], приводит к сомнительным концепциям типа концепции глобального потепления в результате антропогенной деятельности или образования «озоновых дыр» вследствие воздействия фреонов. Ложная концепция порождает ложные усилия, обходящиеся налогоплательщикам в миллиарды долларов.

Вполне естественно, что под воздействием человека происходят необратимые изменения в биосфере. Но также несомненно, что степень проявления негативных факторов воздействия на природу в относительном выражении со временем уменьшается. Важную роль в таком уменьшении играют развитие научных основ восстановления природы, например, в рамках конструктивной экологии и экологии природовозрождения, а также деятельность по оздоровлению природы и человека, по созданию высокопродуктивных агросистем.

Непрерывно протекающие дестабилизирующие развитие биосферы и

[5] Конечно, в этих вопросах значительное место занимает манипуляция научными результатами с целью получения экономических и иных преференций.

цивилизации космические и геологические процессы в совокупности с циклическими процессами самой различной природы и длительности делают картину эволюции биосферы весьма сложной и многогранной. Глобальные потепления сменяются периодами глобального похолодания, пульсирует озоновый слой планеты, появляются и исчезают биологические виды, каждый из которых пытается изменить окружающую среду в соответствии со своими предпочтениями, в то время как силы природы и окружающая биота препятствуют этим изменениям.

Человек, достигший среди биологических видов максимальной преобразующей способности на природные процессы, обладающий уникальным даром природы – разумом, естественно, должен соответствовать этому дару и продумывать последствия своих преобразований. Но продумывать и воздействовать в соответствии с вековыми законами природы и в соответствии с главной целью своего существования – сохранить жизнь на нашей планете и распространить ее во Вселенную, учитывая, что Земля не вечна.

Скорость эволюции и её направление во многом заданы самой природой, а в чем-то зависят от нас, как части природы. От того, насколько чётко и научно обоснованно будут решаться встающие перед человечеством экологические, ресурсные, биомедицинские, социально-экономические проблемы; насколько мы научимся контролировать последствия собственной деятельности, а, в дальнейшем, и минимизировать природой обусловленные кризисы, зависит будущее нашей цивилизации и время, необходимое для перехода биосферы в состояние ноосферы.

Концепция устойчивого развития: за и против. Устойчивое развитие – концепция политологов, лишенная научной основы, тем не менее, широко распространившаяся. С одной стороны, она поддерживает идеальную мечту человечества о постоянном улучшении качества жизни при условии практически нерасходования природных ресурсов (воспринимая природу как некую неиссякаемую кладовую, «скатерть-самобранку»).

С другой, по сути, концепция оказалась бесполезной, поскольку, несмотря на её тридцатилетнее доминирование в политике (и экологии), не удалось избежать (и даже предугадать) наступление современного мирового кризиса. Концепция так называемого устойчивого развития противоречит основным рассмотренным выше законам эволюции. История не даёт нам примеров устойчивого развития ни одной страны мира. Войны, депрессии, политические кризисы, перевороты – реальные черты реальной эволюции. А устойчивое развитие, или самоподдерживающее развитие, особенно без научной основы, – благое пожелание, исторический миф.

В качестве примера пагубности целей, ориентированных на «сытую жизнь», можно привести результата опытов Джона Кэлхуна (рис. 5) по созданию так называемого «мышиного рая» [21, 19]. При этом учёный считал, что не существует логических причин, по которым наблюдаемые в экспериментах социальные эффекты не могут произойти в человеческом обществе. В своих исследованиях он ввел понятие «поведенческая клоака»

(англ. Behavioral sink), описывающее усугубление и распространение отклоняющихся, патологических форм поведения мышей в условиях избытка ресурсов и высокой плотности.

Один из наиболее наглядных опытов Кэлхуна (названный «Вселенная 25», поскольку проводился в 25 раз) выглядел следующим образом. В июле 1968 г. в спецзагон, рассчитанный на ~ 4000 мышей были помещены 4 пары здоровых мышей. Внутри загона поддерживалась постоянная комфортная для мышей температура (+20 °C), присутствовала в изобилии еда и вода, созданы многочисленные гнезда для самок. Каждую неделю загон очищался и поддерживался в постоянной чистоте, были предприняты все необходимые меры безопасности: исключалось появление хищников или возникновение массовых инфекций. Подопытные мыши были под постоянным контролем ветеринаров, состояние их здоровья постоянно отслеживалось. Система обеспечения кормом и водой была настолько продумана, что 9500 мышей могли бы одновременно питаться, не испытывая никакого дискомфорта, и 6144 мышей потреблять воду, также не испытывая никаких проблем. На практике рост численности популяции остановился на максимальном значении 2200 особей и затем численность сокращалась. В период стабилизации агрессивность самок повысилась и часто была направлена на потомство, матери не ухаживали за мышатами; среди молодых самцов также проявлялось девиантное поведение: пассивность либо чрезмерная агрессивность, пансексуальность и гомосексуальность, каннибализм. Возросла группа «самцов-красавцев», не вступавших в борьбу за самок и территорию, только питающихся и чистивших свою шёрстку, отчего их внешний вид был великолепен. На последней стадии существования «мышиного рая» средний возраст мышей составил 776 дней, что на 200 дней превышает верхнюю границу репродуктивного возраста, смертность молодняка составила 100 %, количество беременностей было незначительным, а вскоре снизилось до нуля. К июню 1972 г. в загоне оставалось лишь 122 мыши (100 самок и 22 самца) вне репродуктивного возраста, и опыт был завершён ввиду очевидности гибели подопытной популяции.

Примером неразумности подавления негативных природных процессов без учета механизма природных процессов является попытка предотвращения лесных пожаров в Йосемитском национальном парке (США) в конце прошлого века. Десятилетняя на высочайшем современном уровне противопожарная работа привела к тому, что накопившаяся за эти годы мертвая растительная масса при наступлении сухой погоды вспыхнула в один миг, и пожар оказался намного сильнее обычного. Для снижения ущерба от пожаров и для воспроизводства лесов руководство национального парка в настоящее время имитирует природные пожары.

Рис. 5. Джон Би Кэлхун (John B. Calhoun, 1917-1995) – американский этолог и исследователь психологии популяций, получивший известность благодаря своим опытам с сообществами грызунов – мышей и крыс

Развитие и устойчивость. Жизнь есть развитие. Навязанная извне стабильность систем противостоит развитию, способствует накоплению проблем, а в дальнейшем может привести к еще большему кризису. На наш взгляд, следует признать концепцию устойчивого развития в полной мере исчерпавшей себя и начать разработку новой концепции, основанной на историзме, на глубинном понимании законов развития биосферы и общества. При этом одним из важных этических принципов взаимоотношения человечества и природы может стать развиваемый многими религиями, в т.ч. в христианстве, принцип минимизации (самоограничения) потребностей человека.

Экологический алармизм: за и против. Для распространившегося, особенно после работ Римского клуба, алармизма нет достаточных оснований в глобальном смысле. Прогнозируемые алармистами беды, как правило, не оправдываются: уровень жизни растёт, растёт продолжительность жизни, растет урожайность агросистем, в целом растет качество жизни человека. В значительной степени алармизм полезен в этическом отношении, в воспитательном аспекте («мы за всё в ответе»), как призыв к разумному отношению к природе. В то же время в существующем виде он вызывает негативные настроения в обществе, часто ведёт к экологическому нигилизму. Необоснованное преувеличение роли человечества в кризисных явлениях приводит не только к негативным эмоциям, но снижает интерес к экологической проблематике в обществе. Алармизм также отвлекает от главной задачи – обеспечить безопасность человечества от превосходящих сил природы. Гораздо важнее знать и предвидеть реальную ситуацию, реальные процессы и тенденции. Без этого огромные средства, затрачиваемые на охрану природы, не принесут желаемых результатов. Особенно неконструктивны прогнозы о неминуемой гибели человечества и даже биосферы.

Неприятие не обоснованного алармизма вовсе не означает призыв покорять природу любой ценой. Очевидно, что экологическая ситуация во многих регионах Земли существенно ухудшена человеком. Слишком часто мы становимся свидетелями по сути региональных и локальных экологических катастроф в силу ошибочных действий человека. Для предотвращения глобальных катастроф необходимо, чтобы деятельность по восстановлению ландшафтов, деградированных по вине человека или в результате техногенных аварий, приобретала всё более расширяющиеся масштабы. Необходимо продолжать обширные мероприятия по охране и восстановлению экосистем (расширение охраняемых природных территорий, ведение Красных книг и др.). Важно развивать научные основы этой деятельности в рамках экологии природовозрождения [5].

Заключение. В целом проведенный нами ранее анализ современных глобальных экологических процессов с позиции эволюционизма позволяет утверждать, что, несмотря на значительное воздействие человека на биосферу, нет достаточных оснований утверждать, что сегодняшнее состояние взаимодействия биосферы и техносферы в глобальном масштабе описывается закономерностями кризисного развития [15]. К сожалению, в этом отношении для более убедительного анализа еще не всегда хватает достаточного экспериментального научного материала. Чтобы иметь возможность понять причину происходящих природных процессов и предсказать их изменения в результате тех или иных антропогенных воздействий, необходимо расширять изучение фундаментальных основ экологии, углубляя наши знания о тонких механизмах функционирования экосистем.

Что же касается активно обсуждаемых в современном обществе глобальных проблем, в частности, проблемы глобального потепления, то следует, наконец, признать, что это следствие циклических изменений климата, имеющих естественную природу, и что теория так называемого парникового эффекта не имеет научного обоснования, как, впрочем, и заключенный на ее основе Киотский протокол [4, 23 и др.].

Природные глобальные процессы имеют циклический характер и нет оснований утверждать, что роль человека в них в настоящее время носит определяющий и глобально негативный характер. Человек, как и всякий доминирующий в системе вид, изменяет её, приспосабливает соответственно своим природным (а других нет[6]) потребностям. И это происходит в рамках аутогенного развития (саморазвития). В этом смысле антропогенный фактор в биосфере нельзя рассматривать как чужеродный (аллогенный) фактор, ибо человек сам есть часть природы, пусть и очень мощная. При всей кажущейся бессмысленности природных катастроф и социальных потрясений (войны, эпидемии, революции) и их трагичности для огромной массы людей, эти потрясения определяют направления дальнейшего развития,

[6] Даже стремление человека выйти на космический уровень – всего лишь проявление феномена «давления жизни».

обеспечивающего лучшее будущее для последующих поколений.

Для того, чтобы осознание необходимости самоограничения потребностей вошло «в плоть и кровь» современного человека и, особенно, наших потомков, необходимо расширять экологическое образование, внедрять экологическое мировоззрение как в средней, так и в высшей школе. К сожалению, пока в России наблюдается обратная картина.

В связи с затронутой темой весьма современно звучит замечательное высказывание В.И.Вернадского [3]: «В настоящее время под влиянием окружающих ужасов жизни наряду с небывалым расцветом научной мысли, приходится слышать о приближении варварства, о крушении цивилизации, о самоистреблении человечества. Мне представляются эти настроения и эти суждения следствием недостаточно глубокого проникновения в окружающее. Не вошла еще в жизнь научная мысль…».

Литература

1. Бауэр Э.С. Теоретическая биология. М.–Л.: ВИЭМ, 1935. 206 с.
2. Вернадский В.И. Биосфера. М.: Мысль, 1967. 367 с.
3. Вернадский В.И. Научная мысль как планетное явление. М., 1991. 270 с.
4. Глобальные экологические процессы: Материалы Международной научной конференции / Под ред. В.В. Снакина. М.: Academia, 2012. 488 с.
5. Дёжкин В.В., Снакин В.В., Попова Л.В. Экология природовозрождения // Использование и охрана природных ресурсов России. 2007. № 4. С. 3-11.
6. Заварзин Г.А. Какосфера. Философия и публицистика. М.: Ruthenica, 2011. 460 с.
7. Капица С.П. Общая теория роста человечества: Сколько людей жило, живёт и будет жить на Земле. М.: Наука, 1999. 190 с.
8. Колчинский Э. И. Эволюция биосферы. Л.: Наука, 1990. 236 с.
9. Красилов В.А. Охрана природы: принципы, проблемы, приоритеты. М.: ВНИИприрода, 1992. 173 с.
10. Любищев А.А. В письме Холодному Н.Г. 1950. Цит. по: Шрейдер Ю.А., Мейен С.В., Соколов Б.С. Классическая и неклассическая биология. Феномен Любищева // Вестник РАН. 1977. С. 112.
11. Одум Ю. Экология. В 2 томах. М.: Мир, 1986. Т. I. 328 с., Т. 2. 376 с.
12. Панов А.Д. Единство социально-биологической эволюции и предел ее ускорения // Историческая психология и социология истории. 2008. № 2. С. 25-48.
13. Снакин В.В. Глобальные тенденции в эволюции биосферы // Век глобализации. 2014. № 2. С. 3-13.
14. Снакин В.В. Глобальные экологические процессы и эволюция биосферы: Энциклопедический словарь. М.: Academia, 2013. 784 с.
15. Снакин В.В. Глобальный экологический кризис: ресурсный и эволюционный аспекты // Век глобализации. 2010. № 2. С. 105-114.
16. Сорохтин О.Г., Ушаков С.А. Развитие Земли. М.: Изд-во МГУ, 2002. 506 с.
17. Тимофеев-Ресовскй Н.В., Воронцов Н.Н., Яблоков А.В. Краткий очерк теории эволюции. М.: Наука, 1977. 302 с.

18. Федонкин М.А. Биосфера: четвертое измерение // Природа. 1991. № 9. С. 10-18.

19. Хок Р. 40 исследований, которые потрясли психологию. Прайм-ЕВРОЗНАК, 2003. 416 с.

20. Хокинг С. Краткая история времени. СПБ.: Амфора, 2005. 268 с.

21. Calhoun, John. Death Squared: The Explosive Growth and Demise of a Mouse Population // Proc. roy. Soc. Med. 1973. Vol. 66, № 2. P. 80-88.

22. MacArthur R., Wilson E.O. The theory of island biogeography. Prinston (New Jersey): Prinston Unever. Press., 1967. 203 pp.

23. Miatello, A. Refutation of the “Greenhouse Effect”. Theory on a Thermodynamic and Hydrostatic basis. Principa Scientific International, 2012 (http://principia-scientific.org/publications/PSI_Miatello_Refutation_GHE.pdf)

24. Pinker S. The Better Angels of Our Nature: Why Violence Has Declined. Viking, 2011. 832 pp.

БИОГЕОХИМИЯ ЛИГНИНА В ПОЧВАХ

Ковалев И.В.
Факультет почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова, г. Москва
kovalevmsu@mail.ru

Введение. Одной из планетарных функций почв является функция поддержания состояния динамического равновесия в системе пулов и потоков органического вещества в биосфре. Ее основой служат процессы превращения органического вещества в гумус почв. А наиболее устойчивым к биохимическому разложению соединением, которое выводит углерод из кругооборота на значительные периоды времени, служит лигнин.

Действительно, лигнин – наиболее распространенное в природе фенольное соединение растительного происхождения. Лигноцеллюлозы составляют от 70 до 90 % сухого веса растительных тканей (лигнин заполняет промежутки между рядами целлюлозы, и, в свою очередь, пропитан гемицеллюлозой). При этом наибольшие количества лигнина содержат древесные растения: 18-25 % биомассы древесины составляет лигнин лиственных пород, 25-33 % – лигнин хвойных, в то время, как травы содержат около 4-9 % лигнина [40]. Однако сведений о селективной аккумуляции или деградации лигниновых фенолов в почвах до сих пор нет.

Лигнин – аморфное вещество от светло-кремового до темно-коричневого цвета (в зависимости от способа выделения); молекулярная масса от 1 до 150 тыс., плотность 1,25-1,45 г/см^3. Особенностью структуры лигнина является его склонность к реакциям конденсации за счет образования устойчивых С-С связей. Это свойство лигнина выделяет его среди других природных полимеров и во многом определяет его поведение в биохимических процессах.

Лигнины характеризуются чрезвычайной сложностью химической структуры, неоднородностью мономерного состава и типов межмономерных связей [29, 31, 3, 45, 28 и др.]. Комплексная ароматическая структура и гидрофобные свойства лигнина, а также его высокая биохимическая стабильность, предопределяют уникальную роль этого биополимера в процессах гумификации и планетарном круговороте углерода.

Еще в начале прошлого столетия работами С.А.Ваксмана [5] было показано, что поступающий с растительным опадом устойчивый к микробному разложению пул лигниновых фенолов должен рассматриваться в качестве основного прогуминового вещества в почвах. Неуклонное развитие методов тонкой биохимии почв и использование нанотехнологий в почвенных исследованиях дают возможность взглянуть по-новому на устоявшиеся научные парадигмы, в том числе на теорию гумусообразования. Нарастает количество работ, в которых ставится под сомнение конденсационно-полимеризационная модель образования гуминовых кислот [32, 27, 1, 6, 46, 43, 44, 30 и др.], выдвигается концепция физического закрепления продуктов метаболизма биоты (органических соединений

индивидуальной природы) в почвенной матрице [41]. Научное пространство занимает новая концепция молекулярной организации гуминовых веществ, основанная на базовых представлениях супрамолекулярной химии. Но, как и существующая парадигма Тюрина И.В., Кононовой М.М., Орлова Д.С. и др. о формировании гуминовых кислот и фульвокислот, так и новая супрамолекулярная концепция об образовании ассоциатов, оставляют без должного внимания вопрос о происхождении основных ароматических фрагментов гуминовых веществ и механизмах их дальнейшей трансформации в почвах. В результате недостаточно изученным остается один из самых распространенных в биосфере биополимер, поступающий в почву с надземной и подземной биомассой растений, уникальный феномен природы – лигнин.

На наш взгляд, из-за недостаточной изученности лигнина (лигниновых фенолов), современные взгляды на пути гумусообразования и механизмы стабилизации органического вещества столь противоречивы [16, 17]. Отсутствует единая методика и не разработана методология изучения лигнина в почвах, обусловленная трудностью его биохимической диагностики в почвенных объектах. Нуждаются в исследовании пути и механизмы трансформации лигнина (лигниновых фенолов) в системе «растение – почва» в разных биоклиматических зонах и ландшафтах (автоморфных, гидроморфных, равнинных, горных и т.д.). Отдельного рассмотрения требует изучение путей биотрансформации лигнина, распределения и стабилизации продуктов его окисления в почвах.

Объекты и методы исследования. Объектами исследования стали экосистемы разных природных зон:

- хвойные евразийские леса из сосны, лиственницы, кедра, ели, пихты (образцы предоставлены профессором W.Zech),
- южнотаежные мелколиственные березово-осиновые леса и агроэкосистемы, в том числе и осушенные, Московской области,
- дубово-липовые широколиственные леса («Тульские засеки») на серых почвах,
- березовые колки лесостепи и агроэкосистемы Брянской области на агросерых почвах,
- травянистые экосистемы Ставропольского плато на типичных черноземах,
- тропический лес Амазонии на красноземах (Бразилия),
- экосистемы вертикальных природных зон аридного типа (Тянь-Шаня): степь на горных черноземах, можжевеловое редколесье на горных коричневых почвах, орехово-плодовый лес на горных черно-коричневых почвах, сосновый лес и субальпийский луг на горных черноземовидных и горнолуговых субальпийских почвах и альпийский луг на горно-луговых альпийских почвах (Ковалева, 2009),
- экосистемы вертикальных природных зон гумидного типа (Северный Кавказ): степной пояс горных черноземов, буково-грабово-каштановые леса на бурых лесных почвах, субальпийские луга на горно-

луговых субальпийских почвах, альпийские луга с горнолуговыми альпийскими почвами [19].

Методы определения лигнина (VSC, продукты окисления лигнина). Результаты, получаемые общепринятыми методами выделения лигнина (Классон-лигнин, «остаточный лигнин») и другими методами, например, выделение диоксан – «лигнина» по Бамбалову Н.Н. [2], слишком грубы даже для растительных материалов и чрезвычайно завышены для образцов подстилки и почвы, благодаря помехам гумусового материала, а также из-за образования смолистых продуктов конденсации в результате гидролиза сильными кислотами. Широко используемая реакция окисления нитробензолом сопровождается появлением значительного количества побочных продуктов, которые мешают определению лигнина при небольших концентрациях последнего, например в минеральных горизонтах.

Поэтому была использована методика И.Ертеля и И.Хеджеса [35] в приведенной ниже модификации В.Амелунга [33]. Определение лигнина (лигниновых фенолов) в почвах включало мягкое щелочное окисление органического вещества в образце оксидом меди при 170^0 под давлением в азотной среде; осаждение гуминовых кислот; концентрацию фенольных продуктов под давлением на компактных одноразовых колонках C_{18}. Колонки, после того как через них пропустили образец, высушивались, а лигнин растворялся в этилацетате. Процедура эвапорирования этилацетата на ротаторном эвапорататоре (испарителе) позволила выделить собственно препараты лигнина. Составляющие лигнин фенолы разделялись на газо-жидкостном хроматографе после предварительной дериватизации и превращения их в триметилсилиловые эфиры. На газовом хроматографе с масс-спектрометром Hewlett-Packard Palo Alto CA USA они разделялись на пламенно-ионизационном детекторе, оборудованном капиллярной колонкой. В качестве основного и маркирующего газа служил азот. Температура инъектора – $+250^0$, детектора – $+300^0$. Индивидуальные продукты реакции: ванилин, сиреневый альдегид, ванилиновая, сиреневая, п-кумаровая и феруловая кислоты – идентифицированы путем сравнения времени удерживания и пиков с известными компонентами и количествами, используемыми в качестве внешних стандартов. Использовались следующие стандарты: 6,040 мин – фенил-уксусная кислота, 8,069 мин – ванилин (4-гидрокси-3-метоксибензальдегид), 8,518 мин – этилванилин, 9,321 мин – сирингиловый альдегид (3,5-диметокси-4-бензальдегид), 9,626 мин – ванилиновая кислота (4-гидрокси-3-метоксибензольная кислота), 10,538 мин – сирингиловая кислота (3,5-диметокси-4-гидроксибензольная кислота), 10,840 мин – п-кумаровая кислота (4-гидроксициннамиловая кислота), 11,981 мин – феруловая кислота (4-гидрокси-3-метоксициннамиловая кислота).

Площади пиков интегрируются и окончательные результаты представляются в мг/г углерода. Несмотря на то, что чувствительность описанного метода очень высока – позволяет определять микроколичества фенолов, потери продуктов разложения лигнина в процессе анализа

значительны – до 50 %. Для повышения воспроизводимости результатов анализа в почвенные пробы перед щелочным окислением добавлялась глюкоза в качестве катализатора окисления, а в качестве внутреннего стандарта – этилванилин. В качестве второго внутреннего стандарта за воспроизводимостью этилванилина перед дериватизацией в пробы добавлялась фенилуксусная кислота. Воспроизводимость повышается до 95 % [33, 11, 15]. Щелочное окисление материала сосудистых растений и их остатков в почве оксидом меди дает 11 фенолов [35,], которые могут быть сгруппированы по их химической природе в 4 структурных семейства: ванилиновые или гваяциловые (V), сирингиловые или сиреневые (S), п-кумаровые (C) и феруловые фенолы (F). Первые три типа фенолов встречаются в смешанных продуктах окисления тканей растений в виде альдегидов (al), кетонов и кислот (ac), в то время как феруловые фенолы имеют только кислотные формы (если они не упоминаются отдельно, то обычно их учитывают вместе с кумаровыми под индексом «C»). Важно подчеркнуть, что продукты мягкого окисления лигнина – это лишь метелированные лигниновые структуры без каких-либо изменений в кольцевых фрагментах [38]. Полученная в результате окисления лигнина смесь фенолов лучше всего описывается параметрами, которые представляют различные весовые комбинации ее участников. Сумма продуктов окисления (VSC), таким образом, отражает общее содержание лигнина в образце.

Таким образом, апробированная методика мягкого щелочного окисления органического вещества оксидом меди в азотной среде с последующим использованием хроматографии тонкого слоя является наиболее перспективной для анализа содержания и состава лигнина в объектах наземных экосистем: не только в тканях растений, но и в дневных и погребенных почвах, включая минеральные малогумусные горизонты, в конкреционных новообразованиях, препаратах гуминовых кислот, гранулометрических фракциях почв. В образцах почв перечисленных объектов определялся углерод, азот и сера на CNS-анализаторе VARIO EL, Elementar GmbH, Hanau. Также были использованы методы: ^{13}C, ^{31}P ЯМР-спектроскопия, радиоуглеродное датирование почв, изотопный анализ и др.

Результаты. Лигнин (лигниновые фенолы, VSC) в тканях растений. Очевидно, что скорость и характер трансформации лигнина в почвах определяются не только биохимическими условиями гумусообразования, но и типом растительных тканей, анатомической структурой источника этого биополимера. Разные типы растительных тканей (голосеменные и покрытосеменные, древесные и недревесные, надземные и подземные) имеют контрастные «лигниновые параметры». Подтверждены существующие закономерности и обнаружены три известных типа лигнина. Во-первых, лигнин хвойных растений (мягкий древесный лигнин) содержит ванилиновые (гваяциловые) фенолы в качестве основной структурной единицы – до 60 мг $г^{-1}$ $C_{орг}$ можжевельника и до 80 мг $г^{-1}$ $C_{орг}$ – в опаде пихты. Сиреневые и цинамиловые кислоты и альдегиды в хвое практически

отсутствуют и отношение S/V=0. Впервые установлен химический состав лигнина из тканей можжевельника. Соотношение VSC в нем составило – 41:1:2 (табл. 1).

Табл. 1. «Лигниновые параметры» тканей хвойных растений, мг $г^{-1}С_{орг.}$

Вид растительной ткани	N, % к сухому веществу	Лигнин (VSC), мг $г^{-1}С_{орг.}$	V	S	C	S/V	C/V	K/F	V:S:C
			мг $г^{-1}С_{орг.}$						
Ткани хвойных растений									
Сосна:									
хвоя	1.34	27.70	20.40	0	7.30	0	0.36	1.55	3:0:1
корни	0.92	40.80	36.95	2.17	1.68	0.06	0.05	0	22:1:1
опад	1.25	12.33	7.07	0	5.26	0	0.74	0	1:0:1
Ель									
Опад хвои	1.49	9.42	4.87	2.19	2.36	0.45	0.49	0.86	2:1:1
Можжевельник:									
хвоя	1.26	6.98	2.24	1.46	3.28	0.65	1.46	0.74	1:1:2
древесина	0.37	23.01	12.96	5.38	4.67	0.42	0.36	0.26	2:1:1
корни	0.75	66.88	62.40	1.43	3.05	0	0	0.11	41:1:2
опад	1.65	23.20	17.03	2.87	3.30	0.19	0.22	0.30	5:1:1
Пихта									
Опад	1.44	81.33	52.77	10.46	18.10	0.13	0.34	1.28	5:1:2

Во-вторых, лигнин лиственных деревьев (тяжелый древесный лигнин), преимущественно состоит из примерно равного количества ванилиновых (гваяциловых) и сирингиловых (сиреневых) структур (табл. 2).

При этом лигнин тканей лиственных пород горных лесов Кавказа (бук, каштан), почти не отличается от лигнина листвы пород умеренного пояса и орехово-плодового горного леса Тянь-Шаня и содержит действительно близкие количества ванилиновых и сирингиловых фенолов. Содержание циннамиловых (n-кумариловых) фенолов близко к 0. В мелколиственных породах умеренного пояса композиционные соотношения – 4:4:1 2:1:1, а в тканях широколиственных растений 8:2:1. Отсутствие кумаровых и феруловых фенолов и нехарактерные для широколиственных пород следовые количества сиреневого альдегида обнаруживает опад тропических древесных растений Амазонии. П-кумаровые кислоты отсутствуют и в древесине хвойных растений – сосны и можжевельника.

Третий тип лигнина – это лигнин травянистых растений, которым присуще наибольшее количество циннамиловых структурных единиц: их содержание в степных и луговых злаках и разнотравья возрастает до 20-30 мг/г углерода, что в 4-6 раз больше, чем у древесных растений (табл. 3). Феруловые кислоты ассоциированы, главным образом, с гемицеллюлозами в клеточных стенках волокон злаков. Количество последних достигает 20-40 мг $г^{-1}$ $С_{орг}$ в надземной фитомассе.

Табл. 2. Лигниновые параметры тканей лиственных древесных растений, мг $г^{-1}С_{орг.}$

Вид растительной ткани	N, % к сухому веществу	Лигнин (VSC), мг $г^{-1}С_{орг.}$	V	S	C	S/V	C/V	K/F	V:S:C
			мг $г^{-1}С_{орг.}$						
Ткани лиственных древесных растений									
Береза: опад	0.32	24.54	8.84	12.58	3.12	1.42	0.35	0	3:4:1
Бук, граб, каштан: Опад	1.23	10.41	5.41	4.16	0.84	0.77	0.16	0.95	6:5:1
Грецкий орех, яблоня: Опад	0.98	10.18	6.50	2.99	0.69	0.46	0.11	0.44	9:4:1
Осина: Опад	0.23	9.34	3.60	5.20	0.54	1.44	0.15	2.33	7:9:1
Опад тропических растений:									
Плодовые деревья		9.70	6.50	2.99	0.69	0.46	0.11		9:4:1
Производственные породы		8.54	4.69	3.28	0.57	0.70	0.12		8:6:1
Растения джунглей		9.13	6.94	1.63	0.86	0.23	0.12		8:2:1

Табл. 3. «Лигниновые параметры» тканей травянистых растений

Вид растительной ткани	N, % к сух. в.	Лигнин (VSC), мг/г $С_{орг.}$	V	S	C	S/V	C/V	K/F	V:S:C
			мг $г^{-1}С_{орг.}$						
Ткани злаков									
Степь: надземная фитомасса	1.85	42.09	5.26	5.61	31.22	1.02	5.20	0.50	1:1:6
Субальпийский луг:									
надземная фитомасса	1.91	39.43	8.59	8.63	22.21	1.00	2.58	0.47	1:1:3
корни: 0-30 см	1.21	45.84	10.52	14.12	21.20	1.34	2.02	1.21	1:1:2
30-60 см	0.78	48.72	11.73	15.80	21.19	1.35	1.82	1.09	1:1:2
Ткани разнотравья									
Степь: надземная фитомасса	1.62	25.00	9.91	11.08	4.01	1.12	0.40	0.09	2:3:1
Субальпийский луг:									
надземная фитомасса	2.05	19.44	6.45	8.03	4.96	1.25	0.77	0.87	1:2:1
корни: 0-30 см	0.94	19.17	4.14	6.89	8.14	1.66	1.97	0.28	1:2:2
Альпийский луг:									
надземная фитомасса	2.07	35.90	5.79	10.46	19.65	1.81	3.39	0.91	1:2:3
корни: 0-30 см	1.11	72.02	10.05	25.21	36.76	2.51	3.66	0.55	1:2:4
30-60 см	1.48	48.48	8.48	17.29	22.71	2.04	2.68	0.55	1:2:3

Таким образом, полученные данные не противоречат известным закономерностям формирования обсуждаемого биополимера в природе [29] и подтверждают существование 3-х групп источников лигнина в почве: 1) хвоя и древесина хвойных с ванилиновыми (гваяциловыми) фенолами в качестве основной структурной единицы; 2) недревесные ткани лиственных деревьев, состоящие из ванилиновых и сирингиловых фенолов; 3) травы, представляющие не только ванилиновые (гваяциловые) и сирингиловые, но и кумаровые и феруловые фенолы, последние при этом преимущественно сосредоточены в тканях злаков. Окисление и хроматографическое разделение биополимеров лигнина на простые фенолы позволяет получить

информацию о типах растительных тканей. Кроме того, параметр S/V может использоваться для разделения тканей голо- и покрытосеменных растений, а параметр C/V может быть использован для разделения органического вещества древесного и недревесного происхождения. Тип растительных тканей изначально создает неравные условия для превращения ароматических компонентов растительного происхождения в ароматические соединения почв.

Итак, сравнительное изучение накопления лигнина в живой фитомассе и опаде растений позволяет заключить, что в экосистемах хвойных лесов на поверхность почвы поступает в 2 раза больше лигнина, чем в широколиственных лесах. Максимальная величина содержания и запасов лигнина обнаружена в ветоши субальпийского (0,15 кг/га) и альпийского лугов (0,39 кг/га), роль которых в формировании резервуаров углерода обычно не рассматривается вовсе.

Лигнин (VSC) в подстилках. Выделение продуктов окисления лигнина из подстилок разных типов растительных ассоциаций показало, что различия лигниновых параметров в них менее контрастны, чем в тканях растений, а содержание лигнина значительно ниже по сравнению с живыми растительными тканями. Минимальное содержание лигнина характерно для горизонтов F и H лесных подстилок елового (3,06 мг/г углерода), кедрового (3,08 мг/г углерода) [22], осинового (4 мг/100 г почвы) и букового (6,5 мг/100 г почвы) лесов. Максимальные запасы лигнина обнаружены в высокогорных экосистемах можжевелового редколесья (491 мг/100 г почвы) и пихтового леса (186 мг/100 г почвы). Орехово-плодовые леса (53 мг/100 г) и сосновый лес (42 мг/100 г почвы) отличаются средним содержанием лигнина в подстилках. Хотя композиционно подстилки повторяют характерные для живых тканей закономерности: подстилки хвойных пород характеризуются накоплением ванилиновых (гваяциловых) фенолов – до 33 мг $г^{-1}$ $С_{орг.}$ под кроной можжевельника, – и сохраняют тенденцию к меньшему содержанию сирингиловых и кумариловых структур (табл. 4). Подстилки лиственных пород имеют примерно равные соотношения ванилиновых и сирингиловых фенолов и меньшее по сравнению с кумаровыми количество феруловых кислот (V:S:C – 4:4:1; 2:1:1) (табл. 4). Значительное уменьшение продуктов окисления лигнина (VSC) характерно для буково-грабово-каштанового опада с 10,4 до 2,16 мг/г углерода; опада в берёзовой роще с 24,5 до 10,9 мг/г углерода; в осиновой роще – с 9,3 до 1,6 мг/г углерода.

В то же время слои войлока и ветоши травянистых растений демонстрируют отчетливое накопление циннамиловых фенолов и, особенно, феруловых кислот (параметр K/F < 1), а в слоях ветоши это ярко выражено – до 21,2 мг/г $С_{орг.}$ (табл. 5).

Таким образом, природа растительных тканей в горизонтах подстилок отчетливо диагностируется.

Табл. 4. «Лигниновые параметры» горизонтов лесных подстилок хвойных пород

Лесная подстилка	VSC, мг г $^{-1}$ $C_{орг.}$	V	S	C	V:S:C	S/V	C/V	C/F
Ель Сосна Кедр Лиственница	3.06	1.24	1.14	0.68	2:1:1	0.92	0.55	0
	13.70	6.77	3.73	3.19	2:1:1	0.55	1.47	1.13
	3.08	1.47	0	1.11	1:0:1	0	0.83	0.70
	9.71	3.75	2.15	3.22	2:1:1	0.73	0.86	0.66
Пихта	5.77	3.45	1.57	0.75	5:2:1	0.46	0.22	0
Тропический лес	7.79	3.94	3.78	0.22	1:1:0	0.96	0.06	0.44
Можжевеловая: под кроной на поляне	 62.56 12.86	 32.7 5.70	 18.83 5.72	 11.06 1.64	 3:2:1 4:4:1	 0.58 1.00	 0.32 0.29	 0.68 0.70

Табл. 5. «Лигниновые параметры» горизонтов лесных подстилок лиственных пород, войлока и ветоши травянистых экосистем

Подстилка, ветошь	Лигнин мг г $^{-1}$ $C_{орг.}$	V	S	C	S/V	C/V	K/F	V:S:C	N, % к сухому веществу
Подстилки лиственных пород									
Орехово-плодовый Буково-грабово-каштановый	9.10 2.16	4.33 0.71	3.74 0.73	1.03 0.17	0.86 0.58	0.24 0.17	0.72 0	4:4:1 4:4:1	0.20 0.21
Роща: осиновая березовая	1.58 10.87	0.74 7.54	0.47 1.95	0.46 1.78	0.50 0.53	0.62 0.23	2.08 0.83	2:1:1 4:1:1	0.22 0.19
Ткани злаков									
Степь: степной войлок	10.12	4.17	4.31	4.63	1.03	1.11	0.39	1:1:1	0,71
Субальпийский луг: ветошь	26.47	5.70	5.72	15.05	1.00	2.64	0.70	1:1:3	1.50
Культурные злаки: ветошь	10.85	4.59	4.36	4.90	0.95	1.07	0.96	1:1:1	0.71
Ткани разнотравья									
Степь: степной войлок	13.06	5.71	5.72	5.64	1.00	0.29	0.69	1:1:1	0.71
Альпийский луг: ветошь	81.68	21.24	38.39	22.05	2.73	0.77	1.08	1:2:1	0.44

Лигнин в корнях растений. В ходе нашего исследования обнаружено, что наибольшее содержание лигниновых фенолов свойственно не надземным, а подземным тканям растений. Во всех случаях – будь то древесный или травянистый растительный покров – преобладает лигнин корней – до 66 мг на грамм углерода в древесине корней можжевельника (табл. 1) и до 46 мг – в корнях злаков на глубине 0-30 см и 49 мг – на глубине 30-60 см (табл. 2). Коэффициент корреляции содержания лигнина в почве и биомассы корней – 0,92-0,99 (P=0,95). Например, коэффициент корреляции содержания лигнина (VSC) в почве и биомассы корней – 0,91 (P=0,95) – в

субальпийских луговых экосистемах; 0,98 (P=0,95) – в альпийских; 0,99 (P=0,95) – в можжевеловом редколесье (табл. 6).

Табл. 6. «Лигниновые параметры» корней растений

Почва	Горизонт, глубина, см	V	S	C	Лигнин (VSC), мг $г^{-1}$ $С_{орг.}$	Биомасса корней, ц/га	Корреляция лигнин/ корни
Чернозем (р. 9)	A 4-56	1,82	1,13	1,42	4,37	201	0,91
	AB 56-71	0,84	0,17	0,11	1,09	36	
	B 71-83	1,27	0,81	0,26	0,20	29	
Горно-луговая черноземовидная почва (р.22)	A 4-35	2,71	0,60	0,50	3,81	237	
	A[hh]35-50	0,91	0,60	0,48	1,99	39	
	AB 50-67	0,70	0,79	0,55	2,04	10	0,98
	B67-87	0,89	0,54	0,62			
	Bt 87-97	1,59	0,63	0,38			
	C1 97-110	0,81	0,43	0,27			
Горно-луговая черноземовидная почва (р.23)	A 6-36	0,58	0,29	2,07	2,94	110	
	A[hh] 36-57	0,65	0,50	0,70	1,85	7	
	B 57-68	0,25	0,42	0,90	1,57	2	0,98
Горная коричневая почва (р. 34)	A 2,5-15	32,67	18,83	11,06	62,56	281	
	AB 15-30	2,21	1,14	0,56	3,91	142	
	AB 30-60	4,65	3,00	0,58	8,23	12	0,99
Горно-луговая альпийская почва (р. 38)	A 3-15	0,27	0,15	1,06	4,85	179	
	AB 15-40	0,32	0,21	0,21	1,57	15	
	AC 40-50	0,77	0,76	0,26	0,69	0	0,98

Однако наибольший вклад корневого лигнина присущ луговым экосистемам и, особенно, в степных сообществах со значительным преобладанием подземной биомассы над надземной. Так, в кобрезиевом альпийском лугу отношение подземных органов к надземным достигает 21; в типчаково-разнотравной лугостепи (режим заповедывания) – П/Н равно 18; в типчаково-пырейно-ковыльной сухой степи – 13, а в шиповниково-разнотравно-эстрагоновой степи – П/Н=15. В лесных экосистемах это отношение значительно ниже, отношение подземных органов к надземным – 3-7. Например, в можжевеловом лесу на поляне П/Н=7, а в орехово-плодовом лесу П/Н составило 3. Сведения о биомассе обсуждаемых растительных сообществ, представлены в наших предыдущих работах [22]. Наименьшая роль корней в круговороте лигнина обнаружена в агро-антропогенных экосистемах с равными долями надземной и подземной биомассы (рис. 1).

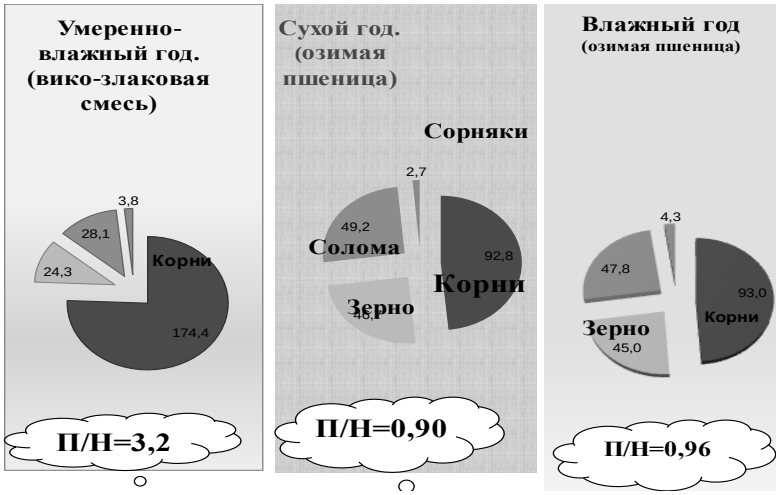


Рис. 1. Структура биомассы растительных сообществ в агро-антропогенных экосистемах: 1 – многолетние древесные части, 2 – надземные зеленые части, 3 – подземная биомасса, П/Н – отношение подземной биомассы к надземной

Эти факты могут быть свидетельством более значительной, чем мы привыкли думать, роли корневой биомассы в формировании гумуса почв, причем по всей глубине профиля, и заслуживает отдельного исследования. Может быть, в этом феномене и кроется разгадка гуматности гумуса черноземов? Тем более, что соотношения лигниновых фенолов в корневой биомассе повторяют закономерности, свойственные надземным органам.

Лигнин в почвах разных природных зон. Дальнейшие превращения полимера в почвах определяются гидротермическими условиями среды и физико-химическими свойствами почв, активностью микробиоты, способной продуцировать различные лигнин-пероксидазы, Mn-пероксидазы, фенолоксидазы и разрушать лигнин. В результате совместных действий смешанных микробных популяций достигается синергетический эффект трансформации лигниновых структур, прежде всего, имеют место реакции расщепления и деструкции боковых цепочек.

Наибольшее суммарное количество продуктов окисления лигнина (VSC) в рассматриваемом зональном ряду почв приурочено к почвам естественных биогеоценозов с наивысшей биопродуктивностью: серая лесная почва Тульских засек, черноземы, естественные леса тропиков (рис. 2). Закономерно наименьшая микробиологическая активность таежных и лесостепных экосистем сохраняет более значительные количества лигнина в почвах, нежели аридных и тропических ландшафтов.

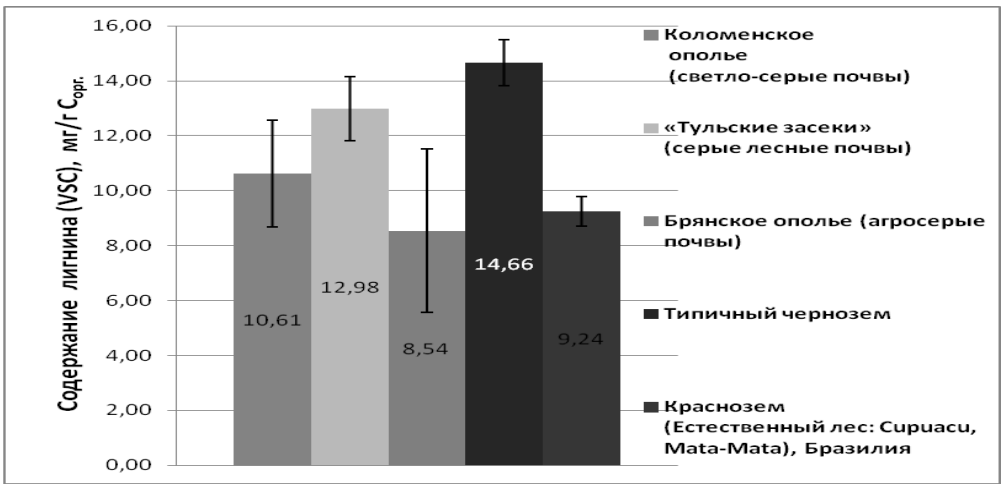


Рис. 2. Суммарное содержание продуктов окисления лигнина (VSC, мг/г $C_{орг.}$) в почвах зонального ряда

В почвах вертикального ряда наблюдается параболическое распределение лигнина в ряду почв: от подножия к вершинам с максимальным содержанием лигнина (VSC) в субальпийских черноземовидных почвах (рис. 3).

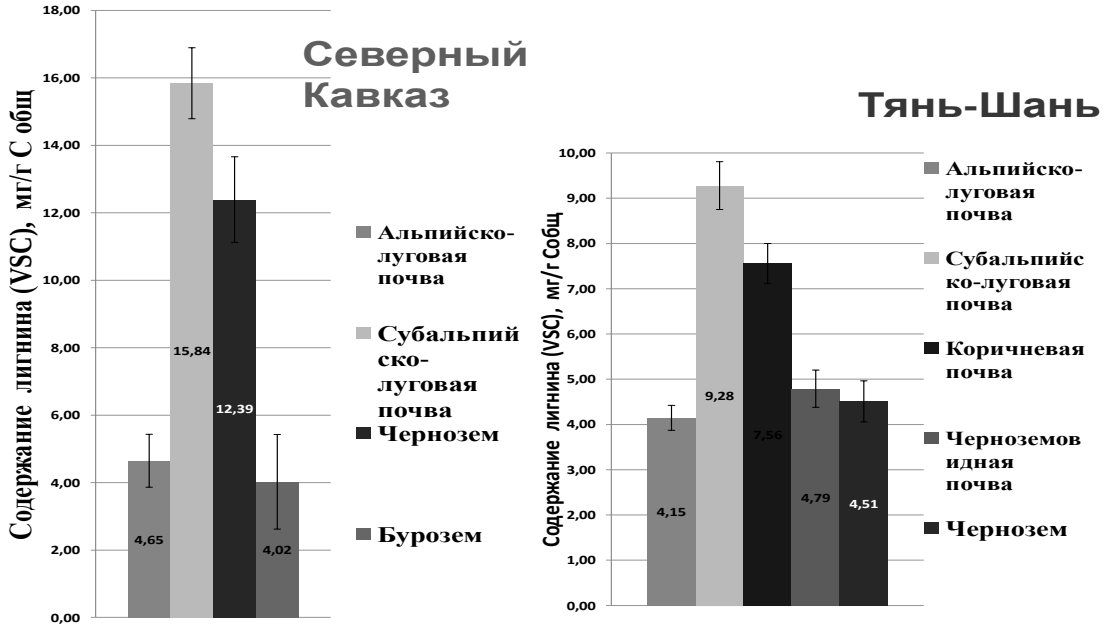


Рис. 3. Содержание продуктов окисления лигнина (VSC, мг/г $C_{орг.}$) в почвах вертикальных природных зон: гумидных экосистем Северного Кавказа и аридных экосистем Тянь-Шаня

При этом хорошая сохранность композиционных отношений лигниновых фенолов также характерна и для почв вертикального ряда. Этот факт может быть основой для диагностики происхождения лигнина по лигниновым параметрам растительных тканей, сохранившимся в почве.

В условиях антропогенного использования (пашня Русской равнины, плантация производственной древесины Бразилии, вторичные леса на серых почвах опытного полигона имени Н.В.Орловского (г. Красноярск), горные пастбища на черноземовидных почвах) количество лигнина (VSC) в почвах уменьшается по сравнению с естественными аналогами более, чем в два раза, а на красноземах Южной Америки в Бразилии почти в 5 раз. Надо отметить, что в агроэкосистемах устанавливается «квазиравновесие» по содержанию продуктов окисления лигнина, поскольку образцы агросерых почв были отобраны, например, в Брянском ополье, в годы разной обеспеченности осадками. При этом минимальное содержание лигнина (VSC) (4,7-5,8 мг/г Сорг.) всегда свойственно агросерым почвам микроповышений с повышенной окислительной обстановкой, чем почвам микропонижений (VSC – 5,9-7,1 мг/г Сорг.). Вместе с тем, в почве протекают непрерывно биохимические процессы превращения органического вещества, в частности, лигнина.

Для характеристики интенсивности разложения и трансформации лигнина в почвах используется отношение кислоты/к альдегидам в единицах ванилина или сиригнила как меры степени окисленности молекулы [37, 33, 11]. Это отношение используется в расчете степени измененности боковых цепочек по отношению к растительным тканям. Ertel, Hedges [35] убедительно показали, что с увеличением степени разложенности лигнина увеличивается количество ароматических кислот по отношению к ароматическим альдегидам, и разработали формулу для расчета степени измененности боковых цепочек биополимера (параметр Т, %): $T=74-(100-K)(1+(Ac/Al)_v)^{-1}$, где $(Ac/Al)_v$ – отношение ванилиновых кислот к ванилиновым альдегидам, К – содержание кетонов в исходных растительных тканях, %.

Высокая цифра выхода продуктов окисления (VSC) лигнина и низкие величины отношения (кислоты/к альдегидам) в горизонтах подстилки и в гумусовых горизонтах почв гумидных ландшафтов являются закономерным следствием еще слабо измененных растительных остатков, а, значит, слабого изменения боковых цепочек ароматических структур лигнина в органическом веществе почв. Невысокие значения степени измененности боковых цепочек лигниновых структур, по сравнению с исходной растительной тканью, типичные для светло-серых почв Московской области, по-видимому, являются прямым отражением механизма встраивания неизменных фенольных структур в молекулу гуминовых кислот.

На основании многочисленных данных о содержании лигнина и процессах его трансформации в почвах широтной зональности установлена линейная зависимость увеличения степени измененности боковых цепочек лигниновых структур в ряду: от светло-серых почв к черноземам и красноземам. Так, в почвах южной тайги она составляет 5-8 %, в лесостепи – 9-10 %, в черноземах – 10-12 % и, достигая максимальных значений в красноземах до 30-50 %, то есть фактически следует за величиной периода биологической активности (ПБА), рассчитанной Д.С.Орловым [30].

Линейная зависимость степени трансформации лигнина от гидротермических условий также хорошо проявляется и в горных экосистемах. Например, в гумидных условиях Северного Кавказа степень трансформации боковых цепочек лигнина составляет 5 % для чернозема и 1,5 % для субальпийских почв. В аридных условиях средней Азии – 20-25 % в горных черноземах и 3 % в альпийских луговых почвах. Полученные результаты не противоречат нашим данным о гуматном характере гумуса в почвах Тянь-Шаня, по сравнению с преимущественно фульватным – в почвах Северного Кавказа [19, 23].

Итак, интенсивная минерализация лигнина и быстрый распад сложных структур до мономеров и олигомеров наблюдается в почвах с высокой биологической активностью – в черноземах, красноземах, а механизм встраивания неизменных пространственно вытянутых лигниновых структур в молекулу гуминовых кислот должен преобладать в гумидных ландшафтах.

Лигнин (VSC) в почвах геохимически сопряженных ландшафтов. В условиях мезо- и микрорельефа стабилизация и консервация лигниновых полимеров в виде высококонденсированных многоядерных ароматических структур всегда приурочена к аккумулятивным позициям ландшафта (рис. 4).

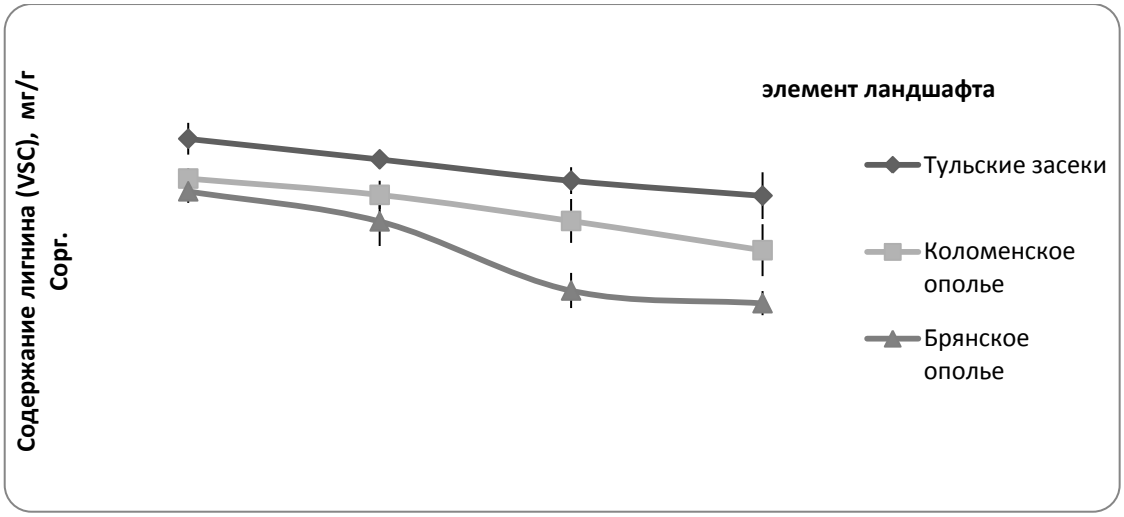


Рис. 4. Содержание продуктов окисления лигнина (VSC), мг/г $C_{орг.}$ в почвах геохимически сопряженных ландшафтов

Так, в пределах изучаемых катен в ряду биоклиматических зон (зона южной тайги – Московская область; зона широколиственных лесов – «Тульские засеки»; зона лесостепи – Брянское ополье), во всех районах исследования максимум накопления фенольных соединений приходится на почвы мезопонижений с длительным господством восстановительных условий во всем профиле [11], а в опольях – на почвы микрозападин, обладающих, например, в весенний период двухъярусной верховодкой и пониженными значениями ОВП-режима [9, 11].

С усилением степени оглеения почв (глубокооглеенная «автоморфная» →глееватая→глеевые) также наблюдается значимое отличие по значениям

суммарного количества продуктов окисления лигнина (VSC) в них. Среди продуктов окисления лигнина в рассматриваемом ряду почв с усилением степени гидроморфизма увеличивается количество фенольных кислот, достигая максимальных значений в глеевых (до 79 % суммы фенолов) и элювиальных горизонтах (до 89 % суммы фенолов), соответственно, уменьшается количество альдегидов.

Интенсивность разложения растительных остатков оценивается по отношению кислоты/альдегиды в единицах ванилина или сирингила в качестве меры степени изменения молекулы лигнина в процессе разложения. Таким образом, высокие значения отношения кислоты/ к альдегидам указывают на высокую степень разложенности органического вещества. В агросерых почвах Брянского ополья высокие значения отношения кислоты/к альдегидам (2,44-2,92) приурочены ко вторым гумусовым горизонтам на глубине 30-60 см, низкие (0,29-0,56) – к верхним гумусо-аккумулятивным. Органическое вещество гидроморфных почв наследует молекулы лигнина неизмененными, а в автоморфных почвах перефирические части фенолов подвергаются реакциям окисления (отношение кислоты/альдегиды в автоморфных почвах – 2,92, по сравнению с 0,11 в гидроморфных). Превышение содержания продуктов окисления лигнина в светло-серых лесных почвах различной степени гидроморфизма Коломенского ополья над агросерыми почвами Брянского, по-видимому, связано с лучшей консервацией лигнина и хорошей его сохранностью в анаэробных условиях, то есть характеризуется низкой интенсивностью трансформации. Степень минерализации биополимера лигнина в геохимически сопряженных катенах ополий и Тульских засек уменьшается от водоразделов к плаккатам.

Таким образом, интенсивная минерализация лигнина и быстрый распад сложных структур до мономеров и олигомеров наблюдается в почвах с высокой биологической активностью – в черноземах, красноземах, а механизм встраивания неизменных пространственно вытянутых лигниновых структур в молекулу гуминовых кислот должен преобладать в гумидных ландшафтах.

Влияние антропогенного воздействия (осушения и распашки) на деструкцию лигниновых фенолов.

В условиях антропогенного воздействия можно ожидать интенсивную минерализацию органического вещества и, следовательно, лигнина. Так, трансформация водного режима гидроморфных светло-серых почв [9] при распашке и осушении приводит к резкой смене окислительно-восстановительных условий [11] и активизации микробиологической деятельности, которая прямо регистрируется по увеличению длины грибного мицелия и общей биомассы микроорганизмов [14, 17].

Усиленная микробиологическая деятельность вызывает и деструкцию лигнина в агроэкосистемах (табл. 7). Сумма продуктов окисления лигнина падает с 12,9 мг $г^{-1}$ $С_{орг.}$ до 9,6 мг $г^{-1}$ $С_{орг.}$ Возрастает (в среднем) степень окисленности (отношение сиреневые кислоты/к сиреневым альдегидам) и степень измененности боковых цепочек лигнина (VSC) по отношению к

исходным растительным тканям: с 4,6 до 6,5. Для разделения тяжело- и легко-разрушаемых растительных остатков используют отношение лигнина к азоту (VSC:N). Широкое отношение VSC:N характерно для ароматического структурного углерода, а узкое – для метаболического. Действительно, в неосушенных глееватых почвах оно составляет 66,5, в осушенных почвах – 50,3, что также косвенно подтверждает микробиологическую активность почв. В результате количество продуктов окисления лигнина снижается в светло-серых глееватых осушенных почвах при одновременном увеличении степени окисленности биополимера и степени трансформации лигнина (Т, %).

Табл. 7. Показатели трансформации лигнина (мг $г^{-1}$ Сорг.) в светло-серых глееватых неосушенных и осушенных почвах

Светло-серая глееватая почва	Горизонт, глубина, см	N, %	VSC, мг/г $С_{орг.}$	Ванилиновые кислоты/ванилин, (Ac/Al)v	Сиреневые кислоты/сиреневые альдегиды, (Ac/Al)s	Т, %	VSC/N
неосушенная, n = 5	Ap fs, g□ 10-20 см	0,18	12,9 ±1,2	0,12±0,02	0,29±0,04	4,6	66,5
(4-й год действия дренажа, n = 5	Ap, g□ 10-20 см	0,19	9,6 ±1,4	0,18±0,04	0,41±0,03	6,5	50,3

где, VSC – суммарное количество продуктов окисления лигнина,
(Ac/Al)v – отношение количества фенольных кислот к альдегидам в ванилиновых единицах;
$(Ac/Al)_s$ – отношение количества фенольных кислот к альдегидам в сирингиловых единицах;
Т % степень измененности боковых цепочек лигнина по отношению к исходным растительным тканям

Повышенная минерализация лигнина наблюдается и в серых лесных почвах лесопосадок Сибири, где низкое содержание лигниновых фенолов сопровождается высокой степенью трансформации биополимера по сравнению с контролем. В красноземах вторичного леса Амазонии в условиях неравновесных экосистем также снижается содержание продуктов окисления лигнина при этом, достигая максимальных значений степени измененности боковых цепочек лигнина по отношению к исходным растительным тканям.

Типы биотрансформации лигнина (VSC) в почвах. Итак, представленные цифры позволяют говорить о разных типах трансформации лигниновых биополимеров в почвах разных экосистем:

- степной тип биотрансформации лигнина характеризуется средними величинами показателя измененности биополимера – около 5-8 % и максимальными величинами показателя окисленности (0,10-0,60) в черноземах и черноземовидных почвах.
- лесной тип разложения лигнина отличает величина Т около 10-15 % для серых почв и средние значения отношения ванилиновые кислоты/ванилин.
- луговый тип консервации лигниновых структур характеризуется близкими к 0 цифрами показателя трансформации лигнина и минимальными значениями отношений кислот к альдегидам.

• тропический тип характеризуется наивысшими цифрами измененности боковых цепок биополимера по отношению к исходным растительным тканям – до 30 % в коричневых почвах и красноземах.

• агро-антропогенный тип - показатели трансформации молекул лигнина близки к цифрам степного типа.

Вероятно, можно говорить о болотном типе и о прогрессирующем во времени конденсировании лигниновых структур при погребении или выделять керогенный тип трансформации лигнина.

Продукты окисления в гуминовых кислотах почв разных экосистем. В целом, гуминовые кислоты по содержанию продуктов окисления лигнина и лигниновым параметрам (табл. 8) похожи на образцы почв и наследуют характерные свойства растительных тканей, но демонстрируют большую упорядоченность структурных фрагментов лигнина. Пропорции ванилиновых, сирингиловых и циннамиловых фенолов в них оказались одинаковыми для разных типов травянистых экосистем: 1:1:1 – от степи до субальпийского луга и характеризуют, как показано выше, ткани травянистых растений. Композиционные отношения 3:4:1 свойственны гуминовым кислотам из горизонтов коричневой почвы можжевелового леса и отражают свойства растительных тканей можжевельника.

Табл. 8. Продукты окисления лигнина в препаратах гуминовых кислот (ГК) из дневных и погребенных горизонтов

Препараты ГК из почв:	Горизонт, глубина, см	Лигнин (VSC),мг/г $C_{орг.}$	Возраст (^{14}C)	V:S:C
Чернозем	A 12-38 B[hh]120-137	3,32 0,025	 >30000	1:1:2 2:1:1
Горно-луговая субальпийская черноземовидная	A 0-23 A[hh] 37-50	5,10 0,96	3805±145 5225±80	1:1:1 1:1:1
Горно-луговая субальпийская	A 5-35 A[hh] 35-57	3,66 0,10	3010±90 5560±120	2:1:1 **5:1:1**
Коричневая (можжевеловый лес)	A 4-34 A[hh] 34-60	1,83 0,82	2030±60 4470±180	**3:4:1** **3:4:1**
Горно-луговая альпийская	A 3-20	2,06	985±115	1:1:1

Полученные данные демонстрируют, что с увеличением степени трансформации лигнина в ряду «ткани растений – подстилка – почва – гуминовые кислоты – погребенные гуминовые кислоты» увеличивается количество ароматических кислот по отношению к альдегидам во всех типах объектов независимо от общего количества лигнина в них и достигает максимума в препаратах гуминовых кислот из погребенных почв.

Из представленных (рис. 5) данных следует также, что гуминовые кислоты по сравнению с почвами дают более кислую фенольную смесь: отношение кислоты/альдегиды максимальны в препаратах гуминовых кислот по сравнению с экстрактами из почв. Тем самым, наши результаты

подтверждают положение о нарастающем карбоксилировании лигниновых остатков как о главном процессе их трансформации в гумус. Реакции деструкции, по-видимому, возникают, прежде всего, в боковых цепочках лигнина, образуя фенилкарбоновые кислоты как первые специфические соединения.

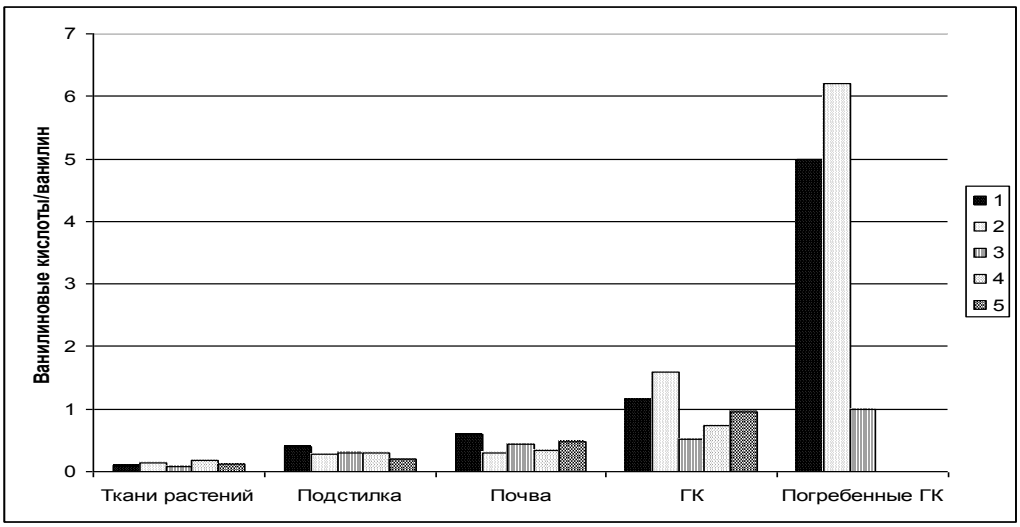


Рис. 5. Величины параметра ванилиновые кислоты/ванилин на разных стадиях трансформации лигнина

1 – чернозем (степь), 2 – субальпийская горно-луговая, 3 – коричневая (можжевеловый лес), 4 – альпийская горно-луговая, 5 – горная черноземовидная (сосновый лес)

С помощью ^{13}С-ЯМР-спектроскопии можно было обнаружить, что лигнин высших растений принимает участие в формировании специфических соединений гумуса почв, входя структурными фрагментами в алифатическую (пики при 56 ppm) и в ароматическую части молекул гуминовых кислот (пики при 147 ppm).

Табл. 9. Распределение углерода в молекулах гуминовых кислот (по данным ^{13}C ЯМР-спектроскопии), % от площади спектра

Почва, горизонт, глубина, см	Углерод алифатических структур, C_{Al}				Углерод ароматических структур, C_{Ar}		Углерод карбоксильных структур, C_{COOH}	Ароматичность, % $\frac{Ar \cdot 100}{Ar + Al}$	$\frac{\sum Ar}{\sum Al}$	$\frac{C_{Alk}}{C_{Alk\text{-}O}}$
	Углерод алкильных групп, C_{Alk}		Углерод карбогидратов, первичных спиртов, ацеталей, $C_{Alk\text{-}O}$							
	0-35 ppm	35-52 ppm	**52-60 ppm**	60-106 ppm	106-142 ppm	**142-160 ppm**	160-200 ppm			
Коломенское ополье (светло-серые лесные почвы)										
Ap 0-20	11,83	9,70	**4,77**	37,18	17,14	**3,28**	16,09	24,34	0,32	0,51
глееватая, Ap 0-20	13,59	7,47	**5,05**	37,74	14,83	**2,87**	18,45	21,69	0,27	0,49
Конкреции из почвы, Ap (0-10)	9,60	8,46	**2,43**	13,76	31,16	**4,34**	30,25	50,92	1,04	1,11
Конкреции из глееватой (осушенной) почвы, Ap (0-10)	9,27	9,82	**2,37**	19,67	25,28	**4,03**	28,55	41,01	0,70	0,83
Брянское ополье										
Серая, Ap 0-30 (микроповышение)	10,49	5,29	**3,79**	25,69	30,93	**4,90**	18,91	44,18	0,80	0,53
Темно-серая, A 0-33 (микрозападина)	13,65	7,94	**3,24**	21,54	28,05	**5,48**	20,10	42,00	0,72	0,87
Серая глеевая, G 54-82	10,97	9,47	**4,02**	29,48	20,83	**4,33**	20,90	31,80	0,47	0,61
Северо-Западный Кавказ										
Чернозем, A 8-27	11,25	7,67	**3,80**	31,18	24,96	**4,83**	16,30	53,30	1,14	0,54
Субальпийская горно-луговая, A 10-25	11,69	8,5	**4,20**	31,90	20,60	**3,30**	19,40	29,80	0,42	0,56
Северный Тянь-Шань										
Чернозем: A 12-38 AB[hh] 38-44	10,49 11,26	6,73 7,57	**3,15** **3,42**	26,62 27,69	26,76 26,05	**5,85** **4,91**	20,39 19,10	40,97 38,27	0,69 0,62	0,58 0,64
Черноземовидная лугово-степная: A 10-33 A[hh] 33-47	12,73 9,24	7,44 6,15	**3,33** **2,62**	28,31 27,55	23,20 27,90	**4,00** **5,05**	20,98 21,47	34,42 41,97	0,52 0,72	0,64 0,51
Субальпийская луговая: A 5-35 A[hh] 35-50	15,02 6,76	7,61 2,39	**3,37** **1,48**	15,80 8,21	30,39 50,86	**6,23** **8,05**	21,59 22,24	46,70 75,83	0,88 3,13	1,18 0,94
Коричневая почва: A 0-23 A[hh] 35-64	11,10 8,44	8,20 6,09	**4,10** **2,35**	33,10 27,29	20,30 31,11	**4,70** **5,03**	18,20 19,68	30,60 45,00	0,44 0,82	0,52 0,51
Горно-луговая альпийская, A 3-20	10,47	8,01	**3,72**	39,29	19,07	**3,49**	15,96	26,84	0,37	0,43

Табл. 10. Наличие пиков ароматических структур лигнина в ^{13}С-ЯМР-спектрах гуминовых кислот почв равнинных и вертикальных зон

Препарат гуминовой кислоты, почва	53,5-53,8 ppm кумараны, пинорезинолы	55,7 ppm гваяцилы	55,9 ppm сирингилы	102-104 ppm сирингилы С2, С6	115,5 ppm С2, С5	119,1 ppm гваяцилы, С6	131,4-131,5 ppm С2, С6 n-кумарилов	151,0-152,0 ppm С3, С5-OCH_3	160,1 ppm С4-эфиры	166,7 ppm C_β -кумарилы
Коломенское ополье (светло-серые лесные почвы)										
Светло-серая глееватая, А 0-10 см	+	+	+	+	+	_	+	+	-	+
Светло-серая, А 0-10 см	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-
Конкреции из почвы, Ар 0-10	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-
Конкреции из глееватой осушенной почвы, Ар 0-10	+	+	+	-	-	-	+	-	-	+
Брянское ополье										
Серая почва, А 0-30 см	следы	следы	+	+	+	+	+	-	-	-
Темно-серая, А 0-30 см	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
G 60-70 см	+	+	+	+	+	+	следы	-	-	-
Северо-Западный Кавказ										
Чернозем, А 8-27 см	+	+	+	+	+	+	+	+	следы	+
Субальпийская горно-луговая почва, А 10-25	+	+	+	+	+	+	+	-	следы	_
Северный Тянь-Шань										
Чернозем, А 12-38 см	+	+	+	+	-	+	+	+	+	следы
38-44 см	+	+	+	+	-	+	+	+	+	следы
Черноземовидная, А 15-25	+	++	+	+	+	+	+	+	+	+
[А] 37-50	+	++	+	+	-	-	+	-	-	+
Г.-л. субальпийская, А 5-35	+	+	+	-	следы	следы	+	+	+	+
[А] 35-50	-	-	-	-	следы	следы	-	+	+	-
Коричневая, А 0-23	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
АВ 37-50	следы	следы	следы	+	-	-	-	-	-	-
Г.-л. альпийская А 3-20	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-

В гуминовых кислотах почв лесостепи, сформированных на лессе, а также в черноземах, вклад ароматических лигниновых фрагментов в 2 раза больше в ядерной, чем в периферийной частях молекулы. Коэффициент корреляции между содержанием лигнина (VSC) в гумусовых горизонтах почв семиаридных ландшафтов и площадью пика лигнинового происхождения в ароматической части ^{13}С-ЯМР-спектра при 147 ppm – -0,93. Подобное распределение площади пиков характерно и для ГК из Fe-Mn ортштейнов. В погребенных горизонтах и вторых гумусовых горизонтах площадь пиков соединений лигниновой природы в ядерной части молекул гуминовых кислот в 5 раз превышает площадь их пика для гуминовых кислот дневных горизонтов (табл. 9), что подтверждает теорию керогенообразования. Особенность гуминовых кислот оглеенных горизонтов в том, что в них площади пиков лигниновых структур одинаковы в ароматической и алифатической частях молекул ГК (табл. 9).

Сравнение ^{13}С-ЯМР-спектров нативных препаратов лигнина, выделенных из разных пород древесных и травянистых растений, со спектрами молекул гуминовых кислот позволило впервые обнаружить, что, во-первых, количество пиков, наследуемых гуминовой кислотой от растительной ткани значительно больше. Они отчетливо диагностируется при 56, 102, 115, 119, 131, 147, 151-152, 160, 166 ppm (табл. 10).

Во-вторых, набор пиков разнороден в спектрах разных растений и, соответственно, в молекулах гуминовых кислот разных почв он тоже должен быть разным. Так, например, для злаковых культур [28] сигналы с химическим сдвигом 53,5 и 53,8 ppm свидетельствуют о наличии кумарановых и пинорезинольных структур (мономерные звенья в макромолекуле соединены связями β-5 (фенилкумаран) и β-β (пинорезинол). Для лигнинов злаков характерно наличие двух резонансных сигналов OCH_3-групп – 55,7 ppm и 55,9 ppm (сирингильная структура). Сигналы в области 100-160 ppm обусловлены наличием ароматических структурных единиц. Эту область можно подразделить на четыре интервала: 100-117 ppm – сигналы третичных ароматических атомов углерода, которые содержат в орто-положении С-атомы с кислородной функцией (С-2 и С-5) в неконденсированных гваяциловых (ванилиновых) единицах, или С-2 и С-6 сирингиловых-единицах). 117-125 ppm – сигналы третичных ароматических атомов углерода, которые не содержат в орто-положении С-атомы с кислородной функцией (С-2/С-6 в п-оксифенилпропановых единицах и С-6 в гваяциловых (ванилиновых) единицах. 125-142 ppm – сигналы ароматических четвертичных углеродных атомов, в основном С-1 С-5; 142-160 ppm – сигналы, обусловленные этерифицированными атомами углерода ароматического кольца. На ^{13}С ЯМР-спектрах наблюдаются характеристические сигналы с ХС 152,1--152,4 ppm, которые обусловлены С-3 и С-5 атомами, связанными с OCH_3-группами. Незамещенные атомы углерода С-2 и С-6 в сирингильных единицах препаратов лигнина вызывают появление сигналов с ХС 102-104 ppm. Сигналы при 119 ppm указывают на наличие ваниловых (гваяциловых) единиц (С-6). Таким образом, различия в

химическом строении лигнина хвойных и лиственных пород, злаковых и травянистых растений заключаются не только в количественном содержании основных типов межмономерных связей β-O-4, β-5, β-β, $C_{аром}$-C (табл. 10), но и в композиционном составе макромолекул, то есть в соотношении трех типов мономерных звеньев: ванилиновых, сирингильных и п-кумаровых (V:S:C).

В-третьих, лигнин древесных растений южной тайги становится источником более развитых пространственно вытянутых с развитой алифатической частью молекул гуминовой кислоты (мощные хорошо вытянутые пики) (**а**), а феруловые и кумариловые фенолы степных растений формируют пространственно компактные структуры гуминовых кислот черноземов (**б**) (рис. 7).

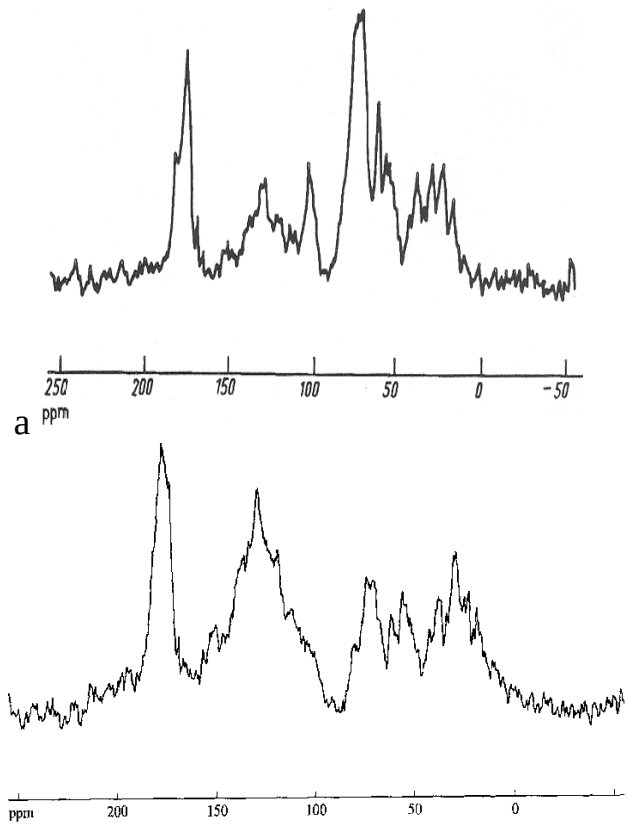


Рис. 7. ^{13}C ЯМР-спектры препаратов гуминовых кислот: а) светло-серая лесная почва (Ар 0-20 см); б) чернозем, гор. А 8-27 см

Механизмы стабилизации лигнина (VSC) в почве. Стабилизация лигниновых структур в почве, как было показано выше, осуществляется 1) в восстановительных условиях среды, 2) при органоминеральных взаимодействиях; 4) при погребении.

Наиболее важными функциональными группами в составе лигнина, с точки зрения реакционной способности, являются свободные фенольные гидроксилы и фенилпропановые единицы, которые принимают участие в реакциях хелатообразования, например с железом. Вероятно, нарастающая

концентрация фенольных продуктов окисления лигнина в почве (табл. 11) приводит к дефициту свободного кислорода и, тем самым, ингибирует окисление железа.

Табл. 11. Показатели трансформации лигнина (мг $г^{-1}$ Сорг.) в светло-серых глееватых осушенных почвах

Светло-серая глееватая осушенная почва	Горизонт, глубина, см	VSC, мг/г $С_{орг.}$	Ванилиновые кислоты/ванилин, (Ac/Al)v	Сиреневые кислоты/сиреневые альдегиды, (Ac/Al)s	(T, %)
2-й год последействия дренажа, n = 5	Ap fs, g□ 10-20 см	8,2±0,5	0,16±0,01	0,32±0,02	5,8
4-й год последействия дренажа, n = 5	Ap fs 10-20 см	9,6±1,4	0,18±0,04	0,41±0,03	6,5
10-й год последействия дренажа, n = 6	Ap fs 10-20 см	11,9±1,2	0,19±0,03	0,44±0,01	6,9

*------- VSC – суммарное количество продуктов окисления лигнина;
T ------ % степень измененности боковых цепочек лигнина по отношению к исходным растительным тканям

Именно поэтому в осушенных почвах при снижении содержания несиликатного железа наблюдается нарастание содержания железа, связанного с органическим веществом ($Fe_{ба}$, % от почвы), с 0,13 до 0,23 %. Корреляция между содержанием Fe по Баскомбу и содержанием лигнина (VSC) в осушенных почвах – r=0,96 (P=0,95).

Таким образом, усиленная микробиологическая активность почв [13] приводит к расщеплению связей метоксильных групп путем введения дополнительных гидроксильных и других полярных групп в молекулу лигнина. Дальнейшее присоединение карбоксильных и гидроксильных групп делает возможным участие лигниновых фенолов в реакциях хелатообразования и гумусообразования. Это согласуется и с представлениями о гумусовых веществах, представляющих собой коагуляты комплексно-гетерополярных солей [30, 43]. Высока вероятность участия лигниновых фенолов и в образовании органоминеральных фосфат-металл-гумусовых комплексных соединений [12, 24].

Обладающие большой удельной поверхностью соединения лигнина становятся центром дальнейшего ортштейнообразования. Можно согласиться, что защитную функцию по отношению к органическому веществу, в частности, к лигнину, выполняют полуторные оксиды. Действительно, нами впервые показано, что в ортштейнах всех фракций (свыше 100 образцов) содержится лигнин высших растений. В ортштейнах светло-серых почв периодического переувлажнения (автоморфных и глееватых) содержание суммарного количества продуктов окисления лигнина (VSC) в 10 раз меньше, чем в мелкоземе почв, однако содержание кислот превышает количество альдегидов. Степень трансформации лигнина в железисто-марганцевых конкрециях увеличивается в 4 раза (табл. 12).

Табл. 12. Показатели трансформации лигнина в светло-серых оглеенных почвах и в Fe-Mn ортштейнах, мг $г^{-1}$ $С_{орг}$

Светло-серая почва (в ландшафте)	Горизонт, глубина, см	Лигнин (VSC) мг $г^{-1}$ $С_{орг.}$	Ванили новые кислоты / ванилин	Сиреневые кислоты / сиреневые альдегиды	Т, %	L/N
В мелкоземе светло-серых почв						
На микроповышении (автоморфная), n = 4	Ap 10-20	10,85 ±0,73	0,23 ± 0,036	0,44 ± 0,073	7,9	60,3
В микрозападине (глееватая), n = 4	Ap fs, g' 10-20	11,97 ±1,17	0,19 ± 0,014	0,37 ± 0,030	5,8	52,0
В ортштейнах горизонта Ap (по фракциям ортштейнов: 1-2; 2-3; 3-5 мм)						
На микроповышении (автоморфная), n = 4	1-2	1,30 ± 0,28	0,23 ± 0,052	1,12 ± 0,050	8,2	11,6
В микрозападине (глееватая), ∑n = 10	1-2	1,34 ± 0,50	0,73 ± 0,385	1,67 ± 0,384	19,2	8,9
	2-3	1,41 ± 0,30	0,58 ± 0,179	1,04 ± 0,165	22,2	9,5
	3-5	0,81 ± 0,02	0,64 ± 0,171	1,53 ± 0,454	20,1	5,6

VSC – суммарное количество продуктов окисления лигнина; n – число повторностей; $T = 74 – (100 – K)(1 + (Ac/Al)_v)^{-1}$, где, T – % измененности боковых цепочек лигнина по отношению к исходным растительным тканям, $(Ac/Al)_v$ – отношение количества фенольных кислот к альдегидам в ванилиновых единицах, К – содержание кетонов в исходных растительных тканях ($\%_{ketone}$)

"Лигниновые" параметры ортштейнов отличаются от таковых во вмещающем почвенном горизонте (мелкоземе). Во-первых, в ортштейнах глубокооглеенной "автоморфной" почвы (фракция 1-2 мм) по сравнению с мелкоземом почвы уменьшается содержание продуктов окисления лигнина (VSC) в 10 раз (1,30 и 11,85 мг $г^{-1}$ $С_{орг.}$), и значения отношения сиреневые кислоты/к сиреневым альдегидам падают в 2,5 раза (соответственно, с 1,42 до 0,44 мг $г^{-1}$ $С_{орг.}$). В то же время, близкие значения отношения ванилиновые кислоты/ванилин (ac/al)v (0,23 и 0,23) и степень трансформации (степень окисленности) боковых цепочек лигнина по отношению к исходной растительной ткани (Т, %) (8,2 и 7,9) (табл. 12) в светло-серой почве и ортштейнах предполагает, с одной стороны, одинаковую скорость минерализации лигнина как в почве, так и в ортштейнах. С другой стороны, ортштейны аккумулируют (адсорбируют) из почвы изначально имеющиеся продукты окисления лигнина, которые находятся в «квазиравновесном состоянии». Во-вторых, в ортштейнах глееватых почв содержание суммарного количества продуктов окисления лигнина (VSC) по сравнению с мелкоземом также уменьшается в 10 раз (с 1,3 до 11,9 мг $г^{-1}$ $С_{орг.}$ во фракции 1-2 мм), но происходит и увеличение содержания кислот по сравнению с альдегидами в ванилиновых и сиреневых единицах, степень трансформации боковых цепочек лигнина по отношению к исходным растительным тканям (Т, %) увеличивается с 20,8 до 5,8 %, соответственно (табл. 13). В ортштейнах преобладает интенсивная минерализация органического вещества и более быстрый распад сложных структур до мономеров. В-

третьих, в ортштейнах светло-серых глубокооглеенных («автоморфных») и глееватых почв, сформированных в условиях естественного водного режима, имеются между собой различия по "лигниновым" параметрам. С усилением степени оглеения в ортштейнах (фракция 1-2 мм) этих почв при близких значениях VSC произошло увеличение содержания кислот по сравнению с альдегидами: ванилиновой – с 0,13 до 0,26; сиреневой – с 0,20 до 0,28; кумаровой – с 0,05 до 0,20; феруловой – с 0,08 до 0,12 мг $г^{-1}$ $С_{орг.}$. Степень окисленности боковых цепочек лигнина по отношению к исходным растительным тканям (Т, %) увеличилась в 2,3 раза (с 8,2 до 19,2, например, для фракции 1-2 мм), что свидетельствует о большей деструкции лигнина в ортштейнах глееватых почв. В глееватых почвах на протяжении всего теплого вегетационного периода наблюдаются более контрастные условия по влажности почв и ОВП [9]. Вероятно, при таких условиях (в почвах начальных стадий гидроморфизма) преобладают грибы над бактериями. Можно предположить, что образование карбоксил- и гидроксильных групп благодаря расщеплению фенольных колец и метоксильных групп ярко выражено в ортштейнах глееватых почв. В то же время на внешней удельной поверхности оксидов металлов (железа, марганца) образуются стабильные трудно разрушаемые микробами комплексы, за счет комплексообразования с устойчивым органическим веществом, что выражается в близком содержании лигнина (VSC) в глубокооглеенных и глееватых почвах (1,30 и 1,34 мг $г^{-1}$ $С_{орг.}$). Интересно отметить, что содержание органического вещества в конкрециях в целом в 1,5 раза ниже, чем в мелкоземе гидроморфной и автоморфной почвы. Во всех исследованных разностях почв коэффициенты концентрирования углерода и азота меньше 1 ($К_с$ – коэффициент концентрирования – отношение абсолютного содержания элемента в конкреции к его содержанию в горизонте). Подобный факт уменьшения величин коэффициентов концентрирования для углерода в конкрециях почв можно считать доказательством подчиненной роли биогенного фактора в формировании конкреций. При этом известно [7], что биогенный механизм ортштейнообразования является превалирующим в кислой среде при низком содержании Fe в растворе, т.е. в условиях, когда конкуренция со стороны химического механизма синтеза сводится к минимуму.

Таким образом, наши данные свидетельствуют о присутствии растительных остатков (параметр VSC) тканей высших растений в небольших количествах (коэффициент концентрирования значительно ниже 1), но во всех фракциях конкреций "автоморфных" и гидроморфных светло-серых почв суглинистого типа [10]. С увеличением размера конкреционных новообразований как количество лигнина (VSC), так и коэффициент концентрирования в них уменьшается. Полагаем, что, несмотря на малое количество продуктов окисления лигнина (VSC) в ортштейнах всех фракций относительно общего углерода, в мелкоземе вмещающего горизонта и в самих ортштейнах, лигниновые фенолы могут выступать

предшественниками гуминовых кислот, наряду с существованием гуминовых кислот нелигнинового происхождения. Как следствие, молекулы гумусовых кислот Fe-Mn-конкреций имеют в два раза большую ароматичность по сравнению с гумусовыми кислотами почв (табл. 13). Однако, и количество карбоксильных структур в гуминовых кислотах ортштейнов в два раза выше, чем в гумусе почв. Возможно, именно эти фрагменты молекул и повышают долю фульвокислот в групповом составе гумуса ортштейнов, по данным группового и фракционного состава гумуса. По данным 4 разрезов отношения Сгк/Сфк в почве составили в среднем – 1,02, в конкрециях – 0,35 (n=4).

Табл. 13. Динамика распределения углерода и азота (%) в ортштейнах по фракциям (слой 0-10 см) светло-серых оглеенных осушенных почв (среднее по 6 повторностям)

Глееватая почва	Элемент	1989-1991гг.; 1992 г. –2 повтор. (∑n =6)			1995-2000 гг. (n = 6)			2001-2006 гг. (n = 6)		
		Ф Р А К Ц И Я, мм								
		1--2	**2--3**	**3--5**	**1--2**	**2--3**	**3--5**	**1--2**	**2--3**	**3--5**
неосушенная (контроль)	C, % N, % C/N	1,75 0,15 12,0	1,73 0,15 11,7	1,60 0,14 11,5	1,68 0,14 11,9	1,66 0,14 11,7	1,55 0,14 11,3			
осушенная гончарным дренажом	C, % N, % C/N	1,62* 0,15° 10,8	1,50* 1,40° 10,7	1,43* 1,40° 10,4	1,44 0,12 12,0	1,18 0,11 11,1	1,11 0,10 11,4	1,28** 0,12** 10,2	1,00** 0,11** 10,2	0,94** 0,10** 9,5
осушенная пластмассовым дренажом	C, % N, % C/N	1,65* 0,14° 11,5	1,56* 0,14° 11,2	1,51* 0,14° 10,7	1,41 0,11 12,4	1,26 0,11 11,6	1,19 0,10 11,6	1,31** 0,12** 10,5	1,17** 0,12** 10,0	0,10** 0,11** 9,4

n --- повторность;

* ------- статистически значимое уменьшение содержания углерода к контролю при $p < 0,95$;

° ---------- статистически значимое уменьшение содержания азота к контролю при $p < 0,80$;

** ----- статистически значимое уменьшение содержания углерода и азота по отношению к первым годам (1989-1992 гг.) последействия дренажа при $p < 0,95$

Осушение усиливает микробиологическую деятельность и приводит к снижению общей массы самих ортштейнов (табл. 11). Как результат наблюдается трансформация и такого устойчивого соединения как лигнин в железисто-марганцевых конкрециях (ортштейнах). По отношению к первым годам последействия дренажа (1989-92 гг.) в ортштейнах произошло значимое уменьшение содержания продуктов окисления лигнина во всех фракциях (рис. 8). При этом отмечается нарастание степени окисленности биополимера в ортштейнах всех фракций (рис. 9).

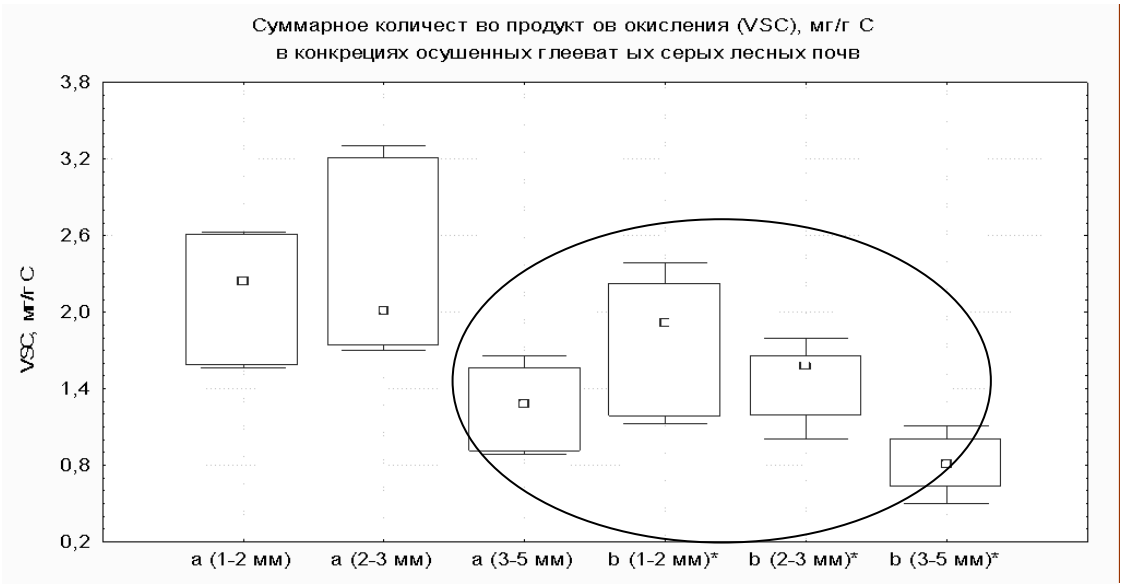


Рис. 8. Квантильное распределение продуктов окисления лигнина (VSC), мг/г Сорг. в Fe-Mn конкрециях светло-серых глееватых осушенных почв

Почвы: **a** – осушенные **в 1989-92 гг.**; **b** – осушенные в **1999-2000** гг. Фракции ортштейнов: 1-2 мм; 2-3 мм; 3-5 мм. *---- статистически значимое уменьшение продуктов окисления лигнина (VSC, мг/г Сорг.), ($p < 0,05$)

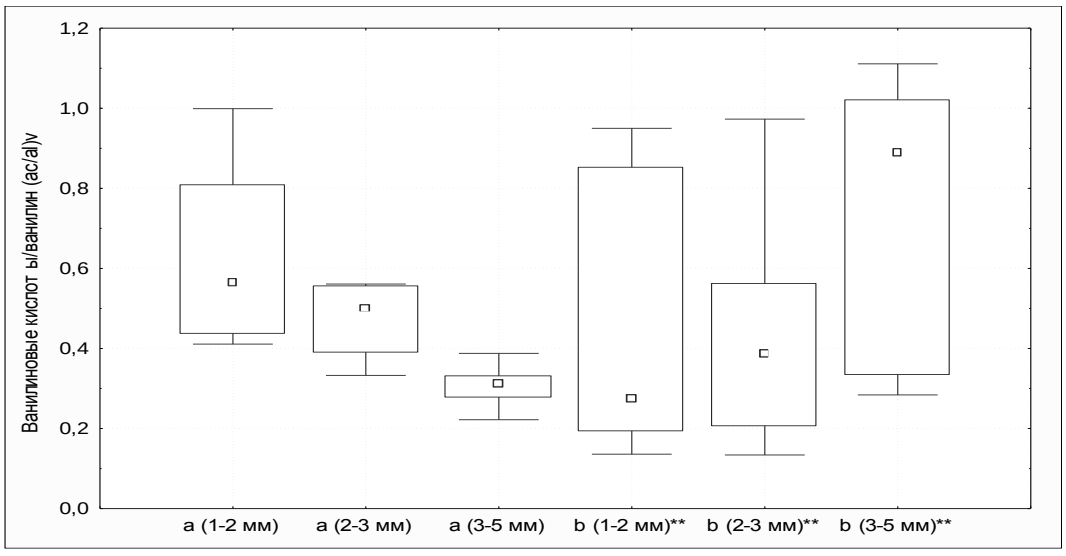


Рис. 9. Квантильное распределение отношения ванилиновые кислоты/ванилин (ac/al)v в Fe-Mn конкрециях светло-серых глееватых осушенных почв

Почвы: **a** – осушенные **в 1989-92 гг.**; **b** – осушенные в **1999-2000** гг.. Фракции ортштейнов: 1-2 мм; 2-3 мм; 3-5 мм. **------- статистически значимое уменьшение продуктов окисления лигнина (VSC, мг/г Сорг.), ($p < 0,05$)

Происходит перераспределение кислот и альдегидов в ортштейнах и значимо увеличивается величина отношения ванилиновые кислоты/ ванилин (рис. 9), так и величина отношения сиреневых кислот к сирингиловым альдегидам. Так, 1999-2000 гг. (по отношению к первым годам последействия дренажа, 1989-1992 гг.) отмечено значимое увеличение

отношений кислоты/альдегиды как в ванилиновых единицах (ac/al)v для фракций 1-2 , 2-3 мм (при P=0,80), для фракции 3-5 мм (при P=0,95), так и в сиреневых единицах (ac/al)s для фракций 1-3 мм (при P=0,95), для фракции 3-5 мм (при P=0,80) (рис. 10). В целом, содержание продуктов окисления лигнина по всем фракциям значимо уменьшилось (P=0,99).

Интересно заметить, что на 14–й год последействия дренажа наблюдается тенденция снижения величин отношения VSC/N в крупных фракциях как отражение процессов накопления метаболического углерода в лигнине (табл. 14). Степень трансформации молекул лигнина (T, %) в ортштейнах по отношению к исходной растительной ткани в мелких фракциях остается неизменной в разные годы наблюдений, также как и величина отношения лигнина к азоту, в то же время в крупных фракциях (3-5 мм) значение T (%) увеличилась более чем в 2 раза по отношению к первым годам последействия дренажа (табл. 14). С помощью метода ^{13}C ЯМР-спектроскопии, также показана разрушительная трансформация молекул гуминовых кислот органоминеральных комплексов ортштейнов при действием дренажа. Прежде всего, обращает на себя внимание уменьшение доли ароматичности гуминовых кислот в конкрециях осушенных почв на 10 % при одновременном нарастании объема периферической части молекул. При этом доля всех классов алифатических протонов увеличивается.

Табл. 14. Показатели трансформации лигнина в ортштейнах серых глееватых почв

Ортштейны серых оглеенных почв	n (повторность)	Фракция, мм	VSC/N	Измененность боковых цепочек лигнина по отношению к исходным растительным тканям (T, %)
Глееватая, осушенная пластмассовым и гончарным дренажом в 1989-1992 гг.	9	1-2	14	23
	8	2-3	12	20
	8	3-5	11	12
Глееватая, осушенная пластмассовым и гончарным дренажом в 1999-2000 гг.	10	1-2	13	24
	9	2-3	12	22
	9	3-5	8	25

Итак, в ортштейнах крупных фракций преобладает интенсивная минерализация лигнина, и наблюдается более быстрый распад сложных структур до мономеров.

Распределение продуктов окисления лигнина (VSC) в гранулометрических фракциях почв.

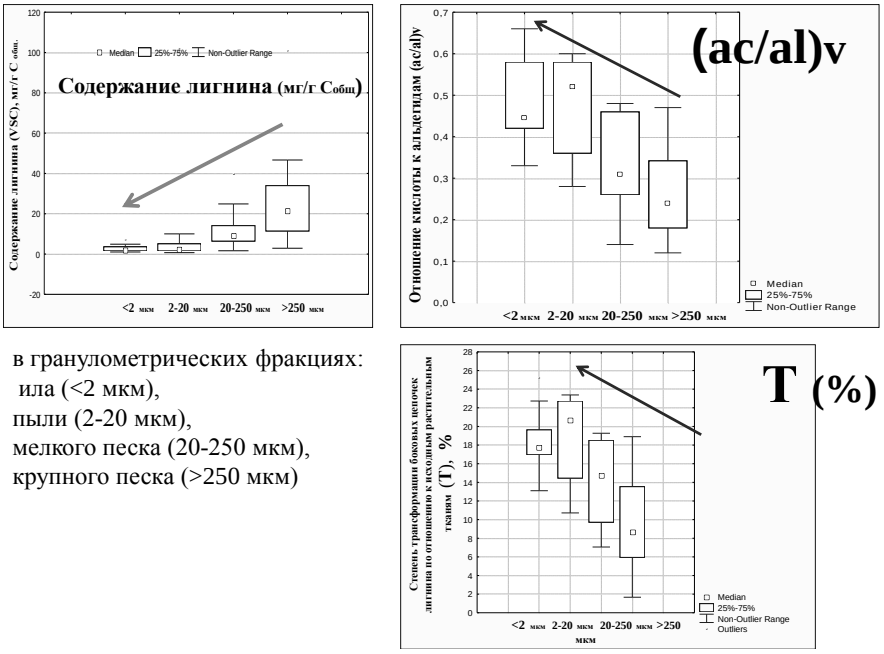
На основании результатов анализа содержания лигниновых фенолов в гранулометрических фракциях почв установлено, что с уменьшением размера частиц количество лигнина (VSC) в них значительно снижается – в 10 раз по сравнению с фракциями крупных частиц. Однако именно к наиболее мелким илистым и пылеватым фракциям приурочены величины максимальной степени окисленности и степени трансформации боковых цепочек биополимера (табл. 15, рис. 10).

Табл. 15. Лигнин в гранулометрических фракциях светло-серых лесных почв (Коломенское ополье)

Мелкозем (мм), фракции, (мкм)	Сумма продуктов окисления лигнина (VSC), мг $г^{-1}С_{орг.}$	S/V	$(ac/al)_v$	$(ac/al)_s$
мелкозем, <2 мм	11,6	0,80	0,27	0,40
ил, 0-2 мкм	6,7	1,09	0,33	0,45
пыль, 2-20 мкм	18,9	0,75	0,29	0,41

*---- (ac/al)v ---отношение ванилиновых кислот к ванилину;
(ac/al)s ---отношение сирингиловых кислот к сирингиловым альдегидам

По-видимому, молекулы биополимера инкрустируются глинистыми минералами и становятся недоступными для микроорганизмов. Вероятно, этим и обусловлена высокая корреляция содержания продуктов окисления лигнина с величиной удельной поверхности почв. Коэффициент корреляции (P=0,95) между величинами максимальной степени окисленности и степенью трансформации боковых цепочек биополимера по отношению к исходной растительной ткани (%) и величиной удельной поверхности ($м^2/г$) в светло-серых почвах Коломенского ополья – r=0,90-0,97; в агросерых почвах Брянского ополья – r=0,73. Можно предполагать, что окисленные мономеры лигнина фиксируются глинистыми минералами. Интересно отметить, что именно к мелким фракциям приурочено и наибольшее содержание биофильных элементов: углерода, азота, серы [17], что обусловлено также и их микробным ресинтезом на элементарных почвенных частицах.



в гранулометрических фракциях:
ила (<2 мкм),
пыли (2-20 мкм),
мелкого песка (20-250 мкм),
крупного песка (>250 мкм)

Рис. 10. Квантильное распределение продуктов окисления лигнина (VSC), мг/г $С_{орг.}$, показателей степени окисленности (ac/al)v) и степени трансформации лигнина по отношению к исходной растительной ткани (T, %) в гранулометрических фракциях почв Северного Кавказа

Стабилизации лигнина при погребении. Хорошая сохранность лигниновых фенолов при погребении объясняется тем, что они прошли длительную стадию биохимических превращений в результате карбоксилирования и фрагментарных реакций конденсации, в которые вступают его фенилпропановые звенья после погребения, и становятся ограниченно способными только к некоторым реакциям, особенно в условиях пониженной биологической активности. Такие условия мы наблюдаем во вторых гумусовых горизонтах, например агросерых почв Брянского ополья. При невысоких величинах содержания лигнина в погребенных горизонтах (VSC – 0,72-0,79 мг/г углерода) наблюдается максимальная в исследуемом ряду почв степень окисленности и степень трансформации биополимера (Т, % – 50,4-53,3). Следствием этого, вероятно, являются гуматный характер гумуса. Возникновение новых типов гуминовых кислот – с развитой ароматической частью в составе гумуса погребенных почв (табл. 16), что подтверждает теорию керогенообразования [29].

Табл. 16. Продукты окисления лигнина (лигниновые фенолы), мг/г $C_{орг.}$ в агросерых почвах Брянского ополья

Горизонт, глубина, см	Ванилин	Ванилиновая кислота	Сиреневый альдегид	Сиреневая кис-та	Куммаровая кис-та	Феруловая кис-та	V, %	S, %	C, %	V:S:C
Агросерая со вторым гумусовым горизонтом почва										
Ap 0-33	1,52	0,44	4,03	1,47	0,81	0,85	21,6	60,3	18,3	1:3:1
A[hh] 33-63	**0,09**	**0,26**	**0,17**	**0,15**	**0,00**	**0,06**	**48,1**	**43,8**	**8,2**	**6:5:1**
Агросерая со вторым гумусовым горизонтом почва										
Ap 0-20	1,19	2,11	0,30	1,07	0,98	1,12	22,1	46,9	31,1	1:2:1
A[hh] 50-58	**0,12**	**0,11**	**0,30**	**0,17**	**0,00**	**0,09**	**54,0**	**35,1**	**10,7**	**5:3:1**
Агросерая почва										
Ap 0–30	0,91	2,41	0,25	0,89	0,59	0,75	20,0	56,8	23,2	1:3:1
EB 30–55	0,13	0,28	0,06	0,32	0,74	0,31	10,6	18,4	57,1	1:2:5

Резкие отличия композиционных пропорций лигниновых фенолов также свойственны и гуминовым кислотам, извлеченным из погребенных горизонтов разного возраста (табл. 8), и связаны с увеличением доли ванилиновых фенолов – до 2:1:1 в горном черноземе (B[hh]-горизонт (120-137 см)), 3:4:1 в горной коричневой почве (A[hh]-горизонт (34-60 см)), 5:1:1 в горно-луговой субальпийской почве (A[hh]-горизонт (35-57 см)). Сравнение лигниновых фенолов в почвах и лигниновых структур в препаратах гуминовых кислот позволяет их использовать в качестве биомаркера палеорастительности [24].

Таким образом, пропорции лигниновых фенолов благодаря их химической и физиологической специфичности, наряду с высокой устойчивостью к разложению, могут быть использованы в качестве биомаркеров наземного органического вещества при реконструкции условий палеосреды.

Заключение. Независимо от географической приуроченности экосистемы, тип поступающего в почву продуктов окисления лигнина определяется разными типами растительных ассоциаций: в хвойных лесах доминируют гваяциловые (ванилиновые) фенолы, широколиственным и мелколиственным лесам свойственны равные пропорции ванилинов и сирингилов, в степных экосистемах доминируют феруловые фенолы, а в луговых сообществах – циннамиловые структуры.

Главным источником ароматических фенольных соединений в почвах является лигнин надземной и подземной биомассы высших растений. При этом доминирующая роль принадлежит подземным органам растений.

Существуют разные ландшафтно-зональные типы трансформации лигнина в почвах: лесной, степной, луговый, тропический, агро-антропогенный и др. Для их характеристики могут быть использованы «лигниновые параметры»: (VSC (общее количество продуктов окисления лигнина) C/V (циннамилы/ванилины), S/V (сирингилы/ванилины), K/F (кумарилы/ферулы), кислоты/альдегиды, степень трансформации боковых цепочек лигнина по отношению к исходным растительным тканям (T, %)).

Гетерогенность генезиса лигнина обуславливает возможность возникновения большого числа разнообразных продуктов его разложения (ароматических кислот и альдегидов), сохраняющих композиционный состав биополимера в ряду: «ткани растений – подстилка – почва – гуминовые кислоты – погребенные гуминовые кислоты».

Биохимический состав растений разных экосистем оказывает решающее влияние на характер гумификации, определяя механизмы гумусообразования и структуру гуминовых кислот.

Вероятные пути трансформации лигнина в почвах в зависимости от термодинамических условий среды: 1) стабилизация и консервация лигниновых полимеров в виде высококонденсированных многоядерных ароматических структур в восстановительных условиях, в аккумулятивных позициях ландшафта, внутри агрегатов, в глеевых горизонтах почв; 2) незначительная трансформация биополимера вследствие увеличения его растворимости в контрастной окислительно-восстановительной обстановке при сохранении неизменными главных лигниновых структур (ортштейны, металл-органические комплексы, гуминовые кислоты); 3) деградация лигнинов в окислительной среде до более простых фенольных кислот – агентов почвообразовательных процессов и биохимических превращений; 4) конденсация при погребении.

Пропорции лигниновых фенолов благодаря их химической и физиологической специфичности, наряду с высокой устойчивостью к разложению, могут быть использованы в качестве биомаркеров наземного органического вещества при реконструкции условий палеосреды.

Таким образом, в отличие от гуминовых кислот, формулы и химическое строение которых изучаются в течение последнего столетия и до сих пор остаются неизвестными, лигниновые фенолы достоверно

обнаружены в растениях, их опаде, подстилке, в почве, в агрегатах, гранулометрических фракциях, Fe-Mn конкрециях и в выделенных из дневных и погребенных почв гуминовых кислотах. Состав лигнина можно идентифицировать методами современной биохимии. Ароматические структуры лигнина в растениях, в подстилках, почве, гуминовых кислотах позволяют оценить генезис органического вещества, влияние его состава на биогеохимические процессы в почвах и сопредельных средах, прогнозировать их экологическое состояние в будущем.

Литература

1. Александрова Л.Н. Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. – Л.: Наука,1980. – 288 с.
2. Бамбалов Н.Н. Выделение и свойства препаратов лигнина из гумифицированных материалов // Почвоведение, 2001, № 5. С. 549-556.
3. Блажей А., Шутый Л. Фенольные соединения растительного происхождения (перевод со словацкого) // Издательство «Мир», Москва, 1977 (1973). 207 с.
4. Браунс Ф. Э., Браунс Д. А. Химия лигнина. – М.: Лесная промышленность, 1964. 415 с.
5. Ваксман С.А. Гумус. Происхождение, химический состав и значение его в природе (1936). М., Сельхозгиз, 1937. 472 с.
6. Гришина Л.А. Биологический круговорот и его роль в почвообразовании. Курс лекций.. М.: Изд-во МГУ, 1974. – 128 с.
7. Добровольский Г.В. Избранные труды по почвоведению. Т.2: Генезис и география почв России и сопредельных стран. – М.: Изд-во МГУ, 2005. – 466с.
8. Закис Г.Ф. Функциональный анализ лигнинов и их производных. Рига: Зинатне, 1987. 230 с.
9. Ковалев И.В. Эколого-гидрологическая оценка светло-серых оглеенных почв и их изменение под влиянием дренажа //Автореф. дис. канд. биол. н., М: МГУ, 1994, 25 с.
10. Ковалев И.В. Роль лигнина и биофильных элементов в конкрециообразовании // Электронный журнал «Доклады по экологическому почвоведению», 2014, выпуск 20, № 1. С. 13-60. http://soilinst.msu.ru
11. Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Биохимия лигнина в почвах периодического переувлажнения (на примере агросерых почв ополий Русской равнины) // Почвоведение. 2008. № 10. С. 1205-1216.
12. Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Органофосфаты в почвах периодического переувлажнения (по данным ^{31}Р ЯМР–спектроскопии) // Почвоведение, 2011, № 1. С. 24-30.
13. Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Пул аминосахаров в почвах периодического переувлажнения // Роль почв в биосфере. Тр. Ин-та экологического почвоведения МГУ им. М.В.Ломоносова. – Вып. 12. –М.: МАКС Пресс, 2012. С. 136-147.
14. Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Железо в агросерых почвах Брянского ополья // Роль почв в биосфере. Тр. Ин-та экологического почвоведения МГУ им. М.В.Ломоносова. – Вып. 12. –М.: МАКС Пресс, 2012. С. 78-94.
15. Ковалев И.В., Ковалева. Лигнин в почвах как молекулярный индикатор палеорастительности //Электронный журнал «Доклады по экологическому почвоведению», 2013, выпуск 18, № 1, с. 235-262. http://soilinst.msu.ru.
16. Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Новое в исследовании лигнина (по данным ^{13}С ЯМР-спектроскопии в гуминовых кислотах почв разных природных зон //Электронный журнал

«Доклады по экологическому почвоведению», 2013, выпуск 19, № 2. С. 142-172. http://soilinst.msu.ru

17. Ковалев И.В., Ковалева Н.О. Роль лигниновых фенолов в органоминеральных взаимодействиях // Электронный журнал «Доклады по экологическому почвоведению», 2014, выпуск 20, № 1. С. 45-60. http://soilinst.msu.ru

18. Ковалев И.В., Сарычева И.В. Соединения железа в серых лесных гидроморфных почвах // Вестн. Моск. ун-та. Сер.17, почвоведение. 2007. № 2. С. 30-36.

19. Ковалева Н.О. Горные почвы Евразии как палеоклиматический архив позднеледниковья и голоцена // Автореф. дис. докт. биол. н. М., 2009. 50 с.

20. Ковалева Н.О. Евдокимова Т.И. Характеристика органического вещества горных почв северного склона Киргизского хребта Тянь-Шаня. // Почвоведение, 1995, № 10. С. 1239-1247.

21. Ковалева Н.О., Ковалев И.В. Особенности органического вещества железисто-марганцевых конкреций серых лесных почв (по данным ^{13}C ЯМР-спектроскопии) //Вестник московского университета, серия 17, почвоведение, 2003, № 2. С. 25-32.

22. Ковалева Н.О., Ковалев И.В. Биотрансформация лигнина в лесных почвах. //Лесоведение, 2006, № 3. С. 57-63.

23. Ковалева Н.О., Ковалев И.В. Биотрансформация лигнина в дневных и погребенных почвах разных экосистем // Почвоведение, 2009. № 11. С. 84-96.

24. Ковалева Н.О., Ковалев И.В. Лигниновые фенолы в почвах как биомаркеры палеорастительности // Почвоведение, 2015. № 9. (в печати).

25. Ковалева Н.О., Терентьева Е.В., Ковалев И.В. Липидная фракция почвенного гумуса как источник палеопедологической информации // Тез. Докл. III всерос. конф. «Гуминовые вещества в биосфере». Санкт-Петербург, 2005. С. 64-65.

26. Комаров А.А. Роль гидролизного лигнина в плодородии почв и питании растений: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.01.03: Санкт-Петербург, 2004. 383 с.

27. Кононова М.М. Органическое вещество почв. Его природа, свойства и методы изучения. М.; Изд-во АН СССР, 1963, 316 с.

28. Кочева Л.С. Структурная организация и свойства лигнина и целлюлозы травянистых растений семества злаковых // Автореф. дис. д-ра хим. наук. Архангельск. 2008. 43 с.

29. Манская С.М., Кодина Л.А. Геохимия лигнина. М.; 1975. 232 С.

30. Орлов Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 325 с.

31. Сарканен К.В., Людвиг К.Х. Лигнины. М.: Лесная промышленность, 1975. 629 с.

32. Тюрин И.В. Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии почв. Учение о почвенном гумусе. М-Л., Сельхозгиз, 1937, 278 (285) с.

33. Amelung W. Zum Klimaeinfluß auf die organische Substanz nordamerikanischer Prärieböden. Bayreuth, 1997. 131 s.

34. Haider K. Von der toten organischen Substanz zum Humus // Z. Pflanzenernähr. Bodenk. 1999. 162. S. 363-371.

35. Ertel J.R., Hedges J.I. The lignin component of humic substances: Distributuion among the soil and sedimentary humic, fulvic and base-insoluble fractions // Geochim. Cosmochim. Acta. 1984. V. 48. P. 2065-2074.

36. Kleber M., Sollins S., Sutton R.A. A conceptual model of organo-mineral interactions in soils: self-assembly of organic molecular fragments into multilayered structures on mineral surfaces // Biogeochemistry. 2007. V. 85. P. 9-24.

37. Kögel I. Estimation and decomposition pattern of the lignin component in forest soil // Soil Biol. Biochem. 1986. № 18. P. 589-594.

38. Kögel I., Ziegler F., Zech W. Lignin signature of subalpine Rendzinas (Tangel- and Moderrendzina) in The Bavarian Alps // Pflanzenernähr. Bodenk. 1988. N 151. P. 15-20.

39. Kovaleva N.O. Some srecific features of biological circulation in subalpine zone of northern slope of Kirgiz Range // Vestnik Moskovskogo Universiteta, V. 44, N 2. 1989. P. 50-52.

40. Lützow M., Kögel-Knabner I., Ludwig B. et al. 2008. Stabilization mechanisms of organic matter in four temperate soils: development and application of a conceptual model // J. Plant Nutr. Soil Sci. V. 171. P. 111-124.

41. Schmidt M.W.I., Torn M.S., Abiven S., Dittmar T., Guggenberger G., Janssens I.F., Kleber M., Kögel-Knabner I., Lehmann J., Manning D.A.C., Nannipieri P., Rasse D.P., Weiner S., Trumbore S.E. Persistence of sol organic matter as an ecosystem property // Nature. 2011. V. 478. P. 49-56.

42. Schnitzer M. Soil organic matter – the next 75 years // Soil Sci. 1991. V. 151. № 1. P. 41-58.

43. Schulten H.R. und Leinweber P. Influence of long-term fertilization with farmyard manure on soil organic matter: Characteristics of particle-size fractions // Biol. Fertil. Soils, 1991. V.12. P. 81-88.

44. Schulten H.-R., Schnitzer M. Chemical model structures for soil organic matter and soils // Soil Sci. 1997. V. 162. P. 115-130.

45. Skjemstad J.O., Frost R.L., and Barron P.F. Structural Units in Humic Acids from Soutth-eastern Queensland Soils as Determined by ^{13}C NMR Spectroscopy. // Aust.J.Soil Res., 1983, V. 21. P. 539-547.

46. Stevenson F.J. Humus chemistry: genesis, composition, reactions. N.Y.: John Wiley & Sons, 1994. 496 p.

47. Zech W., Hempfling R., Haumaier L., Schulten H.-R. and Haider K. Humification in subalpine Rendzinas: chemical analyses, IR and ^{13}C NMR spectroscopy and pyrolysis-field ionization mass spectrometry. // Geoderma, 1990, pp. 123-138.

ЭКОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БАКТЕРИАЛЬНЫХ СООБЩЕСТВ ВЕРХОВЫХ БОЛОТ

Якушев А.В., Добровольская Т.Г., Головченко А.В., Юрченко Е.Н.
Факультет почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова, г. Москва
a_yakushev84@mail.ru

Введение. Площадь болот в мире оценивается в 4 млн. км^2 (3,5 % суши Земли) [18, 20] и занимает более 20 % территории России [4]. Болота накапливают воду, органическое вещество (обеспечивая постоянный сток атмосферного углерода), сохраняют биологическое разнообразие. В торфах находится 30 % углерода почв [18]. Исследование болот важно, так как изменение климата может увеличить выделение парниковых газов в атмосферу за счёт минерализации торфа [21], сократить площади торфяников, что уменьшит биоразнообразие и изменит обводнённость территории. Болота по положению в рельефе, снабжению водой и зольными элементами подразделяются на низинные (евтрофные), переходные (мезотрофные) и верховые (олиготрофные) [2, 14]. Верховые торфяники расположены на территориях северо-западной, центральной части России, Западно-Сибирской низменности [11], они содержат до 50 % запасов торфа в России [12]. Органическое вещество в болотах накапливается из-за преобладания синтеза органического вещества над его минерализацией. Разложение торфа микроорганизмами замедляют низкие температуры, обилие кислот, нехватка кислорода и элементов питания, специфические токсичные вещества, особый состав полисахаридов сфагнума, который с трудом поддаётся разрушению микроорганизмами [1, 6, 8, 16, 19]. Для того, чтобы разобраться в этих причинах, необходимо знать, какие микроорганизмы населяют торф.

Первые исследования микробных сообществ торфяников в 20-30-ые годы XX века [13, 22] разрознены. В 40-80-ые годы XX века целенаправленно изучалось разнообразие бактерий на уровне физиологических групп [3, 5, 7, 9], затем – на родовом уровне [10,17]. Современный этап отличает применение молекулярных методов анализа, позволяющих исследовать бактериальное разнообразие непосредственно in situ, минуя стадии высевов на питательные среды: формирование и анализ библиотек клонов с использованием ПЦР, T-RFLP- или ДГГЕ-анализов амплифицированных фрагментов генов, а также прямой микроскопический анализ образцов методом FISH (fluorescent in situ hybridization).

Литературные данные указывают на следующие особенности бактериальных комплексов болот:

1. Доминируют гидробионты – адаптация бактерий к обитанию в земноводных ландшафтах. 2. Преобладают в аэробном блоке факультативные анаэробы и микроаэрофилы – адаптация к дефициту кислорода в болотах. 3. Часто встречаются в верховых болотах бактерии, способные к росту при

низких значениях pH (в том числе Acidobacteria), что связано с адаптацией к кислой реакции среды. 4. Низкое обилие и разнообразие гидролитических бактерий (особенно целлюлозолитиков). Планктомицеты – один из основных компонентов целлюлозолитического бактериального сообщества кислых болот. 5. Обилие метаногенов и метанотрофов. 6. Высокая доля психрофильных бактерий.

Опубликованные работы по характеристике микробных сообществ торфяных почв посвящены, в основном, оценке таксономического разнообразия, определённого разными методами. Приводятся данные об экологической роли бактерий отдельных групп или родов – планктомицетов, буркхольдерий, ацидобактерий. Однако в большинстве работ не содержится данных, позволяющих оценить и сравнить активность и физиологическое разнообразие бактерий гидролитического комплекса в верховых и низинных торфяниках. При решении этого вопроса целесообразно выявить отличия в структуре и функционировании микробных сообществ между верховыми и низинными торфяниками, так как в низинных деструкция растительных остатков осуществляется быстрее.

Цель исследования – установить отличительные особенности физиологического разнообразия, физиологического состояния и преобладающей экологической стратегии среди членов гетеротрофного бактериального комплекса верховых болот по сравнению с низинными. Микробиологическое исследование проводили новым комплексным структурно-функциональным методом характеристики микробных популяций в природе.

Объекты и методы исследования. Исследовалась олиготрофная остаточно-эутрофная торфяная почва под сосняком кустарничково-пушицево-сфагновым, являющаяся постоянной пробной площадью Западнодвинского лесо-болотного стационара ФГБУН Института лесоведения РАН (56˚09’с.ш., 32˚10’в.д. и 56˚09’с.ш., 32˚08’в.д.) в Тверской области. Анализировались образцы торфяных горизонтов (pH солевой 2,5-4 степень разложения торфа 5–10 %), отобранные до глубины 1 м в июне (период дождей) и августе (после аномальной жары) 2010 г. За месяц до первого отбора образцов (июнь) общее количество осадков составило 144 мм при средних температурах воздуха 15-21°С днем и 10-15°С ночью. Перед вторым отбором образцов (август) количество осадков уменьшилось до 36 мм, а температура воздуха возросла, достигнув 25-31°С (с максимумом до 37°С) в дневное время и 15-22°С – в ночное. В 2010 г. в те же сроки на территории Западнодвинского лесо-болотного стационара анализировались горизонты до 1 м глубиной эутрофной торфяной почвы (pH солевой 5,6–6,1, зольность 7–13 %), расположенной в Грустинском болотном массиве (низинное болото Петушиха), примыкающем к возвышенному моренному рельефу. В Томской области исследовали образцы горизонта Т1 (0-50 см) олиготрофной торфяной почвы (болотный массив «Полынянка», 57°03' с.ш., 82°42' в.д.), pH солевой 2,6-5,2, зольность 3-6 % и горизонта Т1 (0-25 см)

евтрофной торфяной почвы (болотный массив «Таган», 56°21' с.ш., 84°47-48' в.д.) pH солевой 5,7-6,2, зольность 9-14 %, отобранные в июле 2009 г. Все летние месяцы были теплыми. Среднесуточная температура за вегетационный период была равна 20,4°С при норме 13,4°С. Количество выпавших осадков в июне было в пределах нормы, в июле – в 1,5 раза выше нормы. Отбор образцов в июле осуществляли после затяжных дождей.

Определение pH проводили потенциометрическим методом. Зольность исследовали прокаливанием в муфельной печи по стандартной методике.

Бактериальное сообщество исследовали комплексным структурно-функциональным методом [15]. Новизна – в изучении микроорганизмов in situ по характеру роста микробных ассоциаций in vitro – возникающих в селективных условиях жидких питательных сред при инокуляции их почвенной суспензией. Рост интерпретируется в рамках новой «комплексной модели» периодической культуры микроорганизмов. Кинетические параметры таких ассоциаций отражают физиологическое состояние (метаболическую готовность микроорганизмов к росту) бактерий в почве и преобладающую среди бактерий экологическую стратегию в почве (in situ). Способность к росту ассоциаций на различных средах – физиологическое разнообразие микроорганизмов в природе. Посев на плотную среду из исходного инокулята позволяет охарактеризовать таксономический состав доминантов почвенного сообщества и точнее описать рост ассоциаций. Посев из ассоциаций, сформировавшихся на селективных питательных средах, характеризует состав синтрофных группировок, выполняющих определенную функцию в природе. Опишем методику. Поскольку все процедуры проводят с соблюдением стерильности, то был предусмотрен контроль на стерильность. Гомогенизацию и десорбцию микроорганизмов из исследуемых субстратов проводили в водной суспензии (1:10) в течение 20 мин при 2000 об./мин на встряхивателе “Вортэкс” модель “Multi Reax” фирмы “Heidolph”. Крупнодисперсные образцы предварительно измельчали (например, слаборазложившийся торф разрезали ножницами). Для подавления роста грибов в суспензию вносили антигрибной антибиотик нистатин 0,05 %. Избыток частиц субстрата удаляли центрифугированием при 3200 g 5 мин. Концентрацию и состав культивируемых микроорганизмов в исходном субстрате определяли высевом из супернатанта на агаризованную глюкозр-пептонно-дрожжевую (ГПД) среду общепринятым способом. Супернатант добавляли по 100 мкл в ячейки 96-луночной плоскодонной культуральной планшеты с крышкой, в которую уже был внесен набор различных жидких питательных сред по 100 мкл. Исследовали физиологическое разнообразие гетеротрофного бактериального блока, поэтому в качестве единственного источника углерода в питательных средах использовали мономеры: ксилоза, глюкоза, полимеры: крахмал, карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ), пектин, хитин, казеин, ксилан, продукты брожения: ацетат, ароматические соединения: коричная кислота, фенилаланин, среду Эшби для олигонитрофилов. Полимеры стерилизовались

автоклавированием при 0,5 атм. Остальные субстраты фильтровались через мембранные фильтры, с диаметром пор 0,22 мкм. Чтобы не принять за рост на органическом веществе питательной среды рост за счет побочных веществ инокулируемой суспензии исследуемого образца, необходим был контрольный вариант питательной среды без ростового субстрата. Для предотвращения испарения воды из ячеек планшет с боков закрывали лентой парафилм (parafilm). Планшет помещали в имунноферментный анализатор (ИФА) (например, “Sunrise” фирмы “Tecan”), который автоматически регистрирует рост микроорганизмов по оптической плотности (при 620 нм) в динамике, с периодическим встряхиванием планшеты. Для поддержания температуры прибор помещали в климатическую камеру. Температура была стандартная для выращивания почвенных микроорганизмов – 25°С. Периодически во время роста осуществляли посевы на агаризованную ГПД среду, чтобы выяснить состав ассоциаций, развившихся на полимерах. По данным посева из ячеек строили калибровочное уравнение, позволяющее пересчитать оптическую плотность на концентрацию клеток микроорганизмов. Рост периодической смешанной культуры (ассоциации микроорганизмов) в ячейках описывали комплексной моделью, разработанной для чистой культуры. В данной работе теоретически интерпретировался только участок подготовки микроорганизмов к росту (лаг-фаза) и фаза экспоненциального роста. Математическая модель имеет вид $x(t) = x_o(1 - \rho_0 + \rho_0 e^{\mu_m t})$, где x(t) – концентрация клеток (КОЕ/мл) в момент времени t, x_0 – начальная концентрация клеток, ρ_0 – значение функции физиологического состояния растущей культуры в нулевой момент времени, μ_m – максимальная удельная скорость роста микроорганизмов.

В работе определялись следующие параметры: 1. Физиологическое разнообразие бактериального комплекса – процент сред, на которых наблюдался рост бактерий. 2. Метаболическая готовность бактерий к росту на том или ином веществе $\gamma=100+\ln(\rho_0)$: чем она больше, тем готовность больше. Обращаем внимание читателей на то, что ранее [15] дано иное, устаревшее определение γ 3. Максимальная удельная скорость роста ассоциаций бактерий на той или иной питательной среде – отражает доминирующую экологическую стратегию (K- или r-стратегия) в почве. Чем она больше, тем доля бактерий r-стратегов больше.

Результаты и обсуждение. Физиологическое разнообразие, определённое по доле сред (%), в которых регистрируется рост бактерий, закономерно ниже в верховых торфах по сравнению с низинными, как в образцах из Томской области, так и из Тверской области (рис. 1, 2). Прослеживается тенденция к снижению физиологического разнообразия вниз по профилю торфов. Снижение физиологического разнообразия связано с уменьшением доли сред с полимерами (хитин, целлюлоза, пектин, ксилан) и ароматической коричной кислотой, на которых наблюдался рост (табл.). Так, из 40 образцов различных горизонтов верхового торфяника рост был зафиксирован только в трех образцах (на глубине 0-15 см), что

свидетельствует о низкой численности бактерий, способных расти на коричной кислоте, как единственном источнике углерода. Отсутствие бактерий-деструкторов объясняет, почему в верховых торфах происходит накопление бензолкарбоновых кислот, в том числе сфагновой – аналога коричной кислоты.

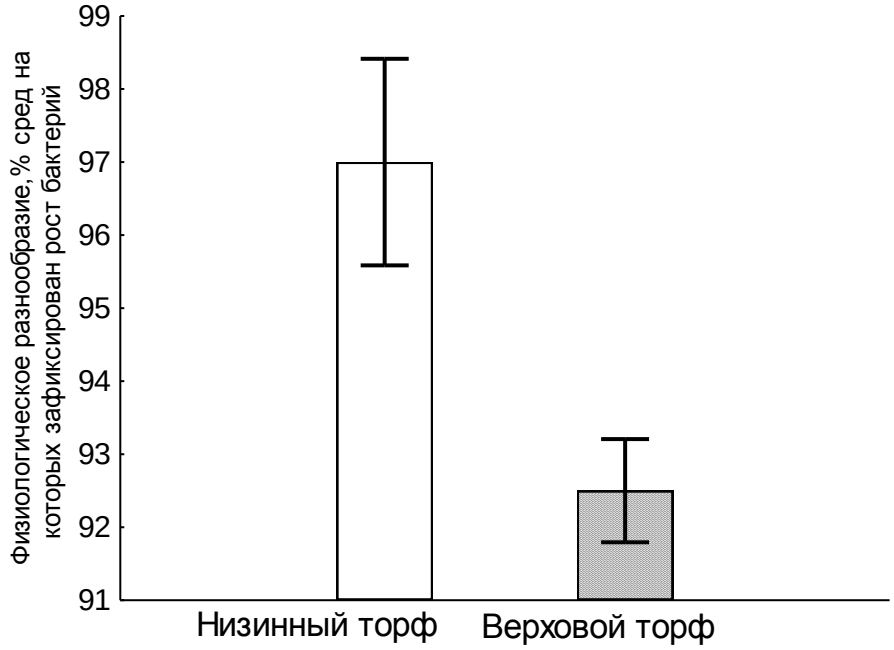


Рис. 1. Физиологическое разнообразие (столбики – среднее арифметическое, «усы» ошибка среднего) гидролитического бактериального комплекса горизонта Т1 верхового и низинного торфа (Томская обл.)

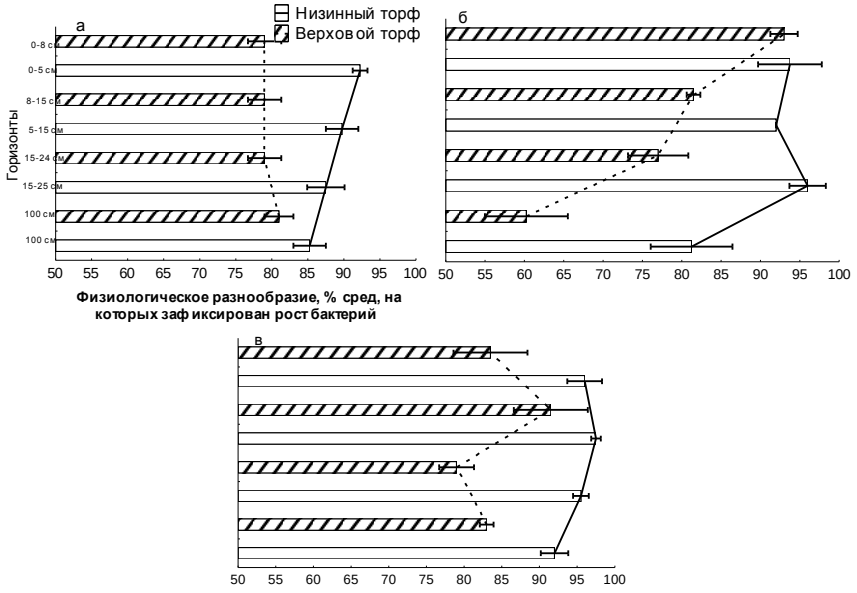


Рис. 2. Физиологическое разнообразие (столбики – среднее арифметическое, «усы» ошибка среднего) гидролитического бактериального комплекса верхового и низинного торфа болот Западнодвинского лесо-болотного стационара. А – отбор образцов горизонтов в июне 2010; б, в – в августе 2010 г.

Доля жидких питательных сред, в которых наблюдался рост хитинолитиков, была в среднем примерно одинакова для обоих типов исследуемых торфяников (табл. 1). Четкой приуроченности бактерий-хитинолитиков к какому-то горизонту выявить не удалось. Процент сред, на которых наблюдался рост на КМЦ, был значительно выше в низинных торфяных почвах. Это свидетельствует о большем обилии бактерий – целлюлозолитиков в низинных торфах. Падение влажности и повышение температуры воздуха, наблюдавшееся в августе, по сравнению с июлем, привело к значительному увеличению обилия как хитинолитических, так и целлюлозолитических бактерий в исследуемых торфяниках и, как следствие, повысило долю лунок с хитином и КМЦ, на которых наблюдался рост (табл. 1). Активизация деятельности бактерий гидролитического комплекса при уменьшении влажности торфов представляется закономерным явлением, учитывая, что при этом улучшается аэрация. На этом фоне выглядит парадоксальным снижение при засухе в верхних двух горизонтах верхового торфа, подвергшихся наибольшей засухи, доли сред, в которых наблюдался рост на пектине, крахмале и ксилане. Мы полагаем, что это связано с тем, что те организмы, которые гидролизуют пектин, крахмал, ксилан, – активны в нативном верховом торфе («аборигенные») и при просыхании торфа они угнетаются, а хитинолитики и целлюлозолитики, чуждые верховому торфу («пришлые») гидролитики, стали, наоборот, более активны при просыхании торфа.

Табл. 1. Развитие бактерий выделенных из торфов Тверской области при различной влажности на ряде сред (% сред, на которых наблюдался рост)

Субстрат	Верховой торф, %			Низинный торф, %		
	в среднем	влажный период	сухой период	в среднем	влажный период	сухой период
хитин	23	10	37	29	10	50
кмц	67	55	79	82	70	92
крахмал	96	100	92	100	100	100
ксилан	93	100	87	100	100	100
пектин	93	100	87	100	100	100
Коричная кислота	8	12	4	84	81	87

Преобладающую среди членов бактериального комплекса торфов экологическую стратегию оценивали по средним значениям максимальной удельной скорости роста (μ_m-аналог параметра r из логистического уравнения Верхюльства) ассоциаций на наборе жидких сред. Каждая ассоциация условно принималась за «вид» микроорганизма. Поскольку при инокуляции суспензией из низинных торфов развиваются более быстрорастущие ассоциации, чем из верхового, то мы полагаем, что в верховых торфах меньше доля бактерий r-стратегов, чем в низинных.

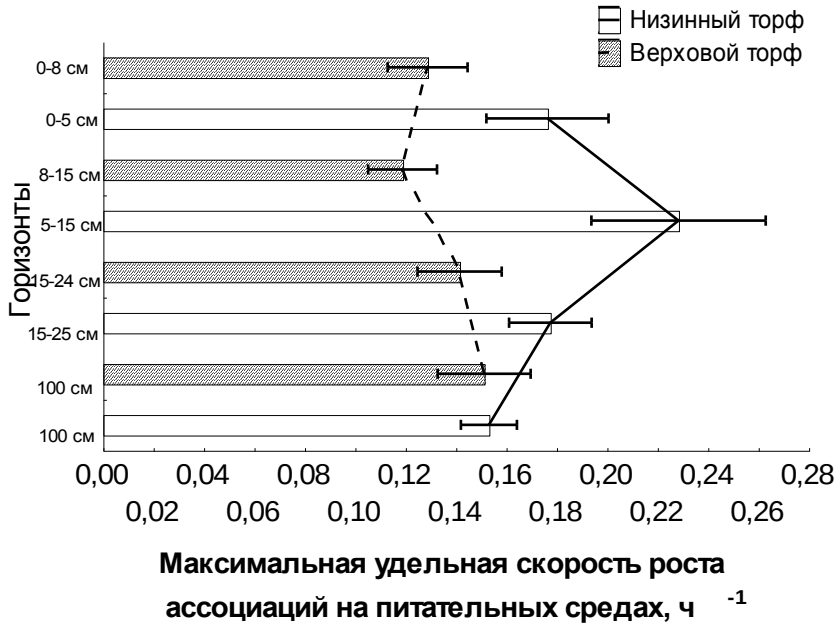


Рис. 3. Средние арифметические значения (столбики) и ошибки среднего (усы) максимальной удельной скорости роста ассоциаций на жидких средах при инокуляции образцами торфов из Тверской области. Данные суммированы по всем срокам отбора образцов

Физиологическое состояние бактерий в торфах (in situ) мы оценивали по начальному (в нулевой момент времени) физиологическому состоянию ассоциаций, возникших на жидких средах. Под физиологическим состоянием растущей культуры микроорганизмов в лаг-фазе и фазе экспоненциального роста мы понимаем $\rho = \frac{\mu}{\mu_m}$, где μ – удельная скорость роста микроорганизмов. При этом ρ_0 – начальное значение физиологического состояния (при t=0), то есть ещё в торфе. Однако ρ – неудобная для представления величина, изменяющаяся в экспериментах в пределах нескольких порядков чисел. Поэтому была введена величина метаболической готовности к росту $\gamma = 100 + \ln(\rho_0)$, которая обратно пропорционально связанна с длительностью лаг-фазы. Чем больше γ, тем больше метаболическая готовность бактерий в торфе к росту. Из рис. 4. следует, что в верховых торфах меньше метаболическая готовность к росту.

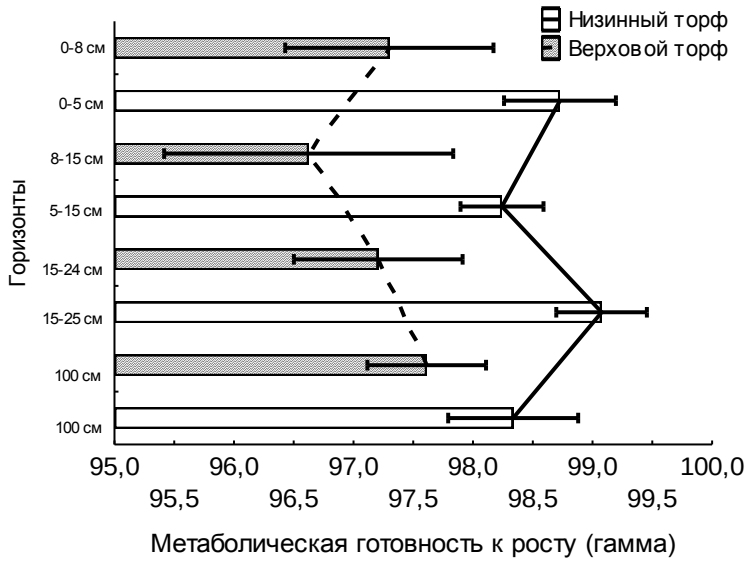


Рис. 4. Метаболическая готовность к росту ассоциаций (среднее арифметическое, ошибка среднего), возникающих на жидких средах после инокуляции торфяной суспензией из торфов Тверской области. Данные суммированы по всем срокам отбора образцов

Заключение. Чтобы грамотно управлять минерализацией и гумификацией в почвах, необходимо точно знать, почему так медленно бактерии разлагают органическое вещество в верховых болотах, по сравнению с низинными. Для этого накопленные учёными данные по составу бактериальных сообществ должны быть дополнены новыми экофизиологическими характеристиками (физиологическое разнообразие сообществ, физиологическое состояние членов, преобладающие среди членов сообществ экологические стратегии) с применением нового, разрабатываемого авторами, комплексного структурно-функционального метода характеристики микробных популяций. Он основан на изучении микроорганизмов in situ не на уровне таксонов или крупных функциональных групп, а на основе кинетики роста микробных ассоциаций в селективных условиях в жидких питательных средах.

Бактериальные комплексы верховых торфов отличаются от ассоциации низинных торфов меньшей готовностью к быстрому разложению полимеров. Ассоциации верховых торфов даже в благоприятных условиях не способны к быстрому росту (меньше значения μ_m). Ассоциации медленнее реагируют на появление пищевых субстратов (γ меньше). Все это указывает на наличие внутренних, связанных со структурой микробных ассоциаций, причин медленного разложения верхового торфа даже после осушения.

Полноценная теоретическая интерпретация данных, полученных в 2009-2010 гг., стала возможной только благодаря методической работе по совершенствованию методов исследования, выполненной в последний год при финансовой поддержке гранта РФФИ № 13-04-00536-а в части анализа физиологического разнообразия бактериальных комплексов и гранта РНФ № 14-50-00029 в части анализа физиологического состояния и экологической стратегии бактерий.

Литература

1. Бамбалов Н.Н. Анализ биологических факторов разложения органического вещества в болотной среде//Материалы пятой научной школы “Болота и биосфера”. Томск: Изд-во ЦНТИ, 2006. С. 18-27.
2. Бахнов В.К. Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса. Новосибирск: Наука, 1986. 192 с.
3. Вавуло Ф.П. Микрофлора почв Белорусской ССР//Микрофлора почв северной и средней части СССР. М: Наука, 1966. С. 114-135.
4. Вомперский С.Э., Иванов А.И., Цыганова О.П., Валяева Н.А., Глухова Т.В., Дубинин А.И., Глухов А.И., Маркелова Л.Г. Заболоченные органогенные почвы и болота России и запас углерода в их торфах// Почвоведение. 1994. № 12. С. 17-25.
5. Гантимурова Н.И. Микрофлора торфяно-болотных почв/ Микрофлора почв Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1970. С. 148-170.
6. Добровольская Т.Г., Головченко А.В., Звягинцев Д.Г., Инишева Л.И., Кураков А.В., Смагин А.В., Зенова Г.М., Лысак Л.В., Семенова Т.А., Степанов А.Л., Глушакова А.М., Початкова Т.Н., Кухаренко О.С., Качалкин А.В., Якушев А.В., Поздняков Л.А., Богданова О.Ю. Функционирование микробных комплексов верховых торфяников – анализ причин медленной деструкции торфа. М. Товарищество научных изданий КМК, 2013, 128 с.
7. Жданникова Е.Н. Микробиологическая характеристика торфяно-болотных почв Томской области//Заболоченные леса и болота Сибири. М.: АН СССР, 1963. С. 170-182.
8. Заварзин Г.А. Лекции по природоведческой микробиологии. М.: Наука, 2003. 348 с.
9. Зименко Т.Г. Микрофлора торфяных почв/ Микрофлора почв северной и средней части СССР. М: Наука, 1966. С. 136-166.
10. Зименко Т.Г. Микробные ценозы торфяных почв и их функционирование. Минск: Наука и техника, 1983. 179 с.
11. Инишева Л.И., Виноградов В.Ю., Голубина О.А., Ларина Г.В., Порохина Е.В., Шинкеева Н.А., Шурова М.В. Болотные стационары Томского государственного педагогического университета. Томск: Изд-во ТГПУ, 2010. 118 с.
12. Ковалев Н.Г., Поздняков А.И., Мусекаев Д.А., Позднякова Л.А. Торф, торфяные почвы, удобрения. М.: ВНИИМЗ, 1998. 239 с.
13. Максимова О.П. Микробиологическое исследование торфа// Труды ин-та торфа. 1934. № 13. С. 107-113.
14. Тюремнов С.Н. Торфяные месторождения. М.: Недра, 1976. 488 с.
15. Якушев А.В. Комплексный структурно-функциональный метод характеристики микробных популяций //Почвоведение. 2015. № 4. С. 429-446.
16. Aerts R., Wallen B., Malmer N., de Caluwe H. Nutritional constraints on Sphagnum growth and potential decay in northern peatlands// Journal of Ecology. 2001. V. 89. P. 292-299.
17. Christensen P.J., Cook F.D. The microbiology of Alberta muskeg// Canadian Jouranl of Soil Science. 1970. V. 50. P. 171-178.
18. Gorham E. Northern Peatlands: Role in the carbon cycle and probable responses to climatic warming. Ecological applications. 1991. V. 1 (2). P. 182-195.

19. Moore P. Biological processes controlling the development of modern peat-forming ecosystems// Intenational Journal of Coal Geology. 1995. V. 28. P. 99-110.

20. Joosten H., Clarke D. Wise use of peatlands – backround and principles including a framework for decision-making. Saarijarvi: International Mire Conservation Group and International Peat Society, 2002. 304 p.

21. IPCC/ Climate change 2001: The scientific basic. Contribution to working group I to the third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change/ Edited by Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., van der Linden P.J., Dai X., Maskell K., Johnson C.A. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, and New York, NY, USA. 881 p.

22. Waksman S.A., Stevens K.R. Contribition to the chemical composition of peats. V. The role of microorganisms in peat formation and decomposition// Soil Science. 1929. Vol. 28. № 4. P. 315-339.

ГЕОСИСТЕМНЫЙ МОНИТОРИНГ ПОЧВЕННО-РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА КАК ФАКТОР СНИЖЕНИЯ РИСКОВ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСТОЙЧИВОГО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДЕЛЬТОВЫХ ЛАНДШАФТОВ (НА ПРИМЕРЕ ЛУГОВ СРЕДНЕГО УРОВНЯ ДЕЛЬТЫ РЕКИ ВОЛГИ)

Бармин А.Н., Валов М.В., Бармина Е.А., Куренцов И.В., Романов И.В., Романова М.В.
Астраханский государственный университет, г. Астрахань
m.v.valov@mail.ru

Выявление основных тенденций развития почвенно-растительного покрова является необходимым этапом работ по определению и прогнозированию нагрузок на экосистемы дельты реки Волги, что, в свою очередь, необходимо для рекомендаций по повышению устойчивости дельтового региона. В настоящее время в дельте Волги, в связи с происходящими изменениями гидрологического режима, климата, хозяйственной деятельностью человека, крайне необходимой для устойчивого и экологически безопасного развития региона является оценка состояния и изменения природной среды, необходимым элементом которой является организация и ведение почвенно-растительного мониторинга [2].

В 1979 г. в дельте р. Волги, с целью осуществления наблюдения за состоянием почвенного и растительного покровов, в районе п. Володарский лабораторией луговедения Астраханского государственного педагогического университета был заложен стационарный профиль. С помощью нивелира была установлена высота всех точек над меженью реки и их положение относительно рейки расположенного вблизи водомерного поста в с. Большой Могой. Начиная с 1979 г., на закрепленном реперами профиле периодически закладывались 496 площадок 2х2 м. После геоботанического описания в центре описанной площадки закладывался квадрат 1х1 м, по углам и в центре которого брались пробы почв. Эти пробы смешивались и из общей массы отбирался средний образец. Отбор почвенных образцов на профиле в 1979 г. проводился по двум слоям: 0-15 см и 15-30 см. Поскольку после лабораторных анализов оказалось, что корреляция между всеми агрохимическими показателями в двух рядом лежащих почвенных горизонтах высокая, то в следующие годы (1980, 1981, 1990, 1995, 1996, 2002, 2006, 2011 гг.) почвенные образцы извлекались только из одного верхнего слоя, 0-15 см. Ввиду того, что в 1996 и 2002 гг. учеты на профиле были продолжены только на 126 точках, детальный анализ динамики состава ионов в водной вытяжке и продуктивности растительных сообществ приводится именно на этом количестве площадок. Методики проведения и результаты предыдущих мониторинговых исследований опубликованы в работах [13, 14, 4, 5, 6, 7, 8, 9].

Важнейшим фактором, влияющим на содержание легкорастворимых солей в почвах дельты реки Волги, а также на флористический состав растительности и её продуктивность, является гидрологический режим и, прежде всего, характер весенне-летних половодий [3, 10]. В настоящее время объём годового стока реки Волги подвержен значительному влиянию антропогенных факторов [16, 17]. В результате заполнения водохранилищ, расположенных на Волге, произошло значительное перераспределение объёма водного стока по сезонам года [12]. С окончанием заполнения в 1961 году водохранилища Волжской гидроэлектростанции, расположенной в 450 км выше вершины дельты Волги, гидрологический режим является полностью регулируемым [3]. В период с естественным гидрологическим режимом (до 1937 г.) объём среднегодового водного стока составлял 260 км^3 (рис. 1). С 1937 по 1961 гг., в результате значительных расходов воды на заполнения водохранилищ, произошло снижение объёма водного стока до 230 км^3. С конца 1970-х до начала 2000-х годов объёмы среднегодового стока существенно увеличились, несколько превысив значения в естественный период [3, 10]. Необходимо отметить, что основная масса увеличения объёма водного стока пришлась на зимний период, в весенне-летний период объём стока резко сократился по сравнению с 1922-1937 гг. В последний период анализа (2002-2013 г.г.) объём среднегодового водного стока снизился до 247 км^3 [6].

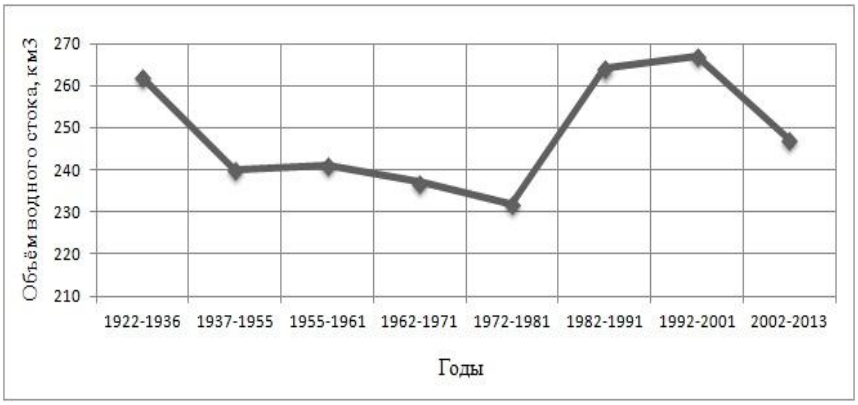


Рис. 1. Средний объём водного стока в створе Волгоградской ГЭС по периодам, км^3

В дельте Волги регулирование водного стока водохранилищами привело к изменению внутригодового водного режима [18]. Средний объём водного стока за второй квартал за период с ненарушенным режимом составлял 141 км^3 (58 % от годового стока) (рис. 2). На последующем временном отрезке наблюдается направленное снижение как объёмов половодья, так и их доли от общегодового стока. В последний период наблюдений (с 2002 по 2013 гг.) средний объём водного стока за второй квартал составил 100 км^3 (40 % от среднего годового стока) [12].

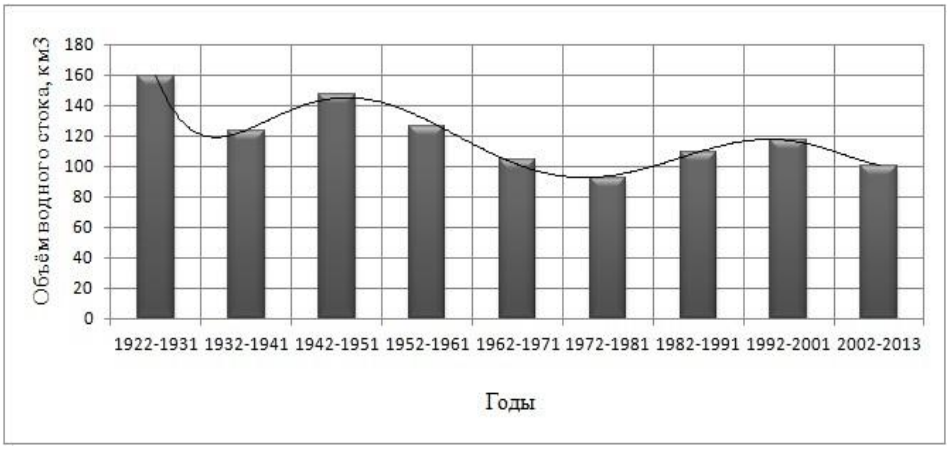


Рис. 2. Средний объём водного стока в створе Волгоградской ГЭС за второй квартал по периодам, км^3

Выявлены значительные колебания максимальных уровней подъёма воды в период половодья по мерке водомерного поста г. Астрахани. Происходило заметное снижение уровня подъёма воды от середины 50-х до конца 70-х годов XX века (рис. 3). С начала 80-х годов уровень подъёма воды существенно увеличился, достигнув максимума в период с 1992 по 2001 гг. В последний период анализа (2002-2013 гг.) максимальный уровень подъёма воды сравнялся по величине с периодом 1952-1961 гг. [3].

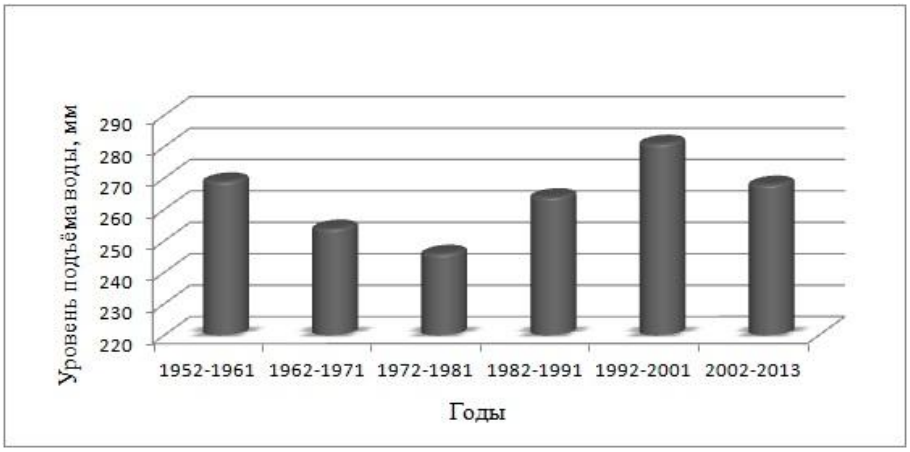


Рис. 3. Максимальный уровень подъёма воды за II квартал по рейке водомерного поста г. Астрахани

Также особое внимание необходимо обратить на повышенные расходы воды в зимние месяцы. Дополнительные сбросы воды осуществляются из-за увеличения расходов электроэнергии в зимний период. До зарегулирования объёмы сброса с декабря по март составляли в среднем 8 км^3, после зарегулирования они выросли вдвое. В апреле расход воды увеличился примерно на 25 %, тогда как в наиболее жизненноважные для флоры и фауны месяцы – мае и июне – объёмы водного стока резко сократились. Так,

например, в мае объёмы попусков снизились на 13-14 км^3, а в июне на 35 км^3 (почти в 2,5 раза) [10].

Данные процессы не могут не сказаться на природных условиях дельты, её растительном покрове, продуктивности естественных кормовых угодий, динамике водорастворимых солей в почвах.

По интенсивности дельтовых процессов, связанных с высотой над меженным уровнем, рельефом и залеганием грунтовых вод после половодья, профессором И.А. Цаценкиным луга дельты Волги были разделены на три экологических уровня: высокий, средний и низкий [20]. В данной работе представлены результаты почвенно-геоботанических исследований, проводимых на лугах среднего уровня (интервал высот 1,3-2,4 м).

Луга среднего уровня широко развиты на выровненных участках дельтовой равнины, являются наиболее ценными в хозяйственном отношении и используются преимущественно как сенокосы [15]. В связи с различиями в увлажнении луга данного уровня были дополнительно разделены авторами на 2 подуровня: 1,3-1,8 и 1,9-2,4 м. Названия высших растений даны по их списку в базе «Flora Europaea» (2008), помещенной на сайте Эдинбургского королевского ботанического сада: http://rbg-web2.rbge.org.uk/FE/fe.html.

Луга, расположенные в интервале высот 1,3-1,8 м, более увлажнены, чем луга, находящиеся в интервале высот 1,9-2,4 м. Длительность их затопления в период половодья составляет в среднем 60 дней, по характеру растительности они относятся к мезофитным [8]. Злаковую основу этих лугов составляют осоково-ситнягово-пырейные или ситнягово-осоково-пырейные ассоциации с участием разнотравья: Euphorbia uralensis, Lythrum virgatum, Senecio jacobaea, Althaea officinalis, Asparagus officinalis. Изредка на этих лугах небольшими пятнами присутствует Phragmites australis. На более сухих местах (интервал высот 1,9-2,4 м) в состав ассоциаций входят Glycyrrhiza glabra, Acroptilon repens, Dodartia orientalis [19]. Средняя длительность затопления лугов, расположенных в данном интервале, в период весенне-летних половодий составляет около 40 дней [8]. С увеличением застойности водного режима увеличивается роль в травостое таких видов, как Hierochloe repens, Lythrum virgatum, Euphorbia palustris, Stachys palustris.

Почвы дельты Волги характеризуются природной обусловленностью к соленакоплению. Данное явление связано с несколькими причинами: залеганием на засолённых морских отложениях Каспийского моря, близким расположением грунтовых вод и особенностями климата территории [4, 21].

Общее количество солей на лугах среднего уровня (1,3-1,8 м) от начала наблюдений до 1991 г. снизилось на 42 % [14] (рис. 4). Начиная с 1995 г. количество солей вновь стало возрастать, приблизившись по своим значениям к 1980 г. Несмотря на увеличение общего содержания солей в 2002 г. отношение Cl/SO_4 было меньше, чем в 1979 г., в 2 раза. То же происходило и с суммарным эффектом токсичных ионов [11].

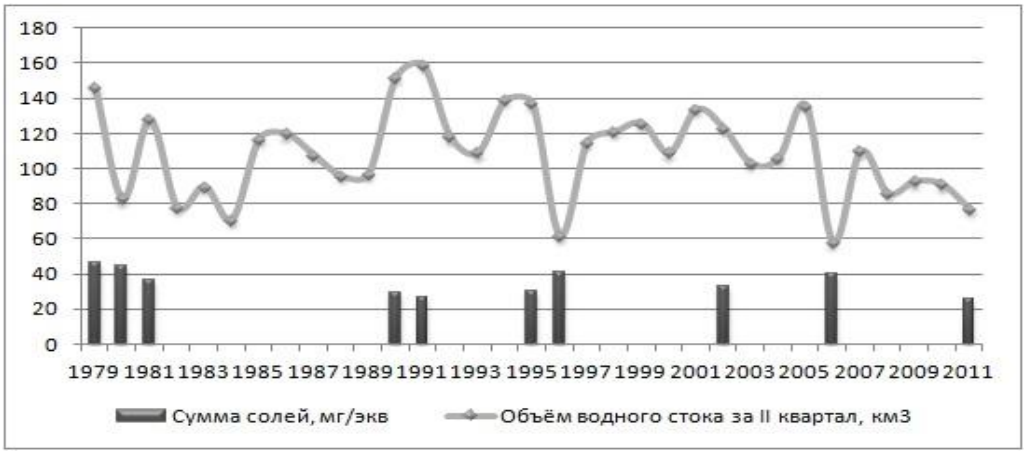


Рис. 4. Динамика суммы водорастворимых солей лугов среднего уровня (1,3-1,8 м) на фоне изменения объёма водного стока р.Волги за II квартал

Несмотря на то, что общее содержание солей выросло, этот показатель в 2002 г. был в 2 раза ниже. В 2011 году общая сумма солей была наименьшей за все годы наблюдений и, по сравнению с 1979 г., снизилась на 44 %. Отношение Cl/SO_4 от 1979 к 2011 г. уменьшилось в 3 раза, токсичность снизилась втрое и была наименьшей за весь период наблюдений [6].

С 1979 по 1995 гг. происходило снижение анионов хлора и сульфатов (рис. 5). В 1996 г. произошло резкое увеличение количества сульфатов в почвах лугов среднего уровня, количество ионов хлора, напротив, снизилось. В 2002 и 2006 гг. количество сульфатов и хлора несколько возросло, в 2011 г. наблюдается снижение содержания данных ионов [8].

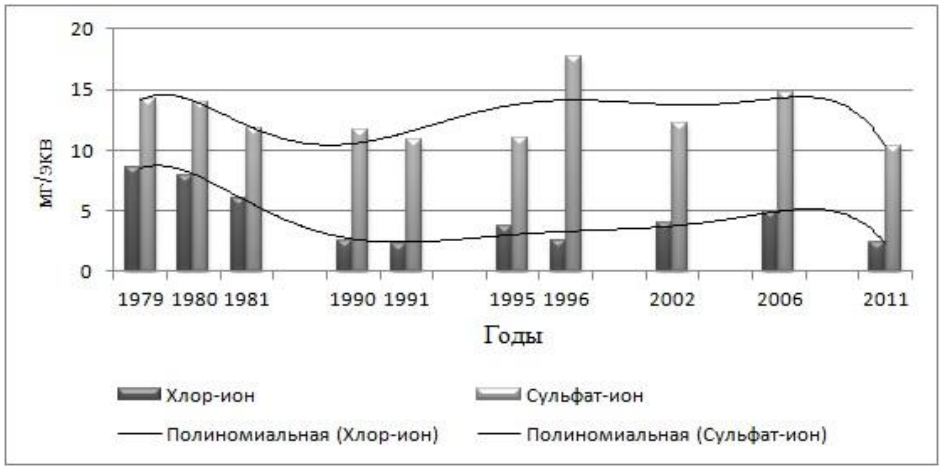


Рис. 5. Динамика анионов в почвах лугов среднего уровня (интервал высот 1,3-1,8 м)

Количество катионов магния и натрия снижалось от 1979 к 1991 гг., количество ионов кальция понижалось с 1979 по 1990 гг. (рис. 6). С 1995 по 2006 гг. происходило увеличение содержания катионов кальция и натрия.

Количество магния, значительно увеличившись в 1996 г., резко сократилось в 2002 г., затем, несколько увеличившись в 2006 г., вновь снизилось в 2011 г. [6].

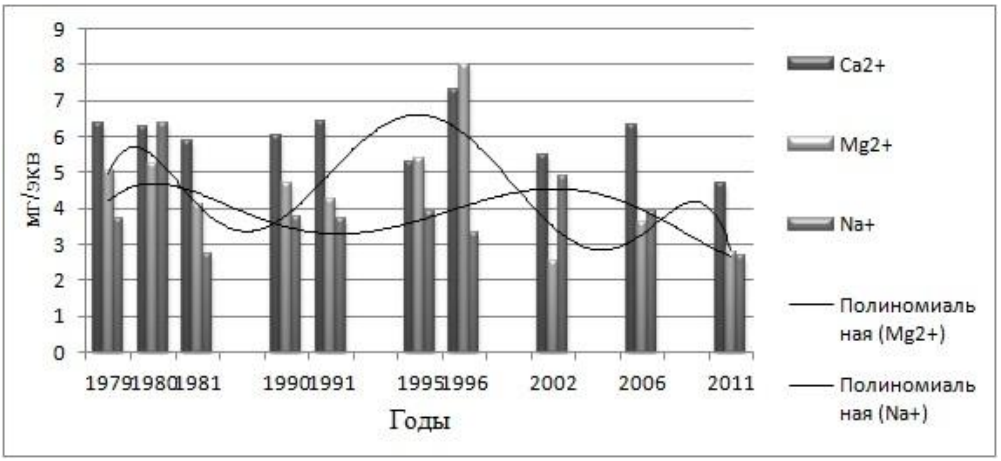


Рис. 6. Динамика катионов в почвах лугов среднего уровня (интервал высот 1,3-1,8 м)

Содержание солей в почвах лугов в интервале высот 1,9-2,4 м флуктуировало, повышаясь или уменьшаясь в незначительных пределах (рис. 7). Однако, в 2011 г. произошло снижение содержания большинства рассматриваемых элементов [8].

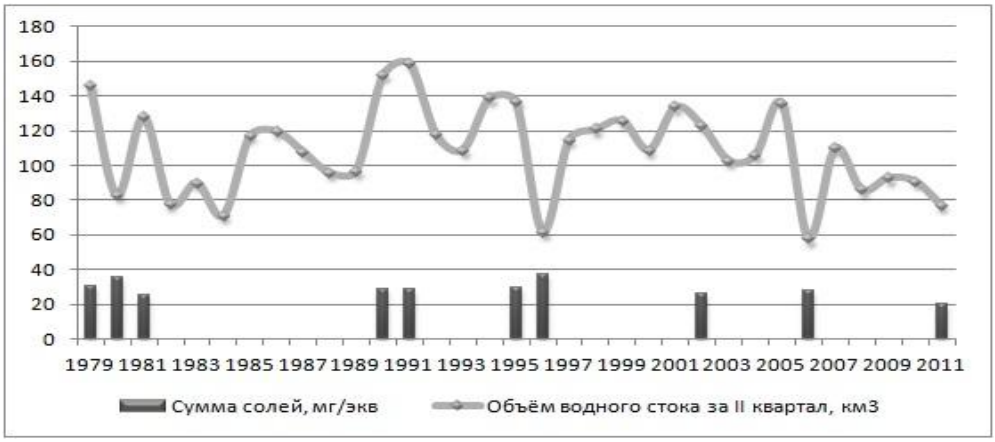


Рис. 7. Динамика суммы водорастворимых солей лугов среднего уровня (1,9-2,4 м) на фоне изменения объёма водного стока р.Волги за II квартал

Сумма солей и токсичность в 2011 г. были наименьшими за период наблюдений. Общее содержание солей в 2011 г. снизилось по отношению к 1979 г. на 33 %, токсичность почвенного раствора в 2011 г., по отношению к 1979 г., снизилась на 40 % [8].

В интервале высот 1,9-2,4 м наблюдается плавное снижение содержания сульфат-иона на всём протяжении анализа при некотором его увеличении в 1996 г. (рис. 8). Содержание хлор-иона, значительно увеличившись в 1980 г., в 1981 г. снизилось и колебалось при общей тенденции к увеличению [14]. В 2006 и 2011 гг. содержание хлора в почвах несколько снизилось [9].

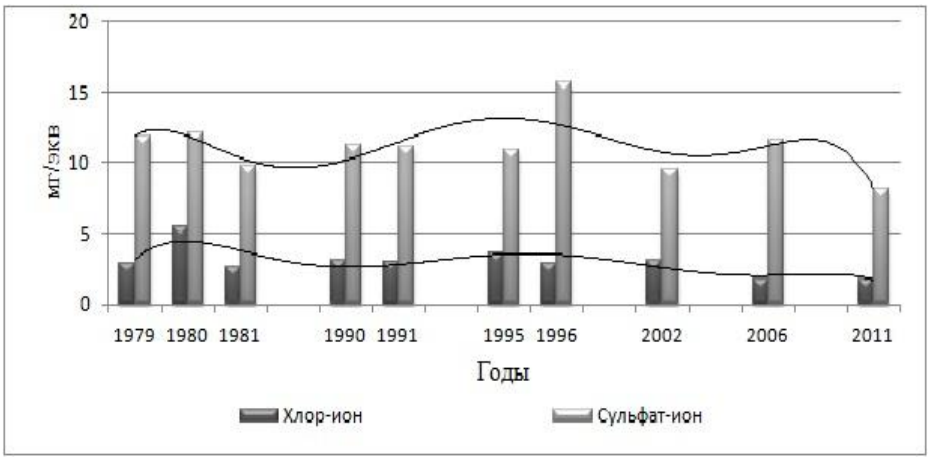


Рис. 8. Динамика анионов в почвах лугов среднего уровня (интервал высот 1,9-2,4 м)

В динамике катиона кальция отмечено плавное снижение его содержания от 1979 к 2011 гг. (рис. 9). Данная тенденция была нарушена лишь в 1996 г. Количество ионов магния снижалось от 1979 к 1991 гг. В 1995-1996 гг. содержание магния в почвах увеличилось почти вдвое, после чего произошло резкое снижение данного иона. В динамике катионов натрия наблюдалось два периода максимума (1980 и 2002 гг.), после которых наблюдались периоды минимума (1981 и 2011 гг.) [8].

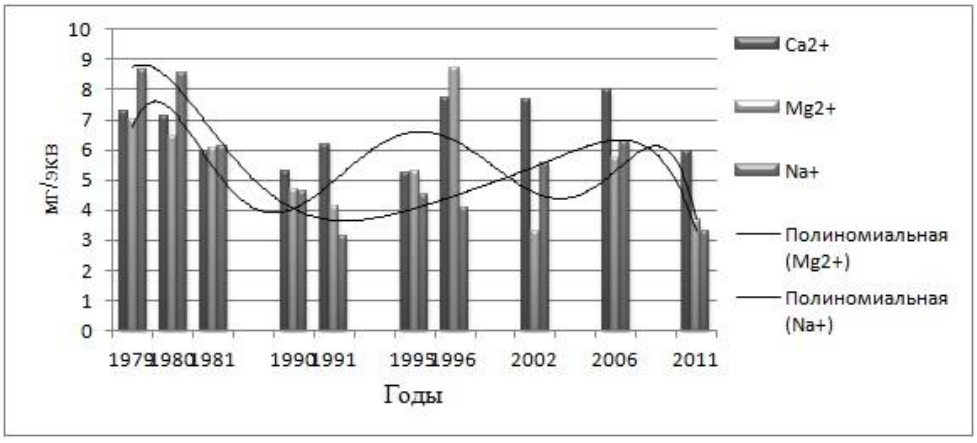


Рис. 9. Динамика катионов в почвах лугов среднего уровня (интервал высот 1,9-2,4 м)

Тенденции динамики метеогидрологических и эдафических факторов повлияли на изменения в растительном покрове лугов среднего уровня дельты реки Волги.

Ввиду того, что динамика продуктивности растительных сообществ лугов, расположенных в интервале 1,9-2,4 м, полностью совпадает с тенденциями динамики лугов, расположенных в интервале 1,3-1,8 м, но с меньшими значениями биомассы, на графике показаны средние значения динамики продуктивности лугов среднего экологического уровня (1,3-2,4 м) (рис. 10).

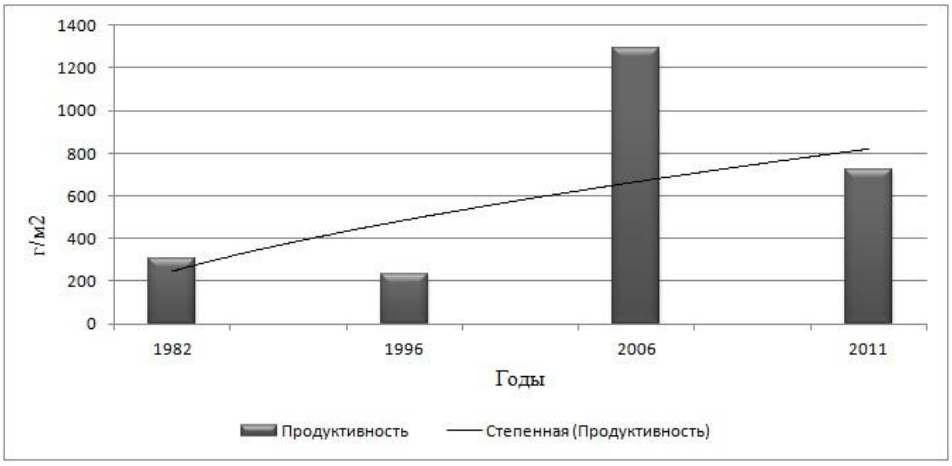


Рис. 10. Динамика продуктивности растительности лугов среднего экологического уровня, г/м^2

С 1982 по 2006 гг. отмечается направленное увеличение продуктивности растительных сообществ, исключением стал лишь маловодный 1996 г. [19].

В 2011 г. большинство видов растений снизили свою биомассу, за исключением Typha angustifolia и Elytrigia repens. Typha angustifolia к 1996 г. по сравнению с 1982 г. увеличил массу в 37 раз. В 2006 г. отмечается снижение продуктивности данного вида (на 74 % по сравнению с 1996 г.), однако в 2011 г. биомасса Typha angustifolia резко возросла (до 68,4 г/м^2 , что составило 7,6 % от общей массы лугов данного уровня). Направленное увеличение продуктивности отмечено у вида Elytrigia repens [15] (рис. 11).

В 2011 г. по сравнению с 1982 г. продуктивность данного вида возросла в 22 раза. Также заметным является рост продуктивности Glycyrrhiza glabra. В 1982 г. данный вид не был встречен в геоботанических описаниях лугов, расположенных в интервале высот 1,3-1,8 м. Резкое увеличение его биомассы отмечено в 2006 г. (до 6,8 % от общей массы), после чего в 2011 г. масса Glycyrrhiza glabra, по сравнению с данными 2006 г., снизилась в 8,6 раза. Последовательно возрастала продуктивность видов Bolboschoenus maritimus, Eleocharis palustris и Phragmites australis. В 2006 г., по сравнению с 1982 г.,

биомасса Bolboschoenus maritimus возросла в 7,3 раза, Eleocharis palustris – в 16,2 раза, Phragmites australis – в 389,4 раза (рис. 12).

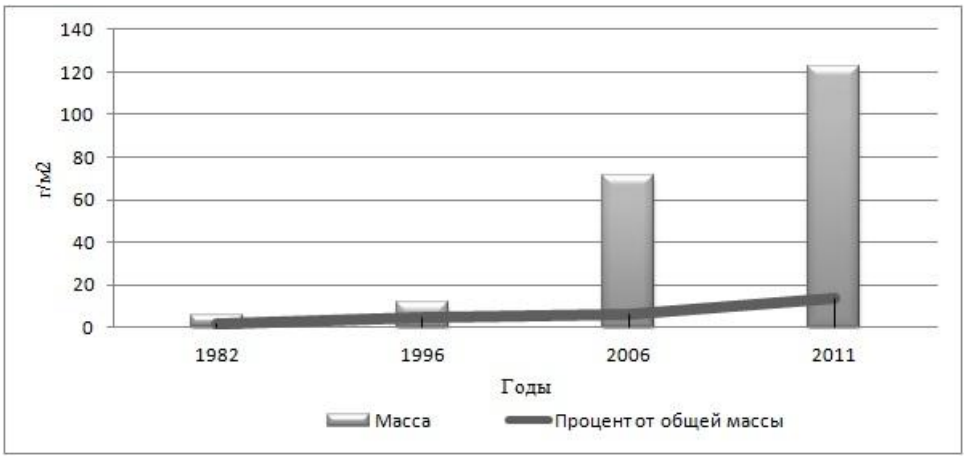


Рис. 11. Динамика надземной массы вида Elytrigia repens на лугах среднего уровня (интервал высот 1,3-1,8 м)

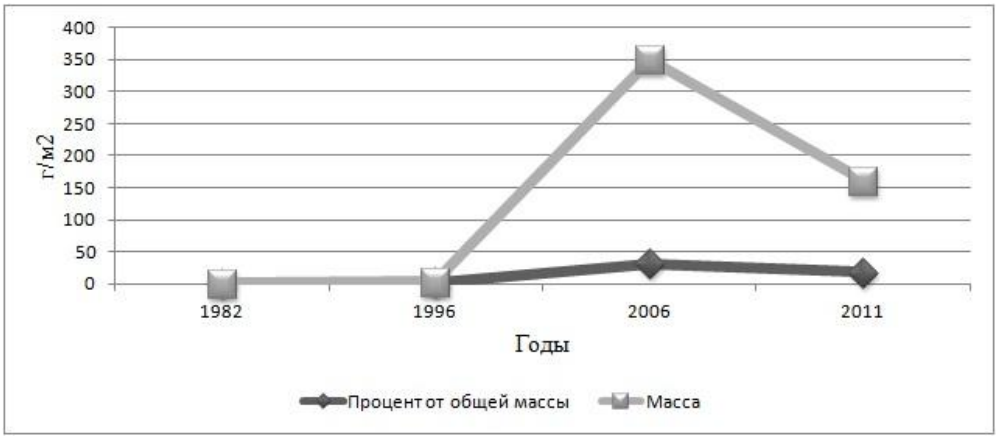


Рис. 12. Динамика надземной массы вида Phragmites australis на лугах среднего уровня (интервал высот 1,3-1,8 м)

В 2011 г. продуктивность данных видов снизилась в 10, 2,3 и 2,2 раза соответственно.

Состав травостоя лугов, расположенных в интервале высот 1,9-2,4 м, несколько отличается от лугов, расположенных в интервале 1,3-1,8 м. В частности, на лугах данного уровня не встречается Typha angustifolia, Phragmites australis появляется в геоботанических описаниях 2006 г. [2] (1,6 % от общей массы) и 2011 г. (6,9 % от общей массы лугов данного уровня) (рис. 13) [15].

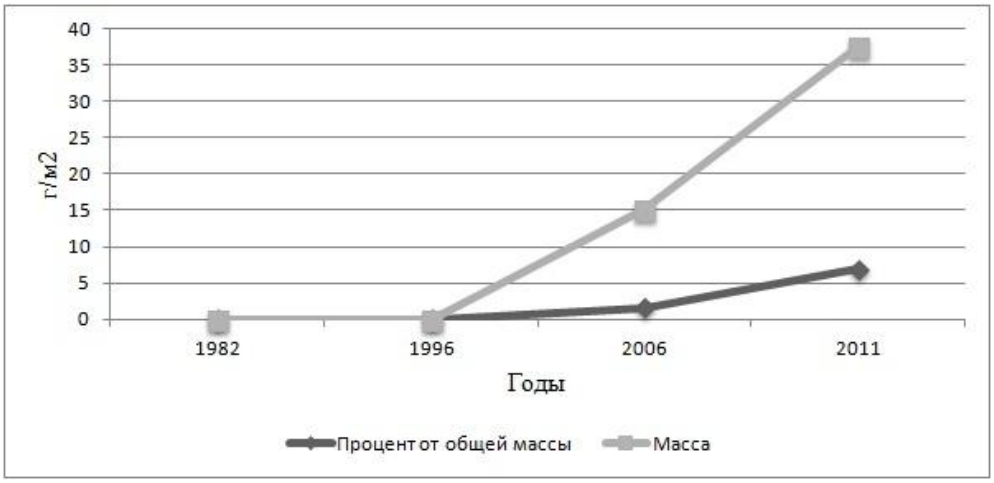


Рис. 13. Динамика надземной массы вида Phragmites australis на лугах среднего уровня (интервал высот 1,9-2,4 м)

Биомасса видов Bolboschoenus maritimus, Elytrigia repens и Glycyrrhiza glabra устойчиво возрастала от 1982 к 2006 гг. В 2006 г. по сравнению с 1982 г. продуктивность Bolboschoenus maritimus возросла в 8,6 раза, Elytrigia repens – в 72,4 раза, Glycyrrhiza glabra – в 467,5 раза [2] (рис. 14).

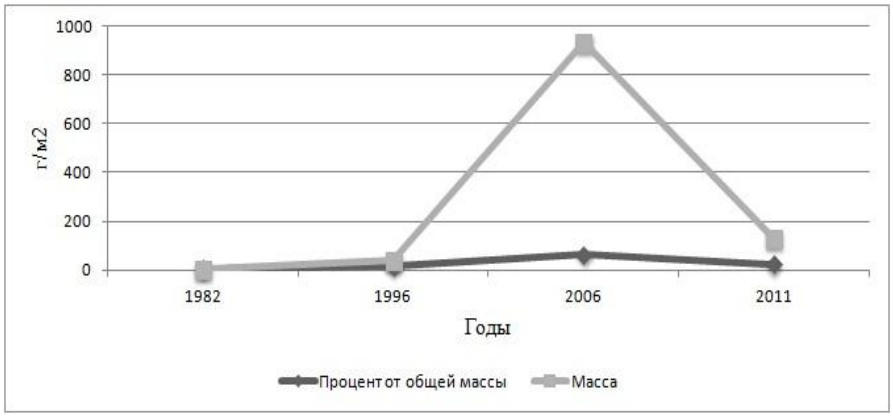


Рис. 14. Динамика надземной массы вида Glycyrrhiza glabra на лугах среднего уровня (интервал высот 1,9-2,4 м)

В 2011 г., по сравнению с 2006 г., биомасса видов Bolboschoenus maritimus и Glycyrrhiza glabra снизилась в 16 и 7 раз соответственно, масса Elytrigia repens снизилась на 20 % (рис. 15).

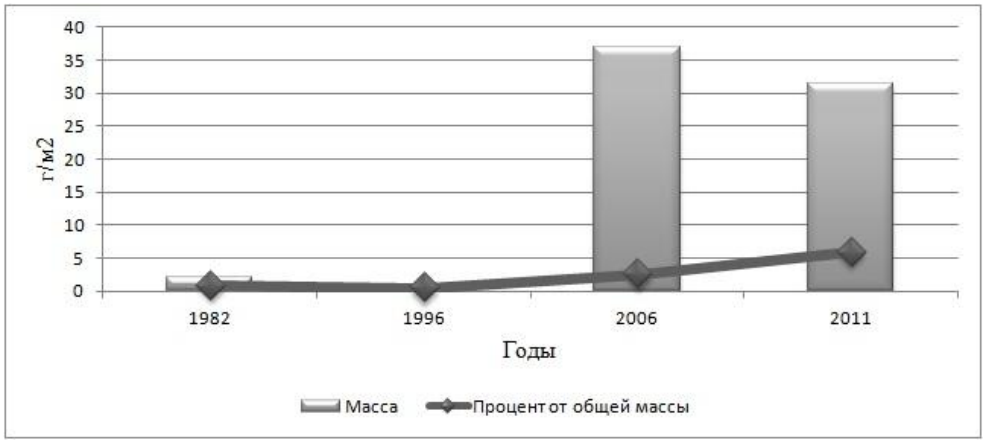


Рис. 15. Динамика надземной массы вида Elytrigia repens на лугах среднего уровня (интервал высот 1,9-2,4 м)

После некоторого увеличения продуктивности Rubia tatarica от 1982 к 1996 гг. данный вид исчез из травостоя лугов, расположенных в интервале 1,9-2,4 м [2].

Таким образом, в дельте реки Волги заметной является связь между объёмами и длительностью весенне-летних половодий, содержанием и химическим составом водорастворимых солей в почвах и продуктивностью и видовым составом растительности луговых сообществ, в связи с чем грамотное регулирование и использование водных ресурсов становится очень важным аспектом устойчивого функционирования дельтовых ландшафтов [15].

По результатам мониторинговых исследований в устьевой природной системе реки Волги выделяются два периода с разными тенденциями динамики почвенно-растительного покрова, которые определялись изменениями объёмов водного стока за II квартал. Первый период – период увеличения водности (с начала наблюдений по 2006 г.) [18]. За это время произошло значительное рассоление почв лугов среднего уровня (общее количество легкорастворимых солей снизилось на 42 %), снижение токсичности почвенного раствора [1] (в три раза) и смена типа засоления с сульфатно-хлоридного на сульфатный, что привело к увеличению продуктивности растительных сообществ [6, 7, 19]. Второй период наблюдается с начала 2006 года и продолжается по настоящее время [16]. Данный период характеризуется снижением объёмов весенне-летних половодий, некоторым увеличением содержания водорастворимых солей в почвах и возрастанием токсичности, в результате чего произошло снижение биологической массы растительности и смена в видовом составе фитоценозов [19].

За период ведения почвенно-растительного мониторинга было выявлено, что наиболее высокие значения биомассы растительности отмечались в дельте реки Волги при объёме водного стока за II квартал около 115 км^3 , в связи с чем данный объём половодий следует считать

оптимальным для луговых сообществ данного региона. Кроме того, при естественных условиях водного стока маловодные года не повторялись дважды, к чему необходимо стремиться и при осуществлении искусственных попусков воды в нижний бьеф Волгоградского гидроузла [15, 19].

Литература

1. Базилевич Н.И., Панкова Е.И. 1968. Опыт классификации почв по засолению. Почвоведение. (11): 3-15.

2. Бармин А.Н., Иолин М.М., Асанова Г.З. 2010. Климатические изменения как фактор влияния на биоценозы дельты р. Волги. Известия высших учебных заведений. Геодезия и аэрофотосъёмка. (3): 31-34.

3. Бармин А.Н., Валов М.В. 2015. Устьевая область реки Волги: интегральная оценка некоторых природных и антропогенных факторов, влияющих на изменение гидрологического режима. Естественные науки. (2): 7-15.

4. Бармин А.Н., Валов М.В., Иолин М.М. 2015. Дельта реки Волги: галогеохимические миграции в почвах лугов высокого уровня. В кн.: Антропогенная трансформация геопространства: история и современность. Материалы II Международной научно-практической конференции (Волгоград. 13-15 мая 2015 г.) Волгоград, Изд-во ВолГУ: 187-196. (а).

5. Бармин А.Н., Валов М.В., Иолин М.М. 2015. Геохимические особенности миграции легкорастворимых солей в почвах лугов низкого уровня дельты реки Волги. Российский журнал прикладной экологии (1): 21-25. (б).

6. Бармин А.Н., Валов М.В., Иолин М.М. 2015. Особенности галогенеза почв дельты реки Волги на лугах среднего уровня в зависимости от изменения природных условий. Геология, география и глобальная энергия. (2): 51-66. (в)

7. Бармин А.Н., Валов М.В., Иолин М.М. 2015. Почвы лугов среднего уровня дельты реки Волги: результаты многолетних наблюдений за изменением содержания водорастворимых солей. В кн.: Роль почв в биосфере и жизни человека. Материалы Международной научной конференции. Москва. 5-7 октября. М.: МАКС Пресс: 24-26. (г)

8. Бармин А.Н., Валов М.В., Шуваев Н.С. 2015. Почвенный покров дельты реки Волги: метеогидрологические изменения как факторы влияния на геохимические особенности миграции легкорастворимых солей. Научные ведомости Белгородского государственного университета. (15): 145-155.

9. Валов М.В., Бармин А.Н., Иолин М.М. 2014. Изменение солевого состава почв в дельте реки Волги на лугах высокого уровня. В кн.: Биоэкологическое краеведение: мировые, российские и региональные проблемы. Материалы 3-й Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Самара, 14 ноября 2014 г.) Самара, Изд-во ПГСГА: 61-67.

10. Валов М.В., Бармин А.Н. 2014. Современные тенденции изменения гидрологических условий в дельте реки Волги. В кн.: Региональные проблемы водопользования в изменяющихся климатических условиях. Материалы научных докладов участников Международной научно-практической конференции (Уфа, 11-12 ноября 2014 г.). Уфа, Изд-во Аэтерна: 96-99. (б).

11. Валов М.В., Бармин А.Н., Иолин М.М. 2015. Результаты многолетнего почвенного мониторинга, проводимого на стационарном профиле в дельте реки Волги. В кн.: Science in the modern information society V. Proceedings of the Conference. (North Charleston, 26-27января 2015 г.). North Charleston, SC, USA:CreateSpace: 65-68.

12. Валов М.В., Бармин А.Н., Татаринцев С.А., Колчин Е.А. 2015. Изменения гидроклиматических характеристик в устьевой природной системе реки Волги. В кн.:

Экологические и социально-экономические основы развития аридных экосистем. Сборник трудов. Зволинский В.П. ФГБНУ «ПНИИАЗ»: 32-36.

13. Голуб В.Б., Бармин А.Н. 1994. Оценка изменений растительности в средней части дельты реки Волги. Ботанический журнал. 79 (10): 84-90.

14. Голуб В.Б., Бармин А.Н. 1995. Некоторые аспекты динамики почвенно-растительного покрова дельты р. Волги. Экология. (2): 156-159.

15. Голуб В.Б., Старичкова К.А., Бармин А.Н., Иолин М.М., Сорокин А.Н., Николайчук Л.Ф. 2013. Оценка динамики растительности в дельте реки Волги. Аридные экосистемы. 19 (56): 58-68.

16. Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А., Зайцева И.С., Долгов С.В. 2012. О соотношении природно-климатических и антропогенных факторов в многолетних изменениях речного стока. В.Г. Пряжинская. В кн.: Вода и водные ресурсы: системообразующие функции в природе и экономике. Сборник научных трудов. Новочеркасск, Изд-во ЮРГТУ (НПИ): 41-47.

17. Коронкевич Н. И., Барабанова Е. А., Зайцева И. С., Ясинский С. В. 2007. Меняющееся антропогенное воздействие на водные ресурсы в бассейне Волги. В кн.: Водные ресурсы Волги: настоящее и будущее, проблемы управления. Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Астрахань, 3-5 октября 2007 г.). Астрахань, «Астраханский университет»: 147-151.

18. Георгиади А.Г., Коронкевич Н.И., Милюкова И.П., Кашутина Е.А., Барабанова Е.А. 2014. Современные и сценарные изменения речного стока в бассейнах крупнейших рек России: Часть 2: Бассейны рек Волги и Дона. Институт географии РАН. М.: МАКС Пресс. 2014. 216.

19. Старичкова К.А., Голуб В.Б., Бармин А.Н., Иолин М.М., Сорокин А.Н. 2012. Оценка изменений растительности в средней части восточной дельты р. Волги. Динамика флоры. Вестник Волжского университета им. В.Н. Татищева. (4): 18-24.

20. Цаценкин И.А. 1962. Растительность и естественные кормовые ресурсы Волго-Ахтубинской поймы и дельты р. Волги. В кн.: Природа и сельское хозяйство Волго-Ахтубинской поймы и дельты р. Волги. Сборник научных трудов. Москва, Изд-во МГУ:118-192.

21. Barmin A.N., Valov M.V., Suvaev N.S., Kolchin E.A. 2015. Concerning global climate change: ninety-year trend of some climatic characteristics in the delta ecotones of the Caspian Sea region. IGCP 610 Third Plenary Conference and Field Trip «From the Caspian to Mediterranean: Environmental Change and Human Response during the Quaternary». Proceedings / Ed.: A. Gilbert, V. Yanco-Hombach, T. Yanina. (22-30 September 2015, Astrakhan, Russia). Moscow, MSU.: 26-29.

РЕАЛИЗАЦИЯ ГИДРОТЕРМИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ЭКОСИСТЕМ СВЕТЛО-КАШТАНОВОЙ И ЛУГОВО-КАШТАНОВОЙ ПОЧВАМИ ТЕРСКО-КУМСКОЙ ПОЛУПУСТЫНИ ПРИКАСПИЯ

Гаджиев К.М.*, Гасанов Г.Н.*,, Асварова Т.А.*, Ахмедова З.Н.*, Абдуллаева А.С.*, Баширов Р.Р.***

*Федеральное бюджетное учреждение науки Прикаспийский институт биологических ресурсов Дагестанского научного центра РАН, г. Махачкала;
**Дагестанский государственный университет, г. Махачкала
nikuevich@mail.ru

Введение. На территории Терско-Кумской полупустыни, которая занимает 1,56 млн. га Северо-Западного Прикаспия, содержится более 2 млн. овец и сотни тысяч голов крупного рогатого скота сельскохозяйственных предприятий Дагестана и прилегающих регионов. Климат характеризуется как континентальный с жарким сухим летом и холодной зимой. Годовая сумма осадков составляет 150-320 мм, испаряемость – 1300-1600 мм, максимальная температура воздуха в июле-августе – 40-45^{0}С, относительная влажность в эти месяцы снижается до 10-15 %, 55 дней в году дуют сильные (> 15 м/сек) юго-восточные ветры, из остальных 310 дней – 110 со скоростью более 4-5 м/сек [1].

На долю светло-каштановых почв приходится 534 тыс. га или 31,7 % территории, луговые (232,8 тыс. га), лугово-каштановых (193,0 тыс. га) и лугово-болотные (80,3 тыс. га) почвы занимают 32,6 %, солончаки (191,1 тыс. га) – 12,3 % из общей территории полупустыни в 1555,0 тыс. га [3]. Отличительной особенностью этих почв является легкий гранулометрический состав, который, в сочетании с неблагоприятными климатическими факторами, нерациональным использованием пастбищ, способствует усилению дефляции, деградации почвенного и растительного покрова и процессов опустынивания. В настоящее время здесь насчитывается 319 тыс. га открытых песчаных массивов или 20,5 % площади всей территории. Важнейшим фактором опустынивания рассматриваемой территории исследователи [7, 8, 10, 11] считают также значительное распространение процессов вторичного засоления почв.

В силу названных причин и в зависимости от режима использования, стадии развития процесса опустынивания, продуктивность пастбищ рассматриваемого региона может колебаться (ц/га): от 5-6 [7] до 7,2-8,1 [13] и 17,1 [5]. При урожайности 5-7 ц/га воздушно-сухой фитомассы из поступающей на поверхность почвы этой территории 50,0 ккал/см^2 пастбищный фитоценоз, по нашим расчетам, использует всего 0,04-0,05 % ФАР. Однако такая урожайность надземной массы, на наш взгляд, представляется слишком заниженной, поскольку приведенные выше данные,

возможно, были получены не в заповедных условиях, а на используемых пастбищах. Поэтому представляет значительный интерес установление видового состава и потенциала продуктивности светло-каштановой и лугово-каштановой почв и фактическая реализация этого потенциала в различные по климатическим условиям периоды и годы исследований.

Объекты и методы исследований. Объектом исследований являются светло-каштановая и лугово-каштановая карбонатные солончаковые почвы Кочубейской биосферной станции (КБС) Прикаспийского института биологических ресурсов Дагестанского научного центра РАН (ПИБР ДНЦ РАН) на территории Терско - Кумской низменности.

Климатические условия характеризовались данными метеостанции Кочубей, которая расположена на расстоянии 28 км от экспериментального участка. Испаряемость (E_0) рассчитывалась по формуле [9]:

$$E_0=0{,}028(25+T)^2(100-a) \text{ мм/месяц, (1)}$$

где: T – температура воздуха, °C, a – относительная влажность воздуха, %.

Коэффициент увлажнения определялся как отношение суммы осадков (R) к испаряемости (E_0).

Анализы почв по химическим и водно-физическим показателям проводились по известным методикам [2].

Расчет продолжительности вегетационного периода растений проводился по датам перехода среднесуточной температуры воздуха через $\pm5^0$C. Климатограммы за эти годы составлены по Walter H.D. [15].

Исследования проводились на экспериментальных участках площадью по 100 м^2, обнесенных железной сеткой во избежание потрав фитомассы скотом. Каждый из участков разбит на 100 постоянных площадок площадью по 1м^2 (1мх1м) полиэтиленовым шпагатом. Запасы надземного и подземного растительного вещества учитывались по А.А.Титляновой [12]. Надземную массу определяли укосным методом, подземную до глубины 60 см методом монолита. Размер монолитов 10х10х10 см, повторность 4-кратная. Список растений составлен по С.К.Черепанову [14].

Достоверность различий между показателями гидротермических условий, продуктивностью фитоценозов оценивалась по данным коэффициента вариации (Cv) солеобразующих ионов в почве стандартного отклонения (s), ошибки средней (m). Данные по урожайности фитомассы повергнуты математической обработке методом дисперсионного анализа [6].

Результаты исследований. По сравнению с многолетними данными за вегетационные периоды пастбищных фитоценозов в 2011-2013 гг., осадков выпало на 15-31 мм больше, а среднемесячная температура воздуха оказалась на 1,0-2,3 ^{0}C выше. В связи с этим испаряемость увеличилась на 10,8-22,1 %. Если исходить из показателя КУ, то в 2012 и 2013 гг. он соответствовал многолетнему значению – 0,11 (отклонения ±0,01), а в 2011 г. превысил его на 0,03.

В условиях полупустыни наибольшее значение для достижения высокой продуктивности эфемеровой синузии имеют осадки апреля и мая. В 2011 г. за эти два месяца выпало 85 мм осадков, превысив показатели двух последующих лет в 3,4 и 2,1 раза, а температура воздуха всегда держится на уровне 9-10 ^{0}C в апреле, 20-21 ^{0}C в мае, что также благоприятно для формирования высокого урожая фитомассы.

Характеристику степени увлажненности периодов вегетации мы даем по интегралам увлажненности $\int_a^b \max(W(t) - T(t), 0)\,dt$ и засушливости $\int_a^b \max(T(t) - W(t), 0)\,dt$, которые за годы исследований имели следующие значения (табл. 1).

Табл. 1. Интегралы увлажненности и засушливости весеннего и летнего периодов вегетации пастбищных фитоценозов по метеостанции Кочубей, 2011-2013 гг.

Год	Апрель-май		Июль-август	
	Интеграл			
	увлажненности	засушливости	увлажненности	засушливости
2011	29,8	-	-	63,4
2012	-	37,3	203,8	-
2013	7,3	-	-	74,2

За те же месяцы 2012 г. испаряемость увеличилась на 67 мм, КУ уменьшился в 5 раз по сравнению с 2011 г. Такие условия способствовали подъему водорастворимых солей к верхнему горизонту почвы. Содержание Cl^- в слое 0-20 см светло-каштановой почвы по сравнению с тем же периодом 2011 г. увеличилось в 5,5 раза, SO_4 – в 2,3 раза, соотношение Cl^-: SO_4^{--} в 2,4 раза (табл. 2). Если в 2011 г. степень засоленности почвы в слое 0-20 см характеризовалась как слабая, то в 2012 г. – как средняя при одном и том же хлоридно-сульфатном типе засоления. В лугово-каштановой почве содержание перечисленных ионов и их соотношения в слое 0-23см (гор. $A+B_1$) в этот период 2011 г. были выше, чем в светло – каштановой, соответственно, в 9,2; 1,5 и 6,0 раз (табл. 2). Но и здесь отмечено увеличение солеобразующих анионов весной 2012 г. по сравнению с соответствующим периодом 2011 г.: Cl^- в 2,2, SO_4^- в 1,4 раза, соотношения их ионов – в 1,6 раза, что явилось основной причиной резкого снижения урожайности эфемеровой синузии (в 3,1 раза).

В силу указанных причин урожайность живой надземной фитомассы эфемеров и эфемероидов в 2012-2013 гг., по сравнению с 2011 г., увлажненность на светло-каштановой почве снизились, соответственно, в 9,2 и 1,7 раза. На лугово-каштановой почве она снизилась, соответственно, в 5 и 2,5 раза, а средний показатель ее за рассматриваемые годы здесь был ниже, чем на светло-каштановой в 3,3 раза (0,27 т/га против 0, 88 т/га) (табл. 2 и 3).

Табл. 2. Динамика климатических факторов, содержания солеобразующих ионов (мг-экв./100г) в горизонтах A+AB (0-20см) светло-каштановой и A+B_1 (0-23см) лугово-каштановой почв и урожайности надземной фитомассы по периодам 2011-2013 гг.

Период, подтип почвы	2011 г.						2012 г.						2013 г.					
	Климатические условия по периодам*																	
Весна апрель	1-85мм; 2-13,8^{0}C; 3-73%; 4-135мм; 5-0,30						1-25мм; 2-18,0^{0}C; 3- 61%; 4- 202мм; 5-0,06						1-40мм; 2-16,4^{0}C; 3- 64%; 4- 178мм; 5-0,10					
	урожайность фитомассы, т/га	содержание ионов			соотношение		урожайность фитомассы, т/га	содержание ионов			соотношение		урожайность фитомассы, т/га	содержание ионов			соотношение	
		Cl^-	SO_4^{--}	Ca^{++}	Cl^-: SO_4^{--}	$Ca^{++}\pm SO_4^{--}$		Cl^-	SO_4^{--}	Ca^{++}	Cl^-: SO_4^{--}	$Ca^{++}\pm SO_4^{--}$		Cl^-	SO_4^{--}	Ca^{++}	Cl^-: SO_4^{--}	$Ca^{++}\pm SO_4^{--}$
K_1	1,57	0,28	1,12	0,50	0,25	-0,62	0,17	1,54	2,58	0,50	0,60	-2,08	0,90	0,96	2,07	0,57	0,46	-1,50
$K_л$	0,50	2,58	1,71	0,54	1,51	-1,17	0,10	5,56	2,37	0,50	2,35	-1,87	0,20	4,16	2,46	0,58	1,69	-1,88
Лето, июль	1-64мм; 2-27,4^{0}C; 3- 58%; 4- 315мм; 5-0,11;						1-102мм;2-25,8^{0}C; 3- 62%;4- 275мм;5-0,21;						1-83мм; 2-25,0^{0}C; 3- 59%; 4- 355мм; 5-0,11;					
	урожайность фитомассы, т/га	содержание ионов			соотношение		урожайность фитомассы, т/га	содержание ионов			соотношение		урожайность фитомассы, т/га	содержание ионов			соотношение	
		Cl^-	SO_4^{--}	Ca^{++}	Cl^-: SO_4^{--}	$Ca^{++}\pm SO_4^{--}$		Cl^-	SO_4^{--}	Ca^{++}	Cl^-: SO_4^{--}	$Ca^{++}\pm SO_4^{--}$		Cl^-	SO_4^{--}	Ca^{++}	Cl^-: SO_4^{--}	$Ca^{++}\pm SO_4^{--}$
K_1	0,89	2,18	2,13	0,60	1,02	-1,53	6,95	1,45	2,32	0,62	0,62	-1,70	3,63	2,37	2,38	0,67	1,00	-1,71
$K_л$	0,99	7,24	2,92	0,50	2,48	-2,42	2,11	4,60	2,37	0,55	1,94	-1,82	1,82	5,16	2,58	0,43	2,00	-2,15

*1 – ∑осадков; средние значения: 2 – температуры воздуха; 3 – относительной влажности воздуха; 4 – испаряемости; 5 – коэффициента увлажнения

Табл. 3. Содержание анионов Cl^- и SO_4^{--} по слоям светло-каштановой и лугово-каштановой почв и оценка существенности их значений, 2011-2013 гг.

Год	Время года	Cl^-						So_4^-					
		1*			2*			1*			2*		
		M±m	S	V	M±m	S	V	M±m	S	V	M±m	S	V
Светло-каштановая почва													
2011	апрель	0,28±0,03	0,07	25	1,84±0,08	0,19	10,3	1,12±0,02	0,06	5,36	3,69±0,04	0,09	2,44
	август	2,18±0,1	0,24	11	2,78±0,07	0,17	6,12	2,13±0,03	0,07	3,29	4,70±0,05	0,11	2,34
2012	апрель	1,54±0,08	0,2	13	2,63±0,12	0,29	11	2,58±0,04	0,1	3,88	3,71±0,04	0,1	2,7
	август	1,45±0,13	0,31	21,4	2,73±0,11	0,27	9,9	2,32±0,04	0,1	4,31	4,25±0,05	0,13	3,06
2013	апрель	0,96±0,14	0,33	34,4	2,37±0,09	0,23	9,7	2,07±0,02	0,06	2,9	3,84±0,03	0,08	2,19
	август	2,37±0,14	0,34	14,35	2,60±0,13	0,32	12,3	2,38±0,04	0,1	4,37	4,20±0,03	0,07	1,76
Лугово-каштановая почва													
2011	апрель	2,58±0,05	0,13	5,04	13,35±0,12	0,29	2,17	1,71±0,05	0,11	6,31	13,51±0,16	0,39	2,85
	август	7,24±0,45	0,11	1,52	12,17±0,4	0,35	2,88	2,92±0,06	0,15	5,14	13,00±0,03	0,66	5,08
2012	апрель	5,56±0,08	0,19	3,92	12,09±0,15	0,36	2,98	2,37±0,05	0,11	4,64	13,38±0,05	0,6	4,56
	август	4,60±0,06	0,14	3,04	13,78±0,11	0,28	2,03	2,37±0,02	0,04	1,69	14,66±0,02	0,13	0,89
2013	апрель	4,16±0,07	0,18	4,33	12,66±0,06	0,12	0,95	2,46±0,02	0,05	2,44	12,44±0,7	0,17	1,4
	август	5,16±0,04	0,1	1,94	11,92±0,25	0,62	5,2	2,58±0,02	0,05	1,98	15,11±0,1	0,25	1,65

*1 – для светло-каштановой почвы 0-20 см, лугово-каштановой 0-23см; 2 – 21-100 см и 24-100 см соответственно

Между суммой осадков за апрель-май и урожайностью надземной фитомассы эфемеров и эфемероидов существует прямая коррелятивная связь, которая в 2011 г. на светло-каштановой и лугово-каштановой почвах имела сильную корреляцию, соответственно (r=0,89 и r=0,78), а в два последующих года – среднюю (r=0,43 и 0,35) степень выраженности на светло-каштановой и высокую корреляцию (r=0,95) на лугово-каштановой почве в 2013 г.

Доминантами из эфемеровых на светло-каштановой почве являются: мятлик однолетний (Poa annua L.), мятлик луковичный (Poa bulbosa L.), мортук восточный (Eremopyrum orientale (L.) Jaub.EtSpach.), костер растопыренный (Bromuss quarrosusL.), костер кровельный (Anisantha tectorum L.), полевичка малая (Eragros ticminorHost.), из крестоцветных–бурачок пустынный (Alussum desertorum Stapf.). На лугово-каштановой почве видовой состав эфемеров оказался весьма ограничен и включал только мортук восточный (Eremopyrum orientale (L.) Jaub. EtSpach.) и костер растопыренный (Bromuss quarrosus L.).

Совершенно другие результаты по степени и химизму засоления почвы и продуктивности фитоценозов получены за эти же годы в летний период. Высокие среднесуточные температуры воздуха в течение июня и двух последующих месяцев в 2011 г. (соответственно, 24,3; 27,9 и 24,9 ^{0}C) способствовали интенсивной потере из почвы влаги выпавших осадков, поскольку испаряемость по тем же месяцам составила 291; 337 и 293 мм, КУ – соответственно, 0,08; 0,04 и 0,18. Поэтому суммарная урожайность разнотравья и солянок в последующие месяцы вегетации на светло-каштановой почве составила всего 0,89 т/га – 56,7 % к урожайности эфемеров и эфемероидов. На лугово – каштановой почве, наоборот, достигнута более высокая урожайность (2,99 т/га), благодаря преобладанию в видовом составе полыни таврической (Artemisia taurica Willd.) и лерха (Artemisia lercheana Web. ex Stechm.), растений, более толерантных к высоким температурам воздуха, способным эффективно использовать осадки второй половины лета и формирующих высокую урожайность фитомассы.

В 2012 г., из-за обильных осадков в июне-августе, отмечено уменьшение Cl^{--} на 0,73 мг.-экв./100г, SO_4^{--} осталось на том же уровне, соотношение Cl^-: SO_4^- увеличилось в 1,6 раза. Тип засоления слоя почвы 0-8 см в первом случае характеризовался как сульфатно-хлоридный, во втором – как хлоридно-сульфатный, а в слое 9-20 см в обоих случаях оставался хлоридно-сульфатным. Очевидно, увеличение содержания ионовCl^-, как наиболее подвижных, и их соотношения к $S0_4^{--}$ способствовало резкому увеличению урожайности разнотравья и солянок. Особенно выделялся буйным ростом курай-солянка грузинская (Salsola iberica Sennenet Pau). В период с августа по октябрь в фитомассе встречались и другие представители солянок – солянка южная (Salsola australis R.Br.), петросимония супротиволистная (Petrosimonia oppositifolia Pall.), петросимония трехтычинковая (Petrosimonia triandra (Pall.). Но доля курая в суммарной фитомассе была превалирующей – соответственно 53,6-

68,1 ц/га. Надземная фитомасса солянок в 2012 г. превысила показатель 2011 г. в 20,1 раз. Такого обилия этого растения (60-76 экз./м^2), такого интенсивного роста (до 1,0-1,2 м высоты) и формирования фитомассы, как в 2012 г., ранее в рассматриваемых условиях не наблюдалось, хотя очаги их встречались ежегодно на значительных площадях. Биологическая особенность этого растения, очевидно, такова, что засушливый период в апреле-мае (интеграл засушливости 37,3) и последующая оптимизация условий увлажнения благоприятствовали его росту и развитию, способствовали достижению высокой продуктивности.

Урожайность зеленой фитомассы во второй половине лета 2012 г. увеличилась и за счет разнотравья, в первую очередь, из семейства сложноцветных – полыни таврической (Artemisia taurica Willd.) и Lерха (Artemisia lercheana Web.ex Stechm.), из маревых – лебеды татарской (Atriplex tataricaL.),из парнолистниковых - парнолистника обыкновенного (Zygophyllum vulgarisL), из злаковых – житняка пустынного (Agropyron desertorum (Fisch. Ex Link) Schult.) и др.

На лугово-каштановой почве видовой состав эфемеров оказался весьма ограничен и включал только мортук восточный (Eremopyrum orientale (L.) Jaub .Et Spach.) и костер растопыренный (Bromuss quarrosusL.).

Экологические условия функционирования экосистем в 2013 г. занимают промежуточное положение между двумя предшествовавшими годами исследований. Это касается и климатических условий, и содержания солеобразующих ионов в почве, и урожайности фитомассы.

Увеличение или уменьшения урожайности надземной фитомассы (х) сопровождается соответствующей динамикой корневой массы растений (у). Коррелятивная зависимость между этими показателями неодинакова в годы с различной влагообеспеченностью. Так, согласно нашим расчетам, в наиболее увлажненном 2011 г. (301 мм осадков за вегетационный период) она выражается уравнением регрессии:

Y=3,37x-25,54 при ч=0,84;

в менее увлажненном 2012 г. (298 мм): Y=0,238x+46,45; ч=0,51;

в засушливом 2013 г. (185 мм): Y=10,16+37,35; ч=0,17.

Из приведенных результатов исследований видно, что формирование фитомассы и ее видового состава в условиях Кизлярских пастбищ является результатом совокупного действия различных экологических факторов, основными из которых являются: осадки, температура воздуха, относительная влажность, испаряемость, коэффициент увлажнения, а также степень и химизм засоления почвы. Зависимости между указанными факторами выражаются следующими уравнениями множественной регрессии:

На светло-каштановой почве:

для эфемеровой синузии – $Y=17,13+0,0425X_1+0,0087X_2-4,66X_3-20,65X_4+0,6X_5$;

для разнотравья и солянок – $Y=9,65+0,18X_1-0,0147X_2-15,54X_3+45,78X_4-21,44X_5$.

На лугово-каштановой почве:

для эфемеровой синузии: $Y=0.66+0.00268X_1-6.5E-5X_2-0.18X_3-0.21X_4+0.27X_5$

для разнотравья и солянок: $Y=4.1+0.00068X_1-0.000381X_2+1.02X_3-0.35X_4-0.2X_5$,

где Y – урожайность воздушно-сухой фитомассы, ц/га; X_1 – осадки за вегетационный период, мм; X_2 – испаряемость, мм; X_3 – КУ; X_4 – содержание Cl^- в слое 0-20 см, мг-экв./100 г почвы; X_5 – соотношение $Cl^-:SO_4^{--}$ в слое 0-20 см.

Заключение. В благоприятные по экологическим условиям периоды, когда сумма осадков к концу мая – началу июня достигает 80-85 мм, среднесуточная температура воздуха – 15-16 °С, относительная влажность воздуха 70-73 %, испаряемость 130-140 мм, КУ 0,30, интеграл увлажненности 29,8, урожайность эфемеров на светло-каштановой почве на территории Кизлярских пастбищ может достигнуть 15 ц/га воздушно-сухой массы. Благодаря таким климатическим условиям степень засоленности слоя почвы 0-35 см классифицировалась как слабая, тип засоления – хлоридно-сульфатный.

Для эффективного использования такого высокого урожая фитомассы часть пастбищных угодий целесообразно отвести под сенокос и, этим самым, организовать частичный пастбищеоборот, подкашивание грубых, а также непоедаемых трав, а также шерстезасоряющих и ядовитых трав.

Ухудшение гидротермических показателей в этот же период, как это имело место в 2012 г. (сумма осадков 25-26 мм, относительная влажность воздуха 61 %, КУ 0,06, среднесуточная температура воздуха 18,0°С, испаряемость 200-202 мм, интеграл засушливости 37,3), приводит к увеличению содержания ионов Cl^- в том же слое почвы до 0,82-0,85 мг-экв, снижению урожайности фитомассы до 1,7ц/га.

Увеличение количества осадков в июле-августе до 102 мм при высоких среднесуточных температурах воздуха (25-26^{0}С) способствует сохранению высокого показателя КУ (0,21), снижению содержания Cl^- в слое 0-20 см до 1,40 мг-экв./100 г, повышению урожайности разнотравья и солянок (преимущественно солянки грузинской) до 69,5 ц/га.

В обычные по климатическим условиям годы (2013), когда атмосферные осадки в течение вегетационного периода распределяются относительно равномерно, урожайность эфемеров и эфемероидов составляет 10,7 ц/га, разнотравья солянок – 36,3 ц/га.

Литература

1. Агроклиматический справочник Дагестанской АССР. Л.: Гидрометеорология, 196. С.10-41.

2. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ. 1962. 491 с.

3. Баламирзоев М.А. Почвенно-агргоэкологическое районирование территории Дагестана. В кн.: Почвенные ресурсы Дагестана, их охрана и рациональное использование. Махачкала,1989. С.75-129.

4. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М.: Высшая школа, 1961. 345 с.

5. Джапова Р.Р. Динамика растительного покрова Ергененской возвышенности и Прикаспийской низменности в пределах Республики Калмыкия. Авт. докт. дисс. М.: МГУ. 2008. 47 с.

6. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. М.: Колос,1979. 416 с.

7. Залибеков З.Г. Процессы опустынивания и их влияние на почвенный покров. М.: 2000. 219 с.

8. Зонн С.В. Особенности пустынных почвообразовательных процессов и почвы пустынь // Современные проблемы генезиса и географии почв. М.: Наука, 1983. С.45-58.

9. Иванов Н.Н. 1954. Об определении величин испаряемости // Известия Всесоюзного географического общества. Т. 86. № 2. С. 186-196.

10. Ковда В.А. Аридизация суши и борьба с засухой. М.: Наука, 1980. 112 с.

11. Мирзоев Э. М. Способы оценки засоленности почв в связи с вопросом солеустойчивости плодовых насаждений в плоскостной части Дагестана //Почвоведение. 1963. № 12. С. 82-88.

12. Титлянова А.А. Продуктивность травяных экосистем //Биологическая продуктивность травяных экосистем. Географические закономерности и экологические особенности / Под ред. В.Б. Ильина. Новосибирск Наука: Сиб.отд-е, 1988. С. 109-127.

13. Усманов Р.З. Экологическая оценка и научные основы восстановления природного потенциала деградированных почв Северо-Западного Прикаспия/ Авт. докт. дисс, Махачкала. 2009. 46 с.

14. Черепанов С.К. Сосудистые растения СССР. Л.: Наука.1981. 510 с.

15. Walter H.D. Vegetation der Erdeinoko-physiolohischei Betrachtung. Die tropicshen und subtropischen Zonen. Jena. Veb Guster Fischer Verlag, Vol. 1. 1964. 551 p.

СВОЙСТВА ЧЕРНОЗЕМА ОБЫКНОВЕННОГО И РАЗВИТИЕ РАСТЕНИЙ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ПРИ ВНЕСЕНИИ СЛОЖНОГО КОМПОСТА

Белюченко И.С., Антоненко Д.А., Мельник О.А.
Кубанский ГАУ, г. Краснодар
bioeco@inbox.ru

Введение. Последние столетия в биосфере идут выраженные процессы деградации почв вследствие антропогенного влияния, серьезно изменившего верхний слой почвы. Аграрный ландшафт выделяется заметным накоплением различных отходов как за счет выращивания продовольственных культур и выпаса сельскохозяйственных животных, так и за счет минеральных отходов, образующихся в процессе производства строительных материалов и удобрений из природного сырья [1]. По физико-химической характеристике отходы растительного происхождения и природно-сырьевые представляют собой нетоксичные высокодисперсные соединения с примесью различных неразложившихся органических и минеральных веществ. Специфика физического состояния обусловливает их высокая дисперсность, представленную системой частиц коллоидных веществ, распределенных в различных средах.

Коллоиды природно-сырьевых отходов характеризуются малой скоростью диффузии, не проникают через тонкопористые мембраны клеточных структур, отличаются весьма неравновесной нерастворимостью и специфичностью химического состава. Например, для фосфогипса характерна высокая концентрация серы и кальция, а в микроколичествах в нем содержится практически вся таблица Д.И.Менделеева. Органические отходы выделяются разнообразием химических соединений и высокой концентрацией углеводов, белков, жиров и других органических веществ. Основными свойствами дисперсных систем всех отходов являются молекулярные взаимодействия частиц, способные агрегироваться в различные коагуляционные структуры.

Учитывая своеобразие физических и химических свойств различных отходов (органических и минеральных), мы поставили задачу рассмотреть возможности их использования в качестве сложного компоста для сельскохозяйственного производства. С этой целью были проведены лабораторные, вегетационные и полевые исследования по улучшению физико-химического состояния почвы на основе применения сложных компостов с использованием органических (навоз КРС, ОСВ и другие) и минеральных отходов (фосфогипс, отходы производства калийных удобрений и другие), свойства которых изучаются на кафедре общей биологии и экологии КубГАУ в течение ряда лет.

Методы исследований. Опыты проводились в хозяйстве ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района Краснодарского края. Осенью 2007 г. был

выделен опытный участок под посев озимой пшеницы: в опыте внесли полуперепревший навоз КРС (50 т/га), фосфогипс (5 т/га) и отходы выращиваемых культур (15 т/га), площадь опытных участков составляла 7 га в севообороте агроландшафта и на пойменном участке реки Средняя Челбаска. На опытном участке применялся следующий севооборот: озимая пшеница – озимая пшеница – подсолнечник – озимая пшеница. На контрольном участке вносили азотные и фосфорные удобрения (NP) в соответствии с требованиями агротехнологии в течение 2008-2011 гг. Ежегодно проводили отбор почвенных образцов на глубину 0-20 см [2, 3, 4, 5]. Содержание полевой влаги определяли весовым методом, гранулометрический и микроагрегатный состав – пипеточным методом Качинского, агрегатный состав (сухое и мокрое просеивание) – с помощью сит, плотность почвы – с помощью стального цилиндра, плотность твердой фазы – пикнометрическим методом, общая пористость, пористость аэрации, удельный объем пор, полная влагоемкость и запасы влаги – расчетным методом. Для определения органического вещества в почве использовали метод Тюрина в модификации ЦИНАО, общего азота – методом Кьельдаля. Оценка развития растений проводилась общепринятым способом. Статистическая обработка данных производилась с помощью программы Microsoft Offis Excel.

Результаты исследований.

1. Сложный компост и свойства чернозема. Определение гранулометрического состава почвы выполняли ежегодно с августа 2008 г. через год после внесения сложного компоста. В ходе отбора проб в верхнем слое почвы в опыте были отмечены включения фосфогипса, внесенного в 2007 г., что указывает на слабую растворимость этого отхода и его продолжительного по времени влияния на свойства почвы [6].

По гранулометрическому составу почва отличается преобладанием фракций крупной пыли и ила. Гранулометрический анализ состава почвенных образцов во все годы исследований выявил слабое увеличение фракции физической глины в варианте с внесением сложного компоста [7, 8] (табл. 1).

Табл. 1. Гранулометрический состав чернозема обыкновенного (2008-2011 гг.)

Вариант	Размер ЭПЧ (мм) и их содержание (%)						Физическая глина, %
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,02-0,003	0,004-0,001	< 0,001	
1-й год после внесения сложного компоста							
Контроль	2,73 ± 0,20	18,70± 1,69	26,35± 2,12	11,56± 1,07	14,07± 1,20	26,75± 2,02	52,30 ± 1,62
Компост	2,42 ± 0,18	15,42± 2,15	25,10± 2,63	13,32± 1,18	16,20± 1,17	28,20± 2,22	57,65± 2,10
4-й год после внесения сложного компоста							
Контроль	2,13± 0,05	18,61± 2,29	22,11± 3,36	13,93± 1,05	15,48± 1,94	28,09± 1,28	57,41± 2,35
Компост	2,25± 0,07	18,20± 2,22	21,52± 3,80	13,82± 1,59	15,08± 1,56	29,29± 1,48	58,29± 2,82

Физическая глина изучаемой почвы в основном складывается из фракций ила, содержание которого на контроле соответствует 27-28 %. Содержание ила повышается на 4-5 % в варианте с внесением сложного компоста. В последующие годы отмечается менее значительное увеличение доли этих двух фракций. Физическая глина и ил способствуют более активному удержанию в почве элементов питания, увеличению сорбции почвы и бактерий, ограничению миграции загрязнителей. Увеличение массы гранулометрического состава при внесении сложного компоста благоприятно отразилось на свойствах почвы и обеспечило благоприятные условия для жизнедеятельности живых организмов. Физический состав почвы с внесением сложного компоста во все годы исследований имел хорошее агрегатное состояние и высокое содержание органически ценных агрегатов.

Табл. 2. Агрегатный состав чернозема обыкновенного (2008-2011 гг.)

Вариант	Размер агрегатов (мм) и их содержание (%)								$К_{ст}$
	> 10	10–5	5–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	< 0,25	∑ 0,25–10 мм	
1-й год после внесения сложного компоста									
Контроль	25,25± 2,45	15,06± 2,33	15,12± 1,22	17,38± 1,35	11,42± 1,58	10,50± 0,91	6,38± 0,35	69,08± 1,73	2,20± 0,16
Компост	14,51± 2,15	14,03± 1,57	14,23± 1,67	18,47± 1,42	14,26± 1,42	9,98± 0,75	4,27± 0,20	71,42± 1,84	2,54± 0,19
4-й год после внесения сложного компоста									
Контроль	33,11± 3,25	15,48± 2,45	15,48± 1,74	13,27± 1,20	14,29± 1,20	7,29± 1,24	1,59± 0,94	63,59± 1,55	1,75± 0,19
Компост	30,69± 3,14	14,28± 2,15	17,24± 1,43	15,17± 1,41	13,25± 1,39	7,65± 0,98	1,71± 0,96	68,59± 1,47	2,20± 0,18

Внесение сложного компоста способствует усилению агрегирования почвы, созданию благоприятной комковато-зернистой структуры, оптимизирующей условия роста и развития сельскохозяйственных растений. Почва сохраняет уникальный комковато-зернистый состав после обильных осадков и водоустойчивость после последующего легкого подсушивания. В опыте с внесением сложного компоста содержание водопрочных агрегатов выше, чем на контроле. В последний год исследований на контроле нехарактерно наличие водоустойчивых агрегатов размером > 5 мм, а при внесении сложного компоста этот показатель составил 0,5 % от массы почвенного образца. При взаимодействии с водой почва на контроле распылялась интенсивнее, чем с внесением сложного компоста (табл. 3).

Водоустойчивость проверяется по количеству агрегатов размером >0,25 мм. Чем больше частиц крупнее 0,25 мм, полученных в результате просеивания почвы, тем выше её водоустойчивость; на контроле доля частиц крупнее 0,25 мм варьировала по годам от 44,5 до 49,7, а при внесении сложного компоста этот показатель колебался от 53 до 56 %, что указывает на высокую устойчивость почвенных агрегатов против воздействия воды.

Внесение сложного компоста повышает содержание обменного кальция и органических веществ. Кальций сложного компоста выступает в

качестве катализатора, поддерживающего сцепление органических и минеральных частей, влияет коагулятивно на снижение ширины ионно-электростатического барьера между почвенными частицами и благоприятствует образованию микро, а затем и макроагрегатов. Количество обменного кальция в ППК почвы повышается до 15 % при внесении сложного компоста. В сумме обменных оснований в почве на контроле кальций в среднем составляет 86,5, а в опыте – 92,0 %.

Табл. 3. Водоустойчивость чернозема обыкновенного (2008-2011 гг.)

Вариант	Размер агрегатов (мм) и их содержание (%)						∑ 0,25 – 10 мм
	> 5	5–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	< 0,25	
1-й год после внесения сложного компоста							
Контроль	0,10± 0,01	1,93± 0,70	6,70± 1,22	18,32± 1,74	22,14± 1,99	50,72± 1,08	49,31± 1,08
Компост	0,99± 0,02	3,46± 0,67	9,27± 2,63	23,25± 2,15	17,15± 1,44	46,05± 1,36	53,96± 1,34
4-й год после внесения сложного компоста							
Контроль	-	1,75± 0,20	5,45± 1,30	23,16± 3,26	15,68± 3,14	53,91± 1,30	46,18± 1,30
Компост	0,45± 0,05	2,76± 0,51	7,97± 3,55	30,30± 1,51	14,31± 2,48	44,36± 1,87	55,75± 1,84

Плотность сложения пахотного слоя почвы отличается оптимальным диапазоном для данного типа и на контроле она выше, по сравнению с опытом; данный показатель по годам на контроле варьировал в пределах 1,23-1,27, а с внесением сложного компоста – 1,12-1,20 г/см^3. Удельный объем пор почвы (Ф) характеризует отношение объема пор к массе твердой фазы почвы. В варианте с применением сложного компоста он повышается (табл. 4).

Табл. 4. Плотность сложения и удельный объем пор чернозема обыкновенного (2008-2011 гг.)

Вариант	Плотность ($q_в$), г/см^3	Плотность твердой фазы (q_s), г/см^3	Удельный объем пор (Ф), см^3/г
1-й год после внесения сложного компоста			
Контроль	1,23±0,02	2,36±0,09	0,39±0,02
Компост	1,14±0,02	2,25±0,08	0,43±0,02
4-й год после внесения сложного компоста			
Контроль	1,18±0,02	2,06±0,04	0,36±0,02
Компост	1,12±0,01	2,16±0,05	0,43± 0,03

Порозность почвы находится в зависимости от плотности сложения и плотности твердой фазы; в опытных вариантах с внесением сложного компоста отмечено её увеличение. Общая пористость в почве на контроле по годам колеблется от 0,43 до 0,49, а с внесением сложного компоста отмечается её увеличение до 0,61, что оптимизирует водно-воздушные условия вегетации растений. При внесении сложного компоста полная влагоемкость – максимальное количество воды, накапливаемое почвой, –

увеличивается: по годам на контроле этот показатель колеблется от 35,4 до 39,1, соответственно, а при внесении сложного компоста повышается до 43,9 %. Увеличение влагонакопления в варианте со сложным компостом благоприятно сказалось на улучшении роста всех видов растений, удлинении продолжительности вегетации посевов и повышении их урожайности. Агрегация почвы и изменение её состава является важным процессом для сокращения потерь органического вещества, поскольку образующиеся агрегаты выполняют роль основного хранителя органического углерода и азота в почве [6, 8].

Использование минеральных и органических отходов способствует диссоциации сернокислого кальция ($CaSO_4$) и взаимодействию его кислотного остатка SO_4 с ионом аммония, что приводит к образованию сульфата аммония и способствует консервации азота в аммонийной форме за счет сдерживания процесса его нитрификации и, особенно, денитрификации. Фосфогипс определяет обмен катионов субстрата на катионы ППК и активно участвует в формировании сложного компоста, механическая часть которого более пористая, по сравнению с почвой, и легко задерживает частицы других веществ в своих порах (глина, органическое вещество). Сложный компост является предпосылкой к сохранению и накоплению органического вещества в почве [9, 10].

Важной основой для производства сложного компоста является свойство отдельных отходов, способных, при их смешивании с другими субстратами, формировать весьма устойчивые гранулы. При внесении в почву полуперепревшего навоза крупного рогатого скота (КРС), фосфогипса и отходов выращивания сельхозкульур (сахарной свеклы, подсолнечника, половы зерна, остатков кормовых смесей для животных и т.п.), в таких смесях активно проходят процессы структурообразования, и при изменении их физико-химических свойств улучшается водный и воздушный режим, химический состав и различные свойства для роста и развития бактерий, грибов, других живых организмов [11, 12].

В первую очередь это касается верхнего слоя почвы, в котором образуются весьма активно (летом до трех месяцев) устойчивые гранулы диаметром до 3 мм. В таких условиях при смешивании свиного навоза, птичьего помета, полуперепревшего навоза КРС, растительной золы, отходов, получаемых при производстве калийных удобрений, и других соединений быстро формируется сложный компост. При расчете соотношения отдельных составляющих в сложном компосте и его внесении в почву в ней повышается влажность и содержание воздуха на 12-15 % больше, чем на контрольном участке. В летний период при создании таких условий в верхнем слое почвы образуется рыхлая подсохшая масса из устойчивых гранул размером до 3-4 мм.

Удачное сочетание различных отходов, при их смешивании с почвой, улучшает её состояние вследствие обогащения водой за счет формирования гранулированной системы верхнего слоя почвы и снижает её плотность.

Смешивание различных отходов, отличающихся большой вариацией химического и физического состава, способствует обогащению верхнего слоя почвы органическими и минеральными соединениями.

При значительном содержании в растительных остатках органических веществ и большом многообразии химических элементов в минеральных отходах в процессе развития в смеси новых физико-химических соединений образуются совмещенные органоминеральные гранулы. Например, при внесении фосфогипса или отходов выработки калийных удобрений валовой состав включает до 30-35 элементов со значительным содержанием железа, титана, натрия, лантана, церия, стронция и других веществ [13, 15].

Содержание отдельных элементов в составе примесей различных отходов колеблется весьма существенно, и поэтому их необходимо учитывать при смешивании с другими отходами. Для чернозема обыкновенного наиболее подходящим соотношением различных отходов будет включение 50 т/га полуперепревшего навоза КРС, 7 т фосфогипса и в среднем по 2 т таких отходов, как остатки кормления животных, отходы очистки зерна, кормовой и сахарной свеклы, подсолнечника, сои, кукурузы, переработки овощей, фруктов и других культур, выращиваемых в хозяйстве. В процессе подготовки сложного компоста мы периодически добавляли по 2 т/га относительно свежей растительной массы для улучшения питания микроорганизмов, что способствовало сокращению минерализации органических веществ и усилению образования сульфата аммония: $CaSO_4 + 2H_2O + 2NH_3 = Ca(OH)_2 + (NH_4)_2SO_4$. Сернокислый кальций сложного компоста связывает выделяющийся аммиак из полуперепревшего навоза и образует сульфат аммония. На образование 1 кг аммонийного азота требуется 6,14 кг $CaSO_4 \cdot 2H_2O$, или 8 кг фосфогипса [14].

Во всех минеральных удобрениях, вносимых в почву для улучшения её плодородия, в значительных количествах содержится медь, свинец, цинк, кадмий и другие загрязнители, особенно это касается фосфорных и калийных удобрений, извести и сточных вод. Иными словами, с внедрением в хозяйственное производство химических удобрений человек начал насыщать почву рядом поллютантов, включая ТМ.

Внесение в почву отходов извести и отходов производства фосфорных и калийных удобрений также способствует поступлению в почву значительного количества ряда ТМ. Например, в вегетационном опыте с добавлением фосфогипса в почве возросло валовое количество ванадия, железа, стронция и других металлов. Естественно, что с включением в сложную смесь отходов производства фосфора, калия и извести повышается содержание подвижных форм тяжелых металлов, особенно меди, кобальта и свинца. Минеральные отходы в составе сложного компоста попадают под воздействие комплекса экологических факторов (перепады температуры и влажности, активность микроорганизмов и т.д.), что заметно изменяет их взаимоотношение с почвой, живыми организмами и физической средой [16].

Изучение различных трофических групп микроорганизмов в почве показало, что добавление минеральных отходов, например, фосфогипса, ослабляло активность нитрифицирующих, аммонифицирующих и аминоавтотрофных групп и заметно усиливало активность микромицетов. Снижение численности нитрифицирующих и аминоавтотрофных групп микроорганизмов с добавлением в сложный компост минеральных отходов происходит в результате замедления процессов нитрификации и более эффективного использования микроорганизмами и растениями аммонийных форм азота и снижения активности их денитрифицирующей группы (табл. 5).

Влияние минеральных отходов на активность денитрификаторов с добавлением их в сложный компост заметно проявилось в полевом опыте в ОАО «Заветы Ильича» Ленинградского района в 2011-2012 гг. В полевых опытах учитывалась интенсивность денитрификации азота.

Табл. 5. Активность денитрификации азота в полевом опыте, 2011-2012 гг.

Вариант	Уровень разбавления	
	2011	2012
Многолетняя залежь	10^{-2}	10^{-2}
Обычная технология	10^{-6}	10^{-5}
Сложный компост	10^{-4}	10^{-3}

Внесение сложного компоста в верхний слой почвы заметно сдерживает развитие процесса денитрификации азота и, по сравнению с обычной технологией, сокращает его потери в 1,4 раза. Такие данные являются важными с практической точки зрения: если удаётся снизить потери азота всего на 10 %, то легко рассчитать и экологический, и экономический эффект применения такого мероприятия [17, 19].

Учитывая большие различия химического состава отдельных отходов, особенно минерального производства, по содержанию в них фосфора, кальция, серы и ряда важных микроэлементов, нетрудно убедиться в возможности варьирования реакции их среды (pH). В частности, при смешивании свиного навоза и отходов минерального производства (например, фосфогипса) в летний период заметно изменяется уровень pH. Свиной навоз поддерживает уровень pH до 9, а минеральные соединения (например, фосфогипса), как правило, снижают pH до 4 и ниже. При определенном соотношении свиного навоза, куриного помета и других форм органических отходов с высоким уровнем pH и отходов минеральных соединений pH снижается в сложном компосте до нейтрального уровня. На первых стадиях формирования сложного компоста кислая реакция фосфогипса за счет значительного количества таких окислителей, как фосфор, фтор и сульфаты, хотя и в небольших количествах, вызывает мацерацию верхних тканей яиц различных паразитов и их гибель за весьма короткий срок [18].

Естественно, взаимодействия химической основы сложного компоста и жизненности паразитов при переработке свиного навоза нуждаются в дальнейшем исследовании. В опытах 2011–2012 гг. были получены данные, подтверждающие ускорение в системе сложного компоста переработки свиного навоза, полуперепревшего навоза КРС и птичьего помета. Установлено оптимальное соотношение между навозом и фосфогипсом для чернозема обыкновенного.

2. Сложный компост и его влияние на развитие озимой пшеницы. Внесение сложного компоста усиливает биологическую активность верхнего слоя почвы, повышая численность микроорганизмов, использующих органические формы азота, до 10 % и до 12 % – ассимилирующих минеральный азот. Внесение сложного компоста повышает численность популяций актиномицетов до 10-11, а целлюлозоразрушающих (в основном род Pseudomonas) – до 15,1 % при повышении численности азотобактера до 9,3 %. Сложный компост усиливает ферментацию верхнего слоя почвы и способствует активному разложению свежего растительного вещества. Такой подход можно проследить на примере разложения послеуборочных остатков кукурузы, что, очевидно, вызвано увеличением численности микроскопических грибов и повышением концентрации P_2O_5 в поверхностном слое почвы [19].

Сложный компост в верхнем слое почвы активизирует её возможности поглощать растворенные вещества, газы, жидкости, удерживает в дождевой воде твердые вещества, улучшая её общую активность через усиление биологической поглотительной способности почвенной микрофлоры (азотфиксирующие организмы, актиномицеты, микроскопические грибы) и высших растений, усваивающих из почвенного раствора минеральные вещества, и включая их в органические соединения. Фтор и ТМ вступают в реакцию с кальцием и формируют труднорастворимые соединения с переводом их в твердую фазу почвы, что усиливает её химическую поглотительную способность. Сложный компост богат коллоидами и усиливает в почве физико-химическую поглотительную способность, обогащая её коллоидными системами Fe^{3+}, Al^{3+}, Ca^{2+} и других элементов. Усиливается физическая поглотительная способность почвы, поскольку многие системы сложного компоста при увлажнении адсорбируют на своей поверхности мелкодисперсные частицы почвы (в основном органические). Это сказывается на изменении концентрации почвенного раствора и его химического состава, повышается поглощение почвой газообразных соединений (CO_2 и др.), повышается пористость почвы, способствующие задерживанию механических частиц, находящихся во взвешенном состоянии в стоках дождевых вод, а также в воздухе [17].

С внесением сложного компоста в урожае зерна озимой пшеницы накапливается больше белков (на 15-20 %), углеводов (до 25 %), протеина А (до 12 %), витаминов группы В (до 17 %), полезных аминокислот (до 20 %), растворимых полисахаридов (до 16 %), улучшающих работу кишечника;

биотина (витамин Н), улучшающего иммунную систему организма; клетчатки, содержащей растворимое волокно (бетаглюкан) и снижающей в крови концентрацию холестерина, а в золе – марганца (до 18 %), кальция (до 20), серы (до 30), железа (до 20), фтора (до 12), калия (до 12), цинка (до 12), йода (до 16 %).

Для установления влияния некоторых отходов на прорастание семян озимой пшеницы были проведены лабораторные опыты: семена замачивали 4–5 мин в дистиллированной воде, затем их обваливали в размельченной почве, перегное, фосфогипсе и в их смесях и помещали в чашки Петри на смоченную обычной водой фильтровальную бумагу. Всходы появлялись на 3-4-й день. Через 2 недели после всходов оценивали состояние проростков и определяли общую массу образовавшихся их основных частей.

Опыты показали, что в варианте с фосфогипсом у проростков пшеницы сформировалась наибольшая масса корней, доля которых составила 52 %, превосходя по этому показателю водный вариант, почву, смесь и даже перегной. Отношение массы проростка к массе корня составило 2:3. Вместе с тем масса листовых образований в варианте с фосфогипсом была наименьшей (34 %), тогда как в водном варианте составила 53 %, в почве – 47 %, а в смеси – 46 %. Обращает на себя внимание тот факт, что семена в варианте с фосфогипсом после прорастания сохраняют определенный запас энергии (оценка дается по средней массе сухого вещества семени), за счет которой идет развитие корней и листьев. Общая масса проростков с еще оставшейся здоровой частью семени в варианте с фосфогипсом была максимальной (табл. 6).

На начальном этапе развития проростков пшеницы (прорастание, образование первых 2-3 листьев, а также корней с использованием, в основном, энергии семян) наиболее рационально расходуются запасные вещества семян в варианте с фосфогипсом (на 41,8 % экономнее по сравнению с водой, на 26,2 % эффективнее по сравнению с перегноем). Кроме того, масса оставшейся части семени пшеницы в варианте с фосфогипсом была на уровне почвенного варианта и заметно выше варианта с перегноем. Полученные различия по характеру использования запаса питательных веществ в семенах пшеницы при их обваливании перед посевом в разных дисперсионных средах указывают на возможность разработки способов ускорения прорастания и интенсификации развития посевов этой культуры на самом начальном этапе формирования урожая.

Табл. 6. Влияние некоторых субстратов на формирование проростков озимой пшеницы

Вариант	Масса проростка		Семя		Росток		Корень	
	мг	%	мг	%	мг	%	мг	%
Почва	163±7,9	115,6	28±1,2	18	77±3,5	47	58±2,3	35
Перегной	171±8,4	121,2	20±0,9	12	76±3,7	44	75±3,1	44
Фосфогипс	200±9,7	141,8	28±1,3	14	68±3,5	34	104±5,1	52
Смесь	160±7,8	113,5	26±1,2	16	74±3,8	46	60±3,0	38
Вода	141±6,3	100	26±1,1	19	75±3,2	53	40±1,9	28

Установлено, что смесь различных отходов, включая и фосфогипс, удлиняет период развития растений на начальном этапе (особенно, до фазы кущения) за счет усиления роста подземных структур, а в вегетативный период – за счет усиления кущения и формирования большего числа придаточных побегов, что в последующем сказывается на увеличении продолжительности генеративной фазы. Такая особенность развития растений озимой пшеницы в ответ на внесение сложного компоста удлинила процесс их вегетации до двух недель и больше. Было установлено, что завершение созревания семян озимой пшеницы при внесении сложного компоста наступает значительно позже, чем в варианте с внесением азотно-фосфорных удобрений.

Корни растений озимой пшеницы в начале её кущения в опытном варианте были в среднем на 5-7 см длиннее, чем на контроле. Кроме того, число придаточных побегов на одно растение в варианте со сложным компостом увеличилось в среднем до 3-4. В опытном варианте у 71 % проростков в зоне колеоптильной почки образовалось по 3 придаточных корня; отмечено также развитие и переход в рост почки колеоптиля (у 9 %) и образование ею бокового побега. В конце 3-й недели после всходов растения пшеницы перешли к кущению и по длине прикорневых листьев вышли на уровень контрольного варианта. Отмечены некоторые особенности внешнего вида растений: в опытном варианте растения пшеницы отличались более темной окраской и сравнительно ранним переходом к активному кущению и к концу осеннего периода вегетации до наступления минусовых температур сформировали на 1-2 побега больше, чем на контроле.

В зимний период растения озимой пшеницы в обоих вариантах хорошо перезимовали, выпадов не отмечено; с наступлением положительных температур весной в опытном варианте растения пшеницы продолжали куститься и дополнительно образовали в среднем еще по 1-2 побега. На контроле также отмечено образование отдельных дополнительных побегов, но не у всех растений и не более одного побега на особь. Весной с началом активной вегетации междурядья озимой пшеницы быстрее сомкнулись в опытном варианте, что весьма благоприятно отразилось на состоянии посева в последующий период: почва под опытным посевом накопила на 15 % больше влаги, уровень которой на протяжении всей вегетации на 4-5 % был выше, чем на контроле.

Внесение сложного компоста положительно сказалось и на относительно редкой встречаемости сорных растений, которые наблюдались в основном в тех местах, где были допущены просевы. В контрольном варианте отмечено от 61 до 83 экз/га сорных растений, а в опытном их число не превышало 23. Снижение засоренности посевов в опытном варианте мы связываем с более высокой степенью кущения пшеницы, которая в среднем была на 21±1,02 % выше, чем на контроле.

В полевых условиях при заделке семян на глубину 4-6 см проростки образуют колеоптильное междоузлие длиной до 3 см, в узловой части

которого у некоторых особей формируются корни, а также придаточный побег. Зона побегообразования у растений пшеницы характеризуется формированием мощного узла придаточных корней, при этом значительно большее число придаточных побегов отмечается в варианте с внесением сложного компоста в разреженных посевах (на одну особь их число доходит до 12 шт. при высоте побегов 22-25 см). Придаточные корни у отдельных особей озимой пшеницы проникают на глубину до 34 см, из которых 2-3 корня образуются в колеоптильном узле и до 20 корней – в зоне кущения. В варианте с минеральными удобрениями (NP) корневая система растений озимой пшеницы в фазе кущения менее развита и размещается в основном в поверхностном слое почвы на глубине 15-20 см; в зоне кущения формируется до двух, реже – четырех побегов и до семи придаточных корней. Влияние сложного компоста заметно сказалось также на характере формирования побегов и их генеративных структур (табл. 7).

Табл. 7. Влияние сложного компоста на развитие растений озимой пшеницы

	Среднее	Стандартная ошибка	Коэффициент вариации, %	Максимум	Минимум
Вариант со сложным компостом					
Количество побегов/м^2	585	27,14	31,74	647	495
Масса побегов, г СВ	0,98	0,06	25,17	1,2	0,74
Масса корней побега, г СВ	0,21	0,01	29,99	0,26	0,18
Колосков в колосе, шт.	17,1	0,36	11,15	20,0	15,2
Масса колоса, г СВ	1,36	0,11	23,17	1,59	1,22
Число колосьев/м^2	529	27,13	32,14	554	509
Вариант с NP					
Количество побегов/м^2	396	24,72	35,46	475	342
Масса побега, г СВ	1,2	0,14	28,15	1,4	0,9
Масса корней побега, г СВ	0,14	0,01	23,25	0,16	0,11
Колосков в колосе, шт.	18,9	0,39	14,17	22,0	15,80
Масса колоса, г СВ	1,73	0,12	22,74	1,98	1,57
Число колосьев/м^2	389	14,75	27,14	421	368

В варианте со сложным компостом количество побегов в расчете на единицу площади значительно превысило вариант с NP (рисунок) и составило соответственно 585 и 396 шт. на 1 м^2 . Сравнение состояния побегов озимой пшеницы в фазе молочно-восковой спелости по вариантам опыта показывает, что при внесении сложного компоста растения сохраняют у значительной части побегов больше зеленых листьев, чем в варианте с NP; окраска листьев в варианте со сложным компостом более темная и желтеть начинают только верхушки средних и верхних листьев, а в варианте с NP все верхние листья к этому времени уже имеют желтую окраску.

Сложный компост оказывает определенное влияние на накопление во всех структурах общего азота, фосфора, серы, кальция, а также повышает влажность почвы, способствует нейтрализации её pH (табл. 8). Повышение содержания в почве фосфора, серы и кальция обусловлено поступлением этих элементов с фосфогипсом, а увеличение азота связано со снижением

трансформации органических веществ, что определяется заметным усилением процессов их агрегирования. Уровень гумуса в почве практически не изменился, а его минерализация существенно снизилась ввиду коагуляции минеральных коллоидов сложного компоста и органических коллоидов почвы.

Рис. Развитие растений пшеницы с 1 м^2 в фазе молочновосковой спелости

Табл. 8. Влияние сложного компоста на содержание основных соединений в почве под озимой пшеницей

Варианты опыта	Гумус, %	pH	N общ., %	NO_3^-, мг/кг	P_2O_5, мг/кг	SO_4^{-2}, мг/кг	CaO, %	SiO_2, %	Mg, %
Контроль	3,30	7,35	0,22	39,40	78,5	71,4	0,087	0,19	0,14
Сложный кеомпост	3,40	6,80	0,35	61,15	112,4	125,2	0,138	0,28	0,27

Внесение сложного компоста перед посевом озимой пшеницы на фоне значительной нормы (около 50 т/га) полуперепревшего навоза КРС и фосфогипса влияет на содержание в почве многих минеральных элементов, особенно кальция и серы. Значительное повышение в сложном компосте подвижного кальция оказало большое влияние на перевод в нерастворимое состояние фтора и стронция и весьма заметно снизило концентрации их подвижных соединений.

Поскольку сложный компост оказывает значительное влияние на трансформацию органического вещества и процессы нитрификации в почве, то это сказывается также на состоянии в ней сообществ живых организмов – прежде всего мезофауны в корнеобитаемом слое посевов озимой пшеницы (табл. 9). В сравниваемых вариантах было выделено 3 класса почвенных

беспозвоночных: Insecta, Myriapoda, Olygochaeta. Доминирующая группа представлена классом Olygochaeta, численность таксонов которого составила свыше 500 экз./м^2. В варианте без сложного компоста выделены популяции цикадок и многоножек, которые не были обнаружены в варианте со сложным компостом. Увеличение численности дождевых червей в опытном варианте указывает на более благоприятные условия увлажнения, а также на значительные выделения органических веществ корневыми системами растений озимой пшеницы и замедление процессов их минерализации. В целом, в варианте со сложным компостом, фаунистическое сообщество под пшеницей по численности превышает в 3,0-3,5 раза вариант с NP, чему в значительной степени способствует также лучшее увлажнение почвы в опыте.

Табл. 9. Таксономический состав и плотность почвенной мезофауны (экз./м^2) в посевах озимой пшеницы

№ п/п	Состав почвенной фауны	Вариант опыта	
		Сложный компост	NP
1	Кл. Insecta – Насекомые, отр. Diptera – Двукрылые Личиночная стадия	12,5	12,5
2	Кл. Olygochaeta, сем. Lumbricidae	537,5	112,5
3	Кл. Insecta – Насекомые, отр. Raphidiodea – Верблюдки, сем. Raphidiidae – Настоящие верблюдки	12,5	-
4	Кл. Insecta – Насекомые, отр. Homoptera – Равнокрылые, сем. Tettigometridae – Цикадочки	-	12,5
5	Кл. Myriapoda, отр. Geophillomorpha – Многоножки	-	12,5
ИТОГО:		562,5	150,0

Сравнение концентрации отдельных веществ в различных частях урожая показало, что сложный компост заметно повлиял на содержание в зерне азота, фосфора, серы, кальция и ряда других элементов. На контроле показатели загрязнения зерна фторидами находятся на уровне опытного варианта (табл. 10). Сложный компост способствует обогащению зерна фосфором, что, естественно, улучшает качество продукции.

Табл.10. Содержание основных химических элементов в урожае озимой пшеницы, %

Часть растения	Азот	Фосфор	Сера	Кальций
Сложный компост				
Зерно	2,38	0,54	0,18	0,75
Надземная масса (без зерна)	0,34	0,12	0,08	0,18
Корень	0,81	0,29	0,15	0,95
NP				
Зерно	1,88	0,32	0,09	0,65
Надземная масса (без зерна)	0,30	0,07	0,05	0,15
Корень	0,37	0,11	0,04	0,65

Внесение сложного компоста определенным образом сказалось на массе 1000 семян озимой пшеницы, на продуктивности и урожайности зерна (табл. 11).

Табл. 11. Урожайность озимой пшеницы на фоне сложного компоста и минеральных удобрений

Показатель	Среднее	Стандартная ошибка	Коэффициент вариации, %	Максимум	Минимум
Сложный компост					
Масса 1000 семян, г	40,4	0,17	21,84	41,8	39,6
Продуктивность, г/м^2	628,0	21,14	28,19	651	608
Урожайность, ц/га	62,8	3,47	25,83	65,1	60,8
NP					
Масса 1000 семян, г	40,0	0,16	20,9	42,6	39,9
Продуктивность, г/м^2	589,9	20,74	31,08	612,4	563,5
Урожайность, ц/га	59,0	2,95	20,94	61,24	56,35

Полученные данные указывают на сходство по вариантам опыта такого показателя, как масса 1000 семян, но отмечены весьма заметные различия по их продуктивности: в варианте со сложным компостом было получено семян 628 г/м^2, а в варианте с NP этот показатель был ниже и составил лишь 590 г, что естественно сказалось и на общем выходе продукции. В варианте со сложным компостом урожайность зерна превышала контроль на 3,8 ц/га, что определило весьма заметную прибавку в урожае зерна по сравнению с контролем. Сложный компост оказал значительное влияние на качество зерна озимой пшеницы (табл. 12).

Табл. 12. Влияние сложного компоста на качество урожая зерна озимой пшеницы

Вариант	Влажность, %	Протеин, %	Клейковина, %	Стекловидность, %	ИДК, ед
Сложный компост	14,0	12,8	19,7	43,4	63
NP	13,8	11,5	16,7	40,3	62

В варианте со сложным компостом влажность зерна в период уборки была несколько выше (в среднем на 0,2 % по сравнению с вариантом NP). Внесение сложного компоста способствовало значительному повышению в зерне протеина (на 1,3 %) и клейковины (на 3,0 %). Несколько выше в варианте со сложным компостом была стекловидность зерна и его ИДК. Внесение сложного компоста оказало большое влияние также на биохимический состав зерна (табл. 13).

Табл. 13. Влияние сложного компоста на качество зерна озимой пшеницы

Показатель	Содержание в вариантах	
	Сложный компост	NP
Углеводы, г/100 г	20,4	19,6
Растворимые полисахариды, г/100 г	6,7	3,9
Незаменимые аминокислоты, г/100 г	9,8	4,9
Провитамин А, мг/100 г	0,9	-
Витамины группы В, мг/100 г	0,8	-
Биотин (витамин Н), мг/100 г	0,5	0,1
Бетаглюкан (клетчатка с растворимым волокном), мг/100 г	3,4	1,6

Влияние сложного компоста на развитие озимой пшеницы и её урожайность объясняется улучшением целого ряда почвенных характеристик, включая содержание гумуса, фосфора, калия, кальция и серы. Количество тяжелых металлов в сложном компосте не оказало негативного влияния на урожайность озимой пшеницы и её качество. Более того, питательная ценность зерна пшеницы с внесением сложного компоста существенно повысилась, особенно это касается увеличения концентрации витаминов, незаменимых кислот и полисахаридов.

Для выявления взаимосвязи между урожайностью зерна и важнейшими характеристиками почвенных условий проводился множественный корреляционно-регрессионный анализ, по результатам которого выявлено, что наиболее тесная взаимосвязь продуктивности отмечена для гумуса, фосфора, кобальта, аммония и калия при коэффициенте корреляции (r=0,809). Результаты регрессионного анализа зависимости урожая озимой пшеницы от агрохимического состава почвы (табл. 14) показывают, что в варианте со сложным компостом наиболее существенный вклад в изменчивость продуктивности культуры вносит гумус и концентрация P_2O_5 (X_3), доля влияния которого составляет 27 %, что вполне объяснимо, поскольку содержание этого элемента в сложном компосте весьма значительно. Вторым по значимости фактором, влияющим на урожайность зерна озимой пшеницы в данных условиях, является калий. Наименее значимым оказалось влияние тяжелых металлов.

Табл. 14. Зависимость урожая озимой пшеницы от агрохимических свойств почвы

Показатель	Уравнение регрессии ($У=X_1 \pm X_2 \pm X_3 \pm X_4 \pm X_5 \pm X_6 \pm X_7 \pm X_8 \pm X_9 \pm X_{10} \pm X_{11} \pm X_{12}$)	Множеств. коэф. корреляции	Доля влияния ($X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{12}$)
Урожай со сложным компостом	$У = 4{,}12736X_1 - 1{,}1534X_2 + 4{,}56896X_3 - 1{,}0506X_4 - 1{,}60736X_5 + 1{,}5694X_6 - 0{,}0740X_7 - 5{,}03780X_8 + 0{,}0955X_9 - 6{,}0314\ X_{10} + 0{,}0071X_{11} - 0{,}0063X_{12}$	0,942	8,73; 4,22; 27,01; 3,13; 4,00; 2,73; 8,37; 15,49; 7,47; 7,53; 0,136; 0,072
Урожай с NP	$У = 6{,}0052X_1 + 0{,}071X_2 + 8{,}6723X_3 + 0{,}9372X_4 - 0{,}0934X_5 + 1{,}0073X_6 - 0{,}0959X_7 - 3{,}6374X_8 + 0{,}0045X_9 + 2{,}3845\ X_{10} + 0{,}0045X_{11} - 0{,}0943X_{12}$	0,895	17,42; 5,35; 29,42; 2,17; 2,32; 1,47; 4,33; 6,24; 4,32; 5,49; 0,097; 0,089.

На основе уравнения регрессии между урожаем озимой пшеницы (У) и гумусом (X_1), S (X_2), P_2O_5 (X_3), Co (X_4), Zn (X_5), Mn (X_6), Cu (X_7), K_2O (X_8), NH_4^{-1} (X_9), NO_3^{-1} (X_{10}), Mo (X_{11}), Pb (X_{12}) определен коэффициент множественной корреляции. Весьма высоким оказался коэффициент корреляции между урожаем зерна озимой пшеницы и основными агрохимическими показателями, характеризующими особенности развития этой культуры в варианте со сложным компостом (табл. 14).

В результате регрессионного анализа получено уравнение регрессии, отражающее тесную взаимосвязь между уровнем урожая и такими характеристиками, как концентрация фосфора и калия. Результаты анализа показывают также заметную зависимость урожая зерна озимой пшеницы от

ряда других показателей, среди которых заметное место занимают азотные соединения.

Рассматриваемые нами сложные компосты оказывают влияние на различные аспекты информационного обеспечения агроландшафтов. Отходы в целом являются гетерогенными образованиями двумя и большим числом фаз с развитой поверхностью. Для минеральных отходов свойственна большая гетерогенность гранулометрического состава, химическая и физическая стабильность и длительное сохранение физико-химических свойств вследствие слабой их растворимости, что является итогом длительного геологического периода формирования минералов. Сложный компост формируется за счет комплексирования образования совместных соединений минеральных и органических коллоидов, создания новых круговоротов биогенов, усиления ферментативной активности органического вещества, дыхания живых организмов, возникновения газообразных соединений, особенно азотных, и расширения экологических ниш. Численность живых организмов оценивается по уровню трансформации органического вещества и активности системы живых организмов.

Сложный компост – новое направление в практической экологии и земледелии, основанное на создании комплексных смесей различных отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства, а также природных материалов для обогащения почв, воды и воздуха органическими и минеральными дисперсными и коллоидными системами с целью совершенствования их физико-химических и биолого-экологических функций.

Литература

1. Безуглова О.С. Гумусное состояние почв юга России / О.С. Безуглова // Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦВШ, 2001. – 228 с.
2. Белюченко И.С. Рекреационная трансформация лавровишневых сообществ на Кавказе / И.С. Белюченко, Ю.Г. Щербина, В.Г. Щербина // Экологические проблемы Кубани. – 1999. – № 4. – С. 22.
3. Белюченко И.С. Физико-географическая характеристика ленинградского района / И.С. Белюченко, Е.А. Перебора, В.Н.Гукалов // Экологические проблемы Кубани. – 2002. – № 16. – С. 186.
4. Белюченко И.С. К вопросу о роли леса в функциональном восстановлении бассейнов степных рек края / И.С. Белюченко // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2010. – Т. 6. – № 3. – С. 3–16.
5. Белюченко И.С. Экологическое состояние бассейнов степных рек Кубани и перспективы их развития / И.С. Белюченко // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2010. – Т. 6. – № 2. – С. 5-16.
6. Белюченко И.С. Органические и минеральные отходы производства как сырьевая основа сложных компостов / И.С. Белюченко // Перспективы и проблемы размещения отходов производства и потребления в агроэкосистемах: Междунар. науч.-практ. конф. – Нижний Новгород. – 2014. – С. 41-47.
7. Белюченко И.С. Основы экологического мониторинга: практическое пособие / И.С. Белюченко, А.В. Смагин, Г.В. Волошина и др. – Краснодар: КубГАУ, 2012. – 252 с.

8. Белюченко И.С. Интродукция растений как метод расширения видового состава культурных фитоценозов в южных районах СНГ / И.С. Белюченко, Б.А. Мустафаев //Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2013. – Т. 9.– № 4. – С. 73-89.

9. Белюченко И.С. Сложные компосты как источник расширения экологических ниш культурных растений в системе почвенного покрова / И.С. Белюченко // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: Сб. тр. III Междунар. науч. экол. конф. – Краснодар, 2013. – С. 12-14.

10. Белюченко И.С. Отходы быта и производства как сырье для подготовки сложных компостов / И.С. Белюченко. – Краснодар, 2015. – 419 с.

11. Добровольский Г.В. Значение почв в сохранении биологического разнообразия / Г.В. Добровольский // Почвоведение. – 1996. – № 6. – С. 694–699.

12. Добровольский Г.В. Сохранение почв как незаменимого компонента биосферы / Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин. – М.: Наука, 2000. – 185 с.

13. Муравьев Е.И. Влияние фосфогипса на развитие растений сахарной свеклы в степной зоне Краснодарского края / Е.И. Муравьев, И.С. Белюченко, В.В. Гукалов, О.А. Мельник // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2008. – Т. 4. – № 4. – С. 112-114.

14. Муравьев Е.И. Коллоидный состав и коагуляционные свойства дисперсных систем почвы и некоторых отходов промышленности и животноводства / Е.И. Муравьев, И.С. Белюченко // Тр. КубГАУ. – 2008. – Т. 2 (11). –С. 177–182.

15. Петренко Д.В. Влияние отходов Белореченского химзавода на содержание стронция в окружающих ландшафтах / Д.В. Петренко, И.С. Белюченко // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2012. – Т. 8. – № 1. – С. 4–79.

16. Шоба С.А. Методологические аспекты почвенного конструирования / С.А. Шоба, А.В. Смагин, Н.Б. Садовникова // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства. Сб. тр. IV Междунар. Конф. – Краснодар, 2015. – Т. 1. – С. 7–17.

17. Belyuchenko I.S. As to the evolutionary relationships of different level systems in the biosphere/ I.S. Belyuchenko // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2005. – Т. 1. – № 2. – С. 17–50.

18. Belyuchenko I.S. Evolutionary and ecological approaches то the plants introduction in practice /I.S. Belyuchenko // Экол. Вестник Сев. Кавказа. – 2005. – Т. 1. – № 2. – С. 104-111.

19. Kurakov A.V. Microscopic fungi of soil, rhizosphere, and rhizoplane of cotton and tropical cereals introduced in southern Tajikistan / A.V. Kurakov, H.T.H. Than, I.S. Belyuchenko // Микробиология. – 1994. – Т. 63. – № 6. – С. 1101.

ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ И НЕКОТОРЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БИОЛОГИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА В ПОСТАГНОГЕННЫХ ЭКОСИСТЕМАХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ

Телеснина В.М., Ваганов И.Е.
Факультет почвоведения МГУ, г. Москва
vtelesnina@mail.ru

Введение. В настоящее время на территории России сельскохозяйственное использование большой площади пахотных земель прекращено, при этом основной массив залежей расположен в подзоне южной тайги, занимая около 20 % территории [9]. На месте агроценозов возникают постагрогенные фитоценозы, характеризующиеся от зональных флористическим составом, структурой растительности и, как следствие, особенностями биологического круговорота. В связи с возрастанием площади заброшенных угодий становится актуальным изучение процесса восстановления растительного покрова во взаимосвязи с эволюцией почв после прекращения распашки. С наибольшей скоростью изменяются и наиболее быстро восстанавливаются в процессе лесовозобновления такие химические свойства почв, как кислотность, содержание обменных кальция и магния, различных форм железа [2, 18]. Выход почвы из обработки и переход ее в залежь со сменой растительного покрова приводит к существенным изменениям в содержании органического вещества, причем разными авторами отмечаются разнообразные тенденции в изменении этих показателей [8, 13, 19]. Общей тенденцией, которую отмечают все авторы, является существенное увеличение эмиссии диоксида углерода вследствие возрастания биологической активности почв при залужении пашен [22].

В настоящее время недостаточно изучена демутационная динамика травяного яруса при естественном лесовосстановлении, тогда как именно травяно-кустарничковый покров наиболее четко отражает смену экологических условий, в том числе физико-химических и химических свойств почв [6]. При большом числе работ, посвященных эволюции почв в ходе постагрогенеза [9, 14], а также при наличии ряда работ по демутационной динамике растительности [4, 12, 23, 21], в настоящее время мало изучается динамика биологического круговорота в ходе демутационной сукцессии и вообще его специфика для постагрогенных экосистем. Мало затрагиваются также вопросы взаимосвязи демутационной динамики растительности с почвенными условиями, в то время, как демутационные сукцессии, особенно, лесовосстановительные, не могут не отражаться на динамике морфологических, физико-химических, химических и микробиологических свойств почв, которая наблюдается с разной отчетливостью в ходе постагрогенного лесовосстановления [20]. Цель настоящей работы – изучить особенности демутационной динамики биологического круговорота во взаимосвязи с некоторыми свойствами почв в

условиях разного хозяйственного использования в прошлом на примере двух хронорядов – зарастающего сенокоса и зарастающей пашни. Для этого поставлены задачи: 1) изучить динамику биомассы (преимущественно напочвенного покрова) в ходе демутационного лесовозобновления; 2) изучить массу и некоторые особенности химического состава поступающего в почву легкоразлагаемого опада в постагрогенных экосистемах; 3) выявить взаимосвязь вышеперечисленных показателей биологического круговорота с некоторыми свойствами почв.

Объекты и методы исследования. Исследования проводили на территории Мантуровского района Костромской области. Объекты представлены несколькими хронорядами из постагрогенных экосистем. I. Зарастающая пашня: 1) пашня, засеянная овсом (почва агродерново-подзолистая); 2) залежь с 2005 г. – луг (агродерново-подзолистая реградированная); 3) залежь с 2000 г. – заросли ивы козьей (агродерново-подзолистая реградированная); 4) лес осиново-березовый 40 лет (дерново-подзолистая постагрогенная); 5) березово-еловый лес 100 лет (подзолистая). II. Зарастающий сенокос: 1) луг, выкошенный в последний раз 2-3 года назад (агродерново-подзолистая реградированная); 2) заброшенный 12-13 лет назад сенокос (агродерново-подзолистая реградированная); 3) лес ивово-березовый 20 лет (дерново-подзолистая постагрогенная); 4) лес березово-еловый 95 лет (дерново-подзолистая) (рис. 2). III. Кроме того, провели сравнительное исследование огорода, заброшенного 15-20 лет назад с экосистемой огорода, используемого в настоящее время (обе почвы – агродерново-подзолистые). В течение нескольких вегетационных периодов методом укосов исследовали надземную биомассу травяно-кустарничкового яруса, методом монолитов – корневую массу до глубины 30 см. Биомасса отдельных компонентов древостоя была рассчитана аллометрически. Почвенные свойства были определены методами, принятыми в почвоведении, целлюлозоразлагающая активность – аппликационным методом, биомасса почвенных микроорганизмов – посредством определения субстрат-индуцированного дыхания [17].

Результаты и обсуждение. Общая фитомасса биогеоценозов возрастает в ходе сукцессии, особенно после формирования сомкнутого древостоя – за счет многолетних частей деревьев. Возобновление древостоя осуществляется с большей скоростью на зарастающей пашне, чем на зарастающем сенокосе, что связано, возможно, с лучшими почвенно-растительными условиями по причине недавнего освоения почвы. На заброшенном огороде возобновление древостоя затруднено из-за конкуренции с сорно-рудеральным высокотравьем. В ходе зарастания пашни наблюдается уменьшение надземной биомассы травостоя почти в 6 раз. Через 1-2 года после прекращения кошения происходит уменьшение травяной фитомассы на 60-80 г/м^2. Через 7-8 лет после прекращения сенокошения надземная биомасса почти вдвое уменьшается за счет окончательного выпадения высокопродуктивных злаков. Биомасса травостоя

сенокосного луга значимо выше биомассы травостоя заброшенного сенокоса. В фитоценозе заброшенного огорода наблюдается самая высокая надземная биомасса травяного яруса – более 600 г/м^2, в то время, как корневая масса сопоставима с корневой массой на залежах с 2005 и с 2000 года. Уменьшение биомассы травяного яруса в ходе постагрогенной эволюции способствует уменьшению поступления в почву органического вещества и зольных элементов, что подтверждается почвенными исследованиями, поэтому данные о динамике биомассы трав важны для понимания постагрогенной эволюции почв. Наиболее существенное значение для накопления и преобразования гумусовых веществ в почве, а также для активности почвенных микроорганизмов имеет значение легкоразлагаемый опад, в который входят следующие составляющие: 1) надземная биомасса травяно-кустарничкового яруса (ТКЯ), кроме зимнезеленых растений; 2) корневая биомасса травяно-кустарничкового яруса (за год корневым опадом становится примерно 1/3 ее часть, согласно данным Н.И.Базилевич); 3) листовой опад мелколиственных пород. Единственным источником поступления зольных элементов и азота в почву пашни являются подземные части растений, поскольку надземные отчуждаются. После прекращения распашки поступление азота и зольных элементов существенно увеличивается. Второй максимум поступления азота и зольных элементов выявлен для 40-летнего осиново-березового леса – преимущественно за счет листового опада деревьев (рис. 1, 2). При постагрогенном лесовосстановлении по сенокосному лугу с уменьшением продуктивности травостоя и началом возобновления деревьев поступление азота и зольных элементов уменьшается почти вдвое, как за счет надземной, так и за счет подземной биомассы травяно-кустарничкового яруса. К 20-летнему возрасту вторичного мелколиственного леса запас поступающего с опадом азота остается на прежнем уровне, запас зольных элементов продолжает уменьшаться. В экосистеме заброшенного огорода наблюдается очень высокое значение запаса азота и зольных элементов, поступающих с опадом – значительно выше, чем на молодых залежах и сенокосном лугу.

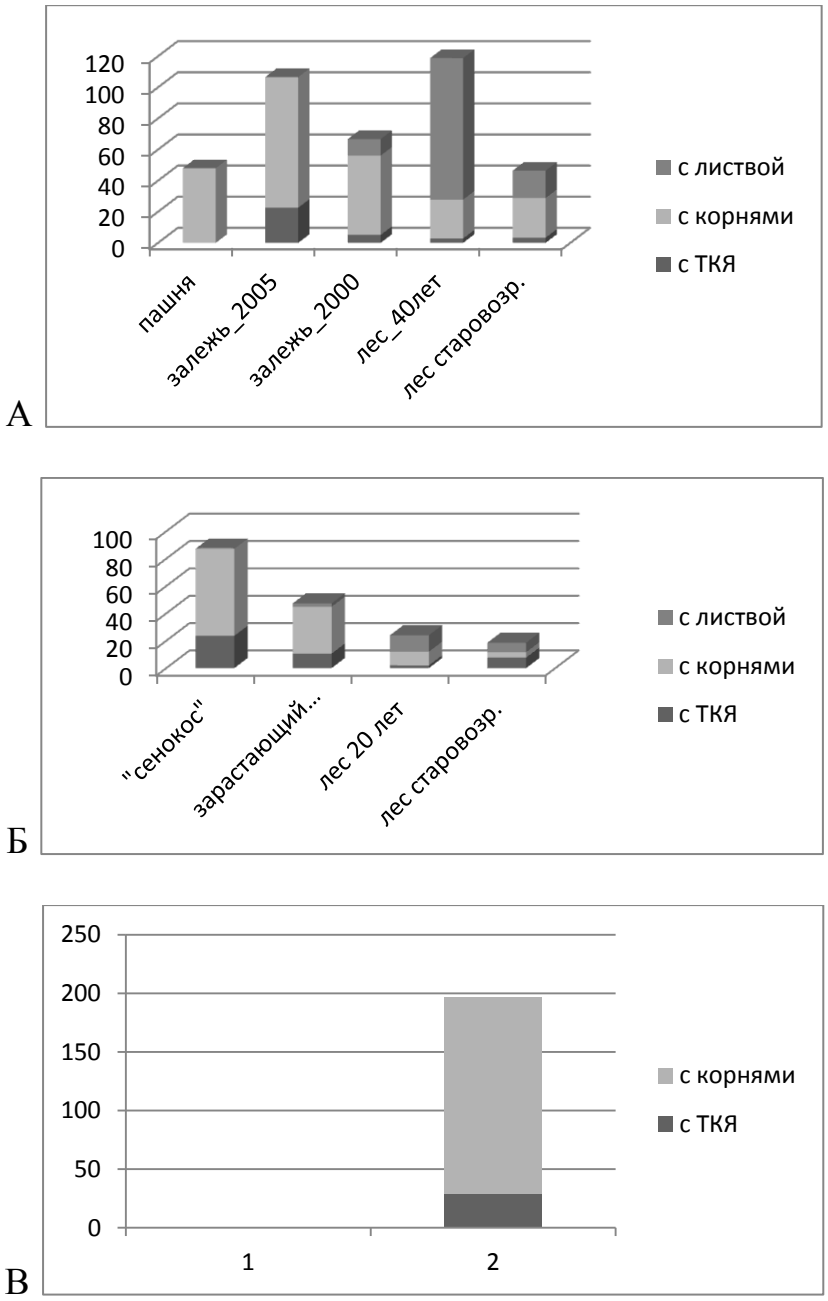


Рис. 1. Запасы зольных элементов, поступающих в почву с легкоразлагаемым опадом, г/м^2: А – зарастающая пашня, Б – зарастающий сенокос, В – заброшенный огород

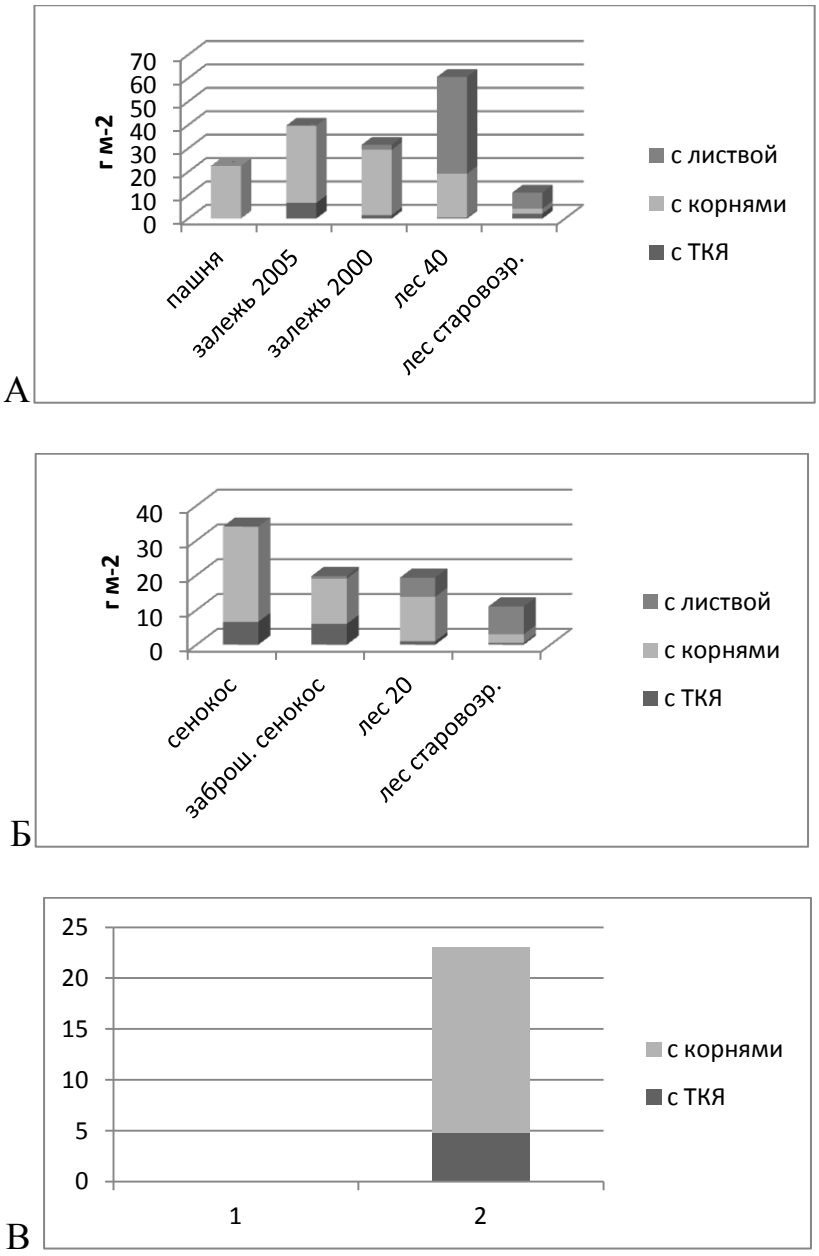


Рис. 2. Запасы азота, поступающего в почву с легкоразлагаемым опадом, г/м2 : А – зарастающая пашня, Б – зарастающий сенокос, В – заброшенный огород

Для зарастающей пашни более подробно был исследован зольный состав легкоразлагаемого опада. Так, поступление кальция увеличивается по мере зарастания пашни лесом (рис. 3), и уменьшение этого показателя наблюдается только в старовозрастном лесу. При этом основным источником кальция является корневая биомасса, в 40-летнем мелколиственном лесу – опад березы и осины. Содержание калия в опаде, как правило, преобладает над содержанием кальция, особенно в надземных частях растений, что отражается и на количестве калия, поступающего с опадом. Особенно интенсивное поступление калия опадом выявлено для стадий молодой высокопродуктивной луговой залежи (с 2005 г.) и 40-летнего

мелколиственного леса – в первом случае основным источником калия является надземная биомасса трав, во втором – опад мелколиственных деревьев. Запасы поступающего с опадом фосфора существенно меньше калия и кальция и основным его источником является корневая масса в луговых экосистемах и мелколиственный опад в лесных.

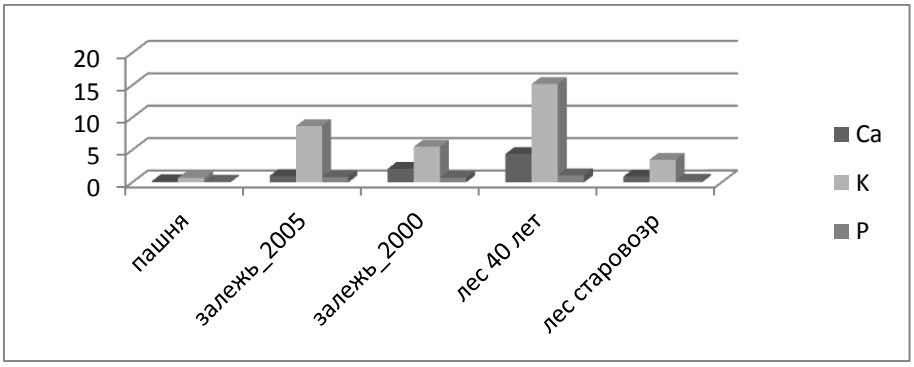


Рис. 3. Поступление некоторых зольных элементов с легкоразлагаемым опадом, г/м^2

Итак, наиболее интенсивное поступление с легко разлагаемым опадом азота и зольных элементов, в том числе калия и кальция, установлено для постпахотных высокопродуктивных залежей, где еще не возобновляется древостой, а также для мелколиственных вторичных лесов 35-40 лет – возраст, соответствующий наиболее интенсивному поступлению листового опада.

В ходе демутационной сукцессии по бывшей пашне увеличивается кислотность в верхнем минеральном горизонте почвы, что соответствует данным других авторов по постагрогенной динамике почв [16]. Наиболее резкое уменьшение показателя pH совпадает по времени с появлением древостоя (рис. 4). В почве 40-летнего мелколиственного леса можно наблюдать тенденцию к дальнейшему снижению pH. Максимальная кислотность как на глубине 0-10, так и на глубине 10-20 характерна для почвы 90-100-летнего леса, которая наиболее приближена к целинной. При изучении свойств почв «сенокосного» ряда в 2005 г. было установлено постепенное увеличение кислотности от стадии сенокоса к стадии 85-90-летнего леса [3]. В 2012 г. выявлена несколько другая картина – почва луга, на котором недавно прекращено сенокошение, отличается от остальных более высокой кислотностью по сравнению с 2005 годом – pH в верхней части старопахотного горизонта уменьшился с 5,3 до 4,5-4,7. С одной стороны, надземная фитомасса травостоя уменьшилась примерно на 100-150 г/м^2, с другой – после прекращения выкашивания усилилось накопление растительного опада, что могло вызвать подкисление почвы в верхней части профиля. При этом увеличение кислотности от зарастающего сенокоса к 85-90-летнему лесу выражено не столь отчетливо. Возможно, здесь играет роль не только гранулометрический состав почвы, но и степень ее

окультуренности – при сенокошении, в отличие от распашки, не вносятся удобрения и, соответственно, нет периода их последействия, при котором сохраняется низкая кислотность. После прекращения использования огорода через 15-20 лет кислотность меняется мало – с 7,0-7,2 pH уменьшается до 6,6-6,8, т.е. почва остается нейтральной.

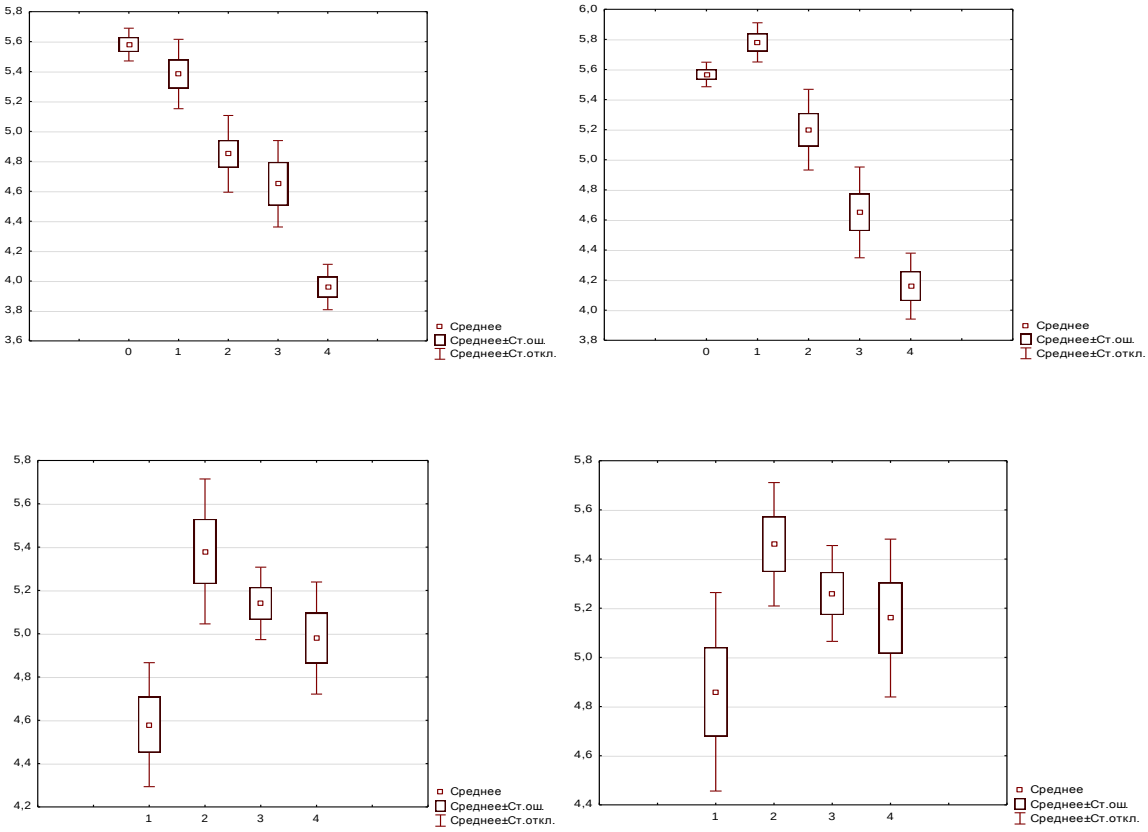


Рис. 4. Динамика актуальной кислотности (pHвод) в слоях почвы 0-10 (А, В) и 10-20 см (Б, Г) на зарастающей пашне (А, Б) и зарастающем сенокосе (В, Г)

Для изучаемых хронорядов выявлена разная динамика содержания органического углерода в старопахотной толще (рис. 5). Так, в ходе демутационной сукцессии по пашне, образованной на супесчаной почве, содержание углерода в слое 0-10 см явно увеличивается, достигая максимального значения в почве 90-100-летнего леса. Такая постагрогенная динамика содержания углерода в целом совпадает с данными других авторов [1, 18]. При демутации по сенокосному лугу динамика содержания органического углерода носит другой характер. Содержание углерода в почве луга, где сенокос прекратился всего 2 года назад, значимо превышает этот показатель на двух следующих стадиях сукцессии, что, опять же, особенно выражено для глубины 0-10 см. Отчуждение части травостоя при выкашивании, согласно данным А.А.Ларионовой с соавторами [7], может увеличивать аккумуляцию органического углерода в почве. Возможно, определенную роль играет резкое уменьшение на следующей стадии (10-13 летняя залежь по сенокосу) как подземной, так и надземной биомассы

травостоя, и, как следствие, уменьшение почти вдвое запаса азота и зольных элементов, поступающих с опадом. Зарастающий сенокос 10-13 лет является уже практически промежуточной стадией между луговой и лесной экосистемой, хотя древостой и не сомкнутый и не развит горизонт лесной подстилки. Однако, продуктивность травостоя уже не такая высокая, как на луговой стадии, но при этом еще не накоплен запас детрита, обусловленный древесным опадом, поэтому содержание углерода почти вдвое ниже, чем в 2006 году, когда на этом же участке был чисто луговой фитоценоз. При зарастании заброшенного огорода происходит несущественное уменьшение содержания органического углерода в верхнем минеральном горизонте от 3 % до 2,8 % – известно, что при высоком уровне агротехники долго сохраняются показатели гумусного состояния, достигнутые в ходе освоения почвы [10].

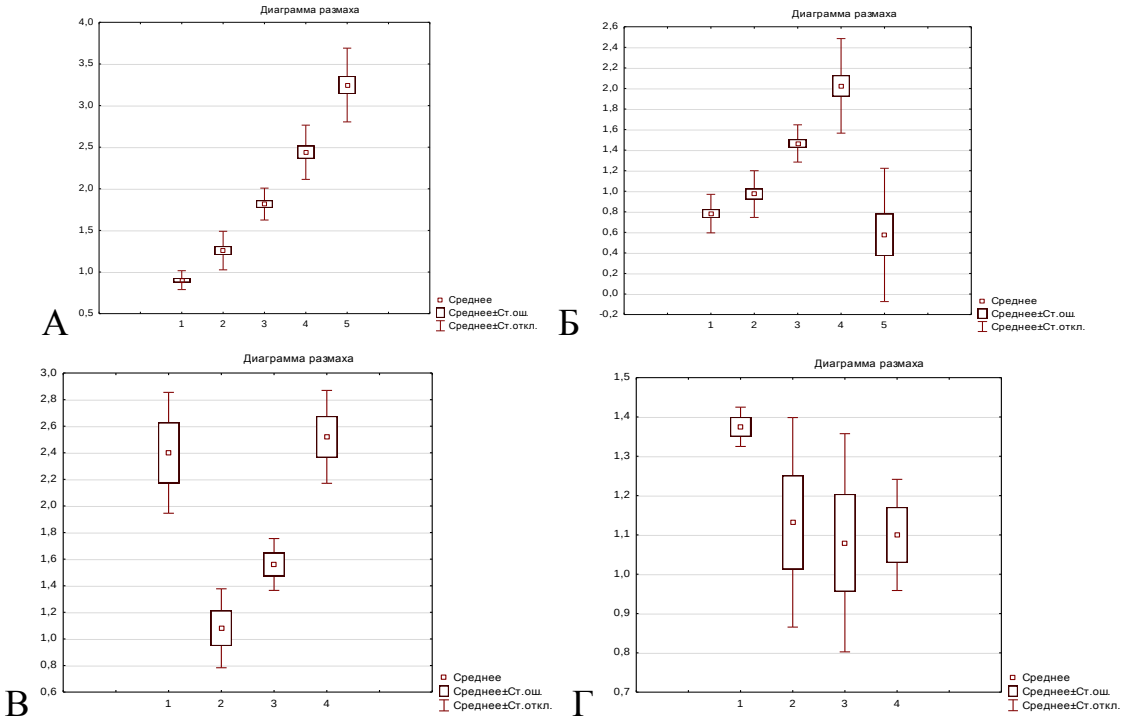


Рис. 5. Динамика содержания органического углерода в слоях почвы 0-10 (А, В) и 10-20 см (Б, Г) на зарастающей пашне (А, Б) и зарастающем сенокосе (В, Г)

Максимальной микробной биомассой характеризуются почвы огорода (более 400 мкгС/г почвы) и заброшенного огорода (270-300 мкгС/г почвы). В хроноряду, соответствующему зарастающей пашне, наиболее низкое значение микробной биомассы в верхнем минеральном горизонте выявлено для почвы пашни, что может быть связано с ежегодным отчуждением органического вещества и зольных элементов с надземной фитомассой, что создает их отрицательный баланс при условии отсутствия внесения удобрений и не может, таким образом, не отражаться на микробном

комплексе. В ходе зарастания лесом пашни микробная биомасса в целом увеличивается, особенно после прекращения распашки, что совпадает с резким приростом надземной и подземной биомассы травостоя, и, как следствие, увеличением поступления свежих растительных остатков. Кроме того, в почву поступает довольно много свежих растительных остатков, обогащенных зольными элементами и азотом (см. выше), по сравнению с другими экосистемами начальных стадий изучаемого постагрогенного ряда – именно поступление большого количества свежих биохимически разнообразных растительных остатков является одним из ведущих факторов активности почвенных микроорганизмов. При постагрогенной сукцессии по сенокосу отчетливых закономерностей изменения микробной биомассы в почве не выявлено, однако стоит отметить уменьшение почти в 4 раза этого показателя при начале восстановления древостоя – что совпадает с уменьшением биомассы травостоя и содержания органического углерода в почве. В почве 85-90-летнего леса микробная биомасса снова возрастает, что связано со стабилизацией биологического круговорота и восстановлением «лесного» органопрофиля, а также микробного и грибного населения почвы [15].

Результаты определения целюлозоразлагающей активности показали также несущественное отличие активности почвенной микробиоты используемого огорода и заброшенного более 15 лет назад (рис. 6).

Также показательно уменьшение целлюлозоразлагающей активности после начала возобновления древостоя как при зарастании сенокоса, так и при зарастании пашни. В ряду, соответствующем зарастающей пашне, оба пика микробиологической активности совпадают с максимальными значениями поступления зольных элементов и азота с легкоразлагаемым опадом.

Заключение. При естественном лесовосстановлении по пашне наблюдается увеличение интенсивности поступления азота и зольных элементов с опадом на стадии молодой залежи 6-7 лет, а также на стадии мелколиственного леса 40 лет. При зарастании лесом бывшего сенокоса интенсивность поступления с легкоразлагаемым опадом азота и зольных элементов уменьшается, особенно при начале возобновления древостоя. В ходе постагрогенной сукцессии по пашне выявлено повышение кислотности в верхней части профиля, увеличение содержания и запасов органического углерода в старопахотной толще. Для постагрогенной сукцессии по бывшему сенокосу не наблюдается такой отчетливой динамики перечисленных почвенных свойств. Изменение кислотности, гумусного состояния и микробной биомассы почв тесно связано с особенностями постагрогенной динамики растительности посредством количества и состав опада. Через 15 и более лет после прекращения использования хорошо окультуренной почвы огорода физико-химические, химические свойства, а также микробная биомасса существенно не изменяются, так как развитие высокопродуктивного рудерального высокотравья долгое время

поддерживает свойства почв, достигнутые высоким уровнем агротехники, на том же уровне. Существенное влияние на постагрогенную динамику свойств почв оказывает как характер демутационной сукцессии, так и вид и интенсивность сельскохозяйственного использования почвы в прошлом.

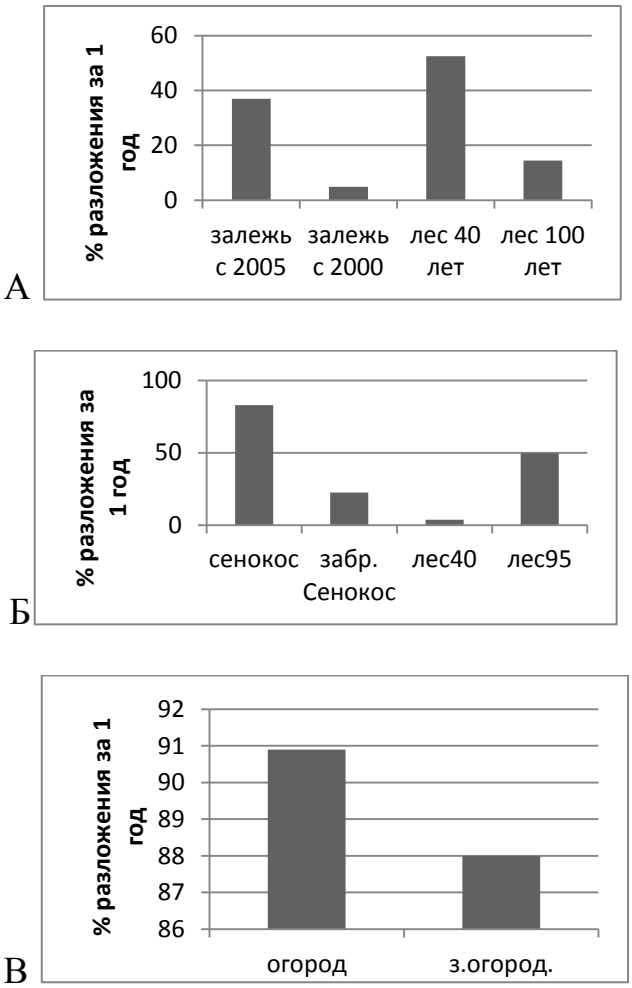


Рис. 6. Целлюлозоразлагающая активность постагрогенных почв. Сравнительная характеристика

Литература

1. Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Рыжова И.М., Бочарникова Е.О., Стольникова Е.В. Углерод микробной биомассы и микробное продуцирование двуокиси углерода дерново-подзолистыми почвами постагрогенных биогеоценозов и коренных ельников южной тайги (Костромская область) // Почвоведение. 2009. № 9. С. 1108-1116.

2. Баранова О.Ю., Номеров Г.Б., Строганова М.Н. Изменение свойств пахотных дерново-подзолистых почв при зарастании их лесом // Почвообразование в лесных биогеоценозах. М., 1989. С. 60-78.

3. Владыченский А.С., Телеснина В.М. Сравнительная характеристика постагрогенных почв южной тайги в разных литологических условиях // Вестник МГУ, сер. 17, почвоведение, 2007, № 4. С. 3-11.

4. Гульбе А.Я. Процесс формирования молодняков древесных пород на залежи в южной тайге. Автореф. дис. к.б.н. М., 2009. 22 с.

5. Классификация и диагностика почв России. Смоленск. Ойкумене, 2004. 341 с.

6. Копцик Г.Н., Багдасарова Т.В., Горленко О.В. Взаимосвязи видового разнообразия растений и свойств почв в экосистемах южной тайги // Бюллетень МОИП, отд. биол., 2001, т. 106, вып. 2, С. 31-38.

7. Ларионова А.А., Ермолаев А.М., Никитишен В.И., Лопес де Гереню В.О., Евдокимов И.В. Баланс углерода в пахотных серых лесных почвах при разных способах сельскохозяйственного использования // Почвоведение, 2009, № 2. С. 1464-1474.

8. Литвинович А.В. Постагрогенная эволюция хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв северо-запада Нечерноземной зоны // Агрохимия. 2009. С. 85-93.

9. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 416 с.

10. Матинян Н.Н., Базматова К.А., Алексеев С.С. Постагрогенная трансформация почв, сформированных на контрастных по гранулометрическому составу породах //Гумус и почвообразование, С. Петербург – Пушкин. 2007, С. 52-60.

11. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. М.:, Мысль, 1978. 181 с.

12. Москаленко С.В., Бобровский М.И. Расселение лесных видов растений из старовозрастных дубрав на брошенные пашни в заповеднике «Калужские засеки» // Известия Самарского научого центра РАН, 2012, т. 14, № 1 (5). С. 1332-1335.

13. Романовская А.А., Коротков В.Н., Карабань Р.Т., Смирнов Н.С. Динамика элементов баланса углерода на неиспользуемых пахотных угодьях Валдайской возвышенности // Экология. 2012. № 5. С. 347-352.

14. Рыбакова А.Н., Сорокина О.А. Оценка показателей плодородия постагрогенных почв залежей при различном использовании // Плодородие. 2013. № 3(72). С. 31-33.

15.Сорокина О.А., Сорокин Н.Д. Влияние сосняков разного возраста на биологическую активность залежных почв Среднего Приангарья. // Почвоведение. 2007. № 5. С. 627-634.

16. Токавчук В.В. Оценка свойств серых почв при восстановлении леса на залежных землях лесостепной зоны: автореф. дис. … канд. биол. наук. Красноярск, 2011. - 18 с.

17. Anderson J.P.E., Domsch K.H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Bioche. 1978. V. 10. № 3.

18. Kalinina O., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Lyuri D.I., Najdenko L., Giani L. Self-restoration of post-agrogenic sandy soils in the southern Taiga of Russia: Soil development, nutrient status, and carbon dynamics // Geoderma. 2009., v. 152. p. 35-42.

19. Falkengren-Grerup U., ten Brink D.HJ., Brunet J. Land use effects on soil N, P, C and pH persist over 40–80 years of forest growth on agricultural soils // Forest Ecol. Manag. 2005. V. 225. P. 74–81.

20. Hooker T.D., Compton J.E. Forest ecosystem carbon and nitrogen accumulation during the first century after agricultural abandonment // Ecol. Appl. 2003 v. 13 N 2. p. 99-313.

21. Questad E.R., Bryan L. Coexistance through spatio-temporal heterogeneity and species sorting ingrassland plant communities // Ecology Letters, 2008, v. 11, N 7, p. 717-726.

22. Vuichard N., Ciais P., Belelli L., Smith P., Valentini R. Carbon sequestration due to the abandonment of agriculture in the former USSR since 1990 // Global Biogeochem. Cycles. 2008. V. 22.

23. Yamamoto Y. Succession and various vegetation of grassland // Grassland Sc., 2001, Vol.47, № 4. – P. 424-429.

ПИЩЕВОЙ РЕЖИМ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ МИКРОУДОБРЕНИЙ ПОД ЛЮЦЕРНУ ВТОРОГО ГОДА

Сафонова Т.Г., Чухиль А.А.
Кубанский ГАУ, г. Краснодар

Микроудобрения играют важную роль в повышении урожайности сельскохозяйственных культур. В системе минерального питания большое значение отводят применению таких микроэлементов, как молибден, марганец, кобальт, медь, цинк и бор, т.к. они участвуют в важнейших биохимических процессах, стимулируют процесс фотосинтеза, повышают устойчивость растений к неблагоприятным условиям внешней среды, повышают урожайность сельскохозяйственных культур, улучшают качество продукции, сокращают сроки созревания.

Цель исследований – изучение динамики содержания минерального азота, подвижного фосфора и обменного калия в черноземе выщелоченном в зависимости от вида применяемых микроудобрений.

Исследования проводились на стационарном полевом опыте кафедры агрохимии Кубанского госагроуниверситета, который в настоящее время включен в Реестр длительных полевых опытов с удобрениями и другими средствами химизации земледелия РАН.

Схема опыта содержит восемь вариантов по четыре повторности. Расположение делянок в опыте рендомезированное. Учетная площадь микроделянки – 30 м^2.

№ варианта	Вариант опыта	Дозы удобрений
1.	000	Без удобрений
2.	Фон	N_{20} P_{20} K_{20}
3.	Фон+Mo	N_{20} P_{20} K_{20}+Mo_3
4.	Фон+Co	N_{20} P_{20} K_{20}+Co_3
5.	Фон+Mn	N_{20} P_{20} K_{20}+Mn_3
6.	Фон+Cu	N_{20} P_{20} K_{20}+Mn_3
7.	Фон+B	N_{20} P_{20} K_{20}+B_3
8.	Фон+Zn	N_{20} P_{20} K_{20}+Zn_3

Минеральные удобрения вносили в форме нитроаммофоски, сульфатов кобальта, марганца, меди и цинка, а также молибдата аммония и борной кислоты под ранневесеннее боронование. Агротехника в опыте общепринятая для данной зоны.

Объекты исследований: люцерна 2-го года жизни сорта Фея (синегибридный сортотип). Сорт в течение вегетации дает 2-4 укоса. После зимовки рано и дружно трогается в рост, хорошо отрастает после скашивания. Средняя высота растений при скашивании на сено 50-75 см, на семена – до 95

см. Созревшие бобы от светло- до темно-коричневого цвета, 3,8-4,6 мм в диаметре. Масса 1000 семян 1,8-2,2 г.

Почва – чернозем выщелоченный слабогумусный сверхмощный легкоглинистый на лессовидных тяжелых суглинках.

Аналитические работы выполнялись согласно общепринятым методикам. Почвенные образцы отбирали поделяночно с каждого варианта и с каждой повторности. В них определяли: содержание влаги – методом высушивания, аммонийный азот – реактивам Несслера, нитратный азот – потенциометрическим методом с использованием ионселективного электрода, подвижные формы фосфора и калия – по Чирикову в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204). В полевом опыте учет урожайности зеленой массы проводили поделяночно методом сплошной уборки. Статистическая оценка экспериментальных данных осуществлялась методом дисперсионного анализа.

Результаты исследований. По динамике изменения запасов минерального азота в почве определяют обеспеченность возделываемых культур азотом и уровень их продуктивности, а также изменение качества урожая. По уровню запасов минерального азота в почве судят об опасности загрязнения продукции нитратами, газообразных потерях азота, а также о поступлении азотистых соединений в природные поверхностные и грунтовые воды.

Внедрение микроэлементов в систему удобрения люцерны позволило несколько повысить содержание нитратного азота в черноземе выщелоченном. Особенно это заметно при удобрении молибденом, медью и кобальтом. Вероятно, данные элементы активируют азотфиксирующую деятельность клубеньковых бактерий, что приводит к улучшению азотного питания люцерны и, как следствие, формированию у растений более развитой корневой системы.

При выращивании люцерны без применения удобрений содержание нитратного азота в почве по фазам вегетации составляло 1,86-2,50 мг/кг, двойная норма полного удобрения способствовала накоплению нитратного азота в количестве 2,10-5,25 мг/кг почвы. Минеральные удобрения, применяемые под люцерну второго года в норме $N_{20}P_{20}K_{20}$, создали более благоприятный пищевой режим. Микроэлементы, вносимые на фоне макроудобрений, увеличивали содержание нитратных форм азота в почве. При использовании молибденовых, медных и кобальтовых микроудобрений на фоне $N_{20}P_{20}K_{20}$ показатель $N\text{-}NO_3$ в 0-20 см слое почвы превышает контроль на 2-9 % (рис. 1).

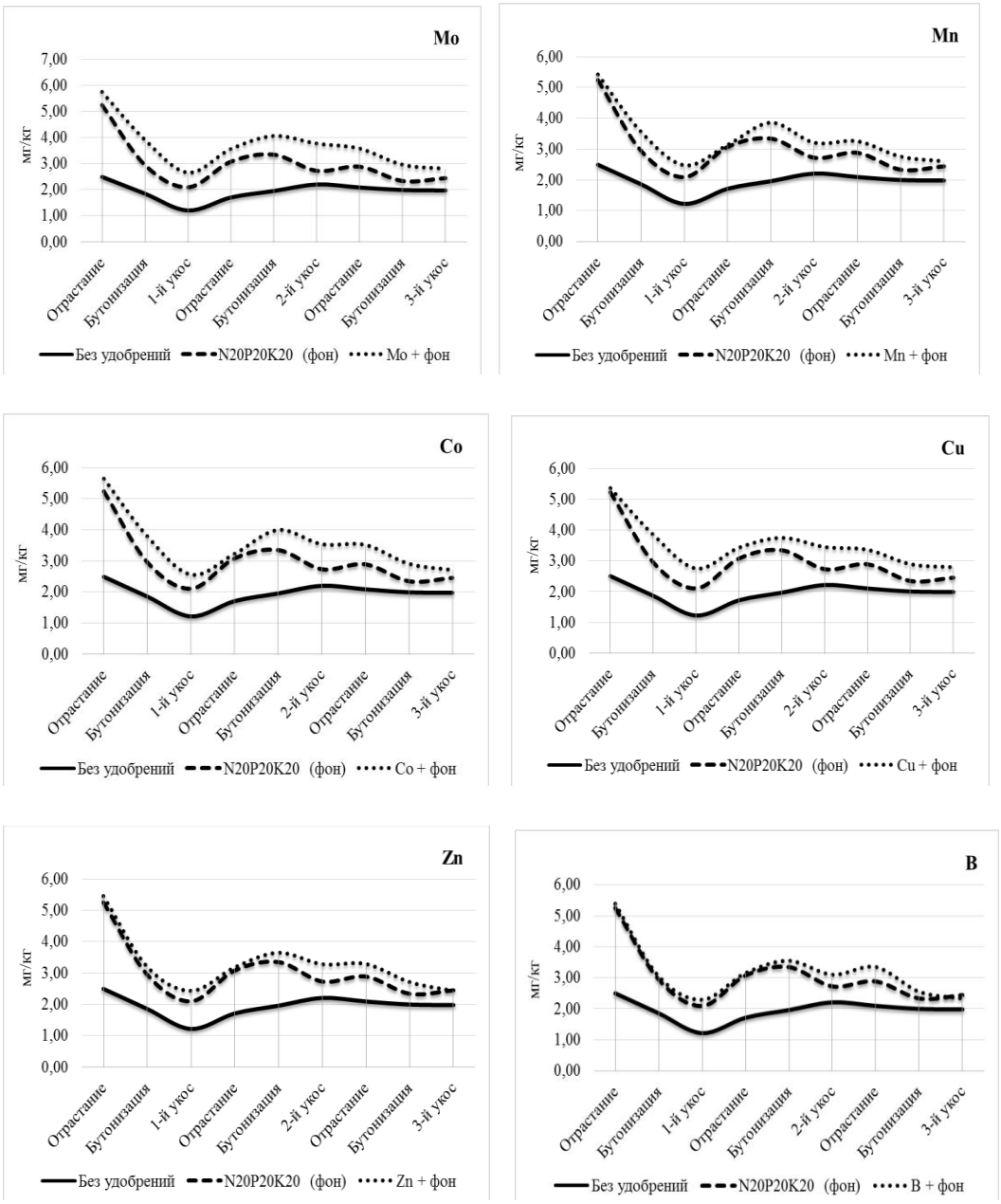


Рис.1. – Динамика содержания нитратного азота в почве при внесении микроэлементов под люцерну 2-го года

Аммонийный азот содержится преимущественно в верхних слоях почвы и гораздо сложнее перемещается по профилю пахотного горизонта, чем нитратный, так как хорошо удерживается почвенно-поглощающим комплексом, поэтому исключены его потери за счет вымывания. Образуется $N\text{-}NH_4$ в результате процессов аммонификации благодаря аэробным и анаэробным бактериям, актиномицетам и плесневым грибам, идет этот процесс при разных значениях pH в условиях достаточной влажности и оптимальной температуры [2].

Наиболее заметным на фоне $N_{20}P_{20}K_{20}$ было действие молибденовых, кобальтовых и медных микроудобрений. От первого укоса к третьему показатель $N\text{-}NH_4$ на данных вариантах достигал значений 16,92-23,67, 17,15-

23,58 и 16,45-23,15 мг/кг почвы, соответственно. Применение марганцевых, цинковых и борных удобрений на посевах люцерны второго года не оказало достоверного влияния на накопление аммонийных форм азота в черноземе выщелоченном (рис. 2).

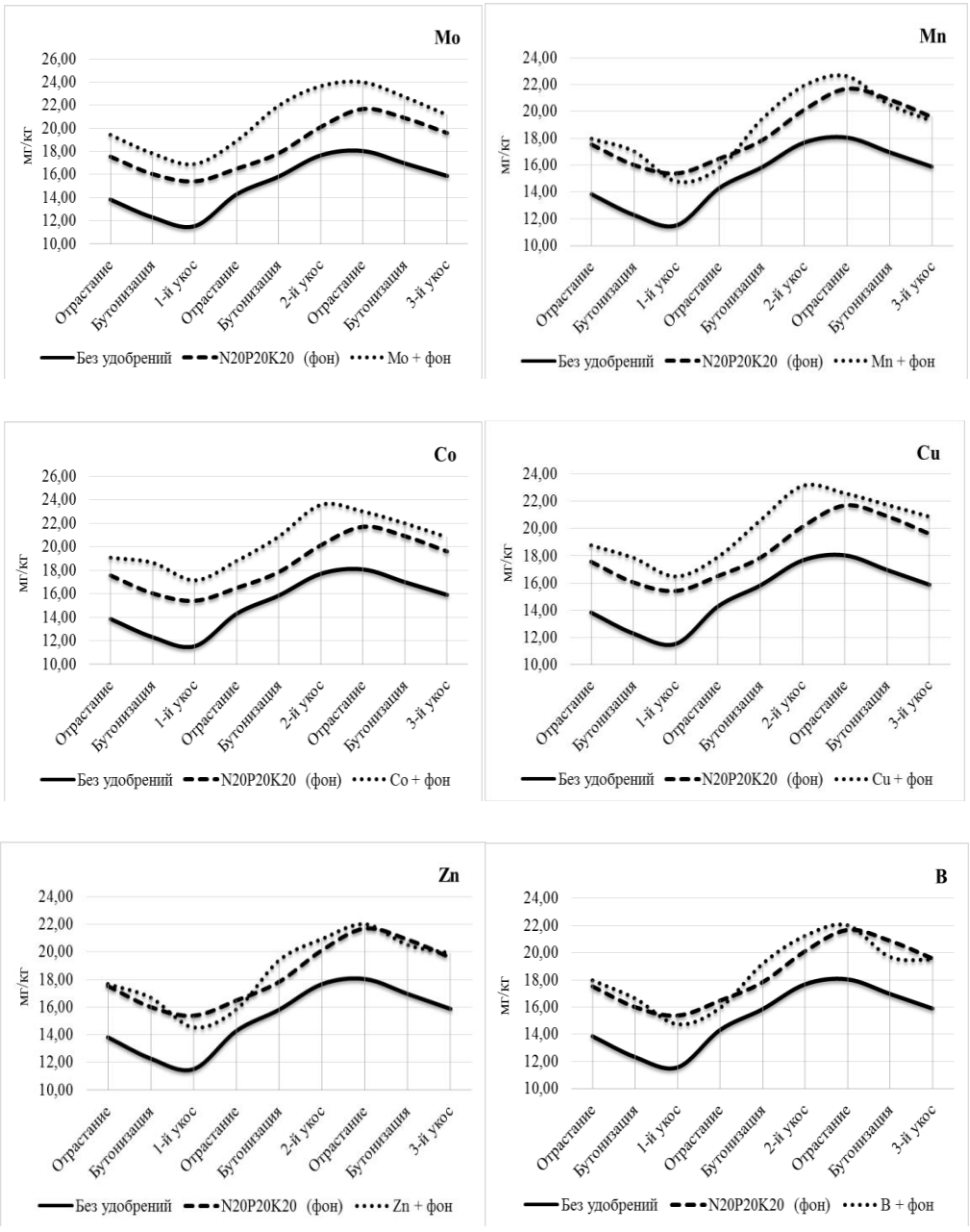


Рис.2. – Динамика содержания аммонийного азота в почве при внесении микроэлементов под люцерну 2-го года

Содержание подвижного фосфора является одним из основных агрохимических показателей плодородия почв и характеризует запас усвояемого фосфора.

Обогащение почв подвижным фосфором имеет различное количественное выражение в зависимости от физических и физико-

химических свойств почв, их влажности, формы и норм применяемых удобрений.

Микроудобрения по-разному влияли на содержание подвижного фосфора в почве. Внесение кобальтовых, медных и цинковых удобрений снижало показатель P_2O_5 в среднем на 1,29-2,26 %, вероятно, в результате образования труднорастворимых соединений с фосфором (рис. 3).

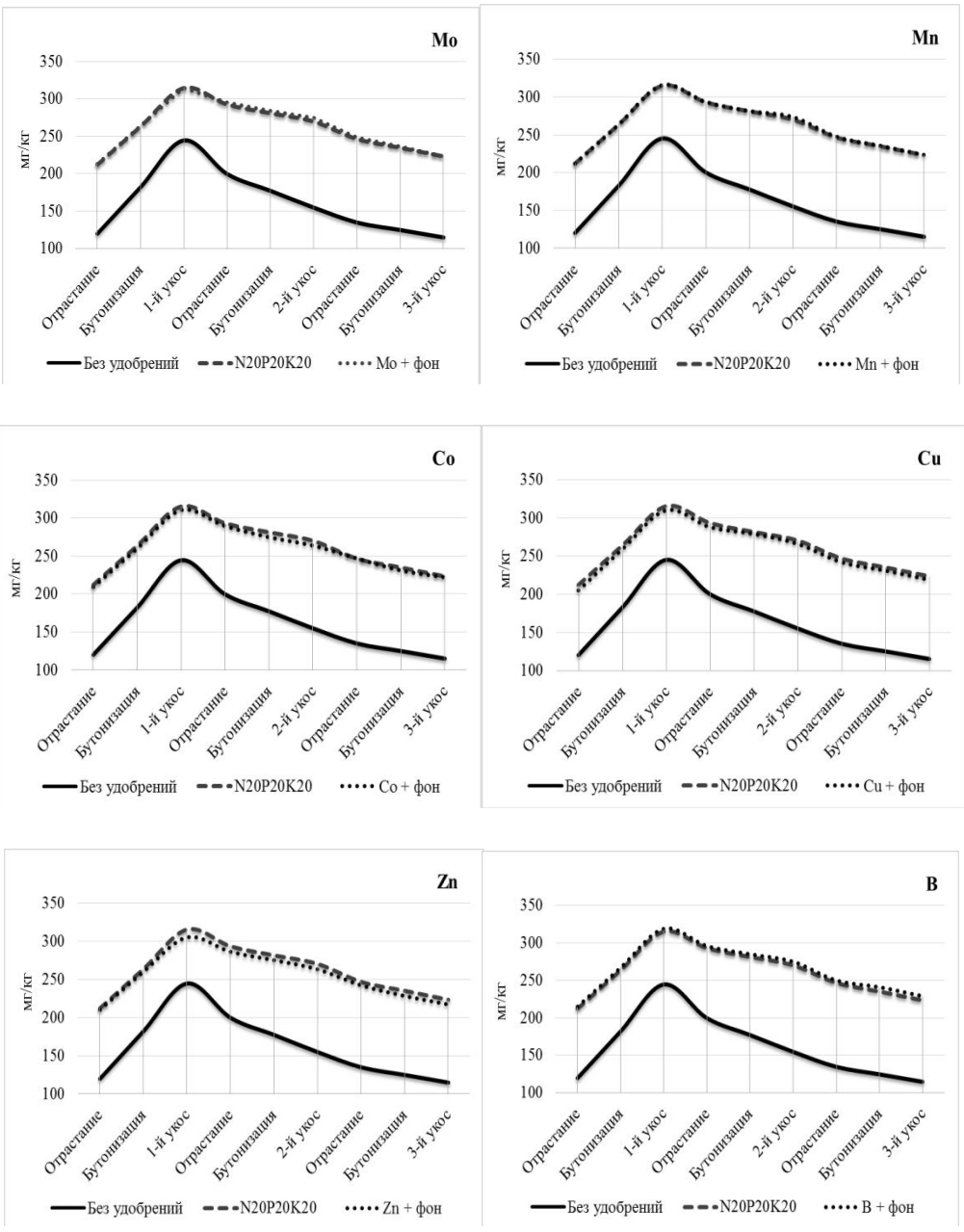


Рис. 3. – Динамика содержания подвижного фосфора в почве при внесении микроэлементов под люцерну 2-го года

Молибденовые, борные и марганцевые удобрения оказывают положительное влияние на содержание в почве подвижного фосфора, на исследуемых вариантах с применением микроэлементов на фоне двойной

нормы полного минерального удобрения его количество увеличилось на 0,47-1,67 %.

Несмотря на высокое валовое содержание, калий находится в почвах, главным образом, в нерастворимой, неусвояемой растениями форме, хотя в целом доступного калия в почвах больше, чем азота и фосфора. Валового калия черноземы Кубани в пахотном слое содержат около 2 %. Основным фондом, из которого растения, прежде всего, потребляют этот элемент, являются его водорастворимые и обменные формы [1].

Анализ экспериментальных данных показал, что внесение микроудобрений под люцерну второго года на протяжении всего вегетационного периода незначительно изменяло содержание обменного калия в почве.

Значительным – в среднем на 2,79 % было уменьшение количества калия в почве при включении в систему удобрения люцерны бора. Снижение на 1,59-2,27 % наблюдалось при внесении кобальтовых, марганцевых и молибденовых удобрений на фоне $N_{20}P_{20}K_{20}$ (рис. 4).

Таким образом, результаты исследования показывают, что существенное изменение агрохимических показателей почвы при возделывании люцерны второго года происходит при внесении молибденовых, медных и кобальтовых микроудобрений на фоне двойной нормы полного минерального удобрения.

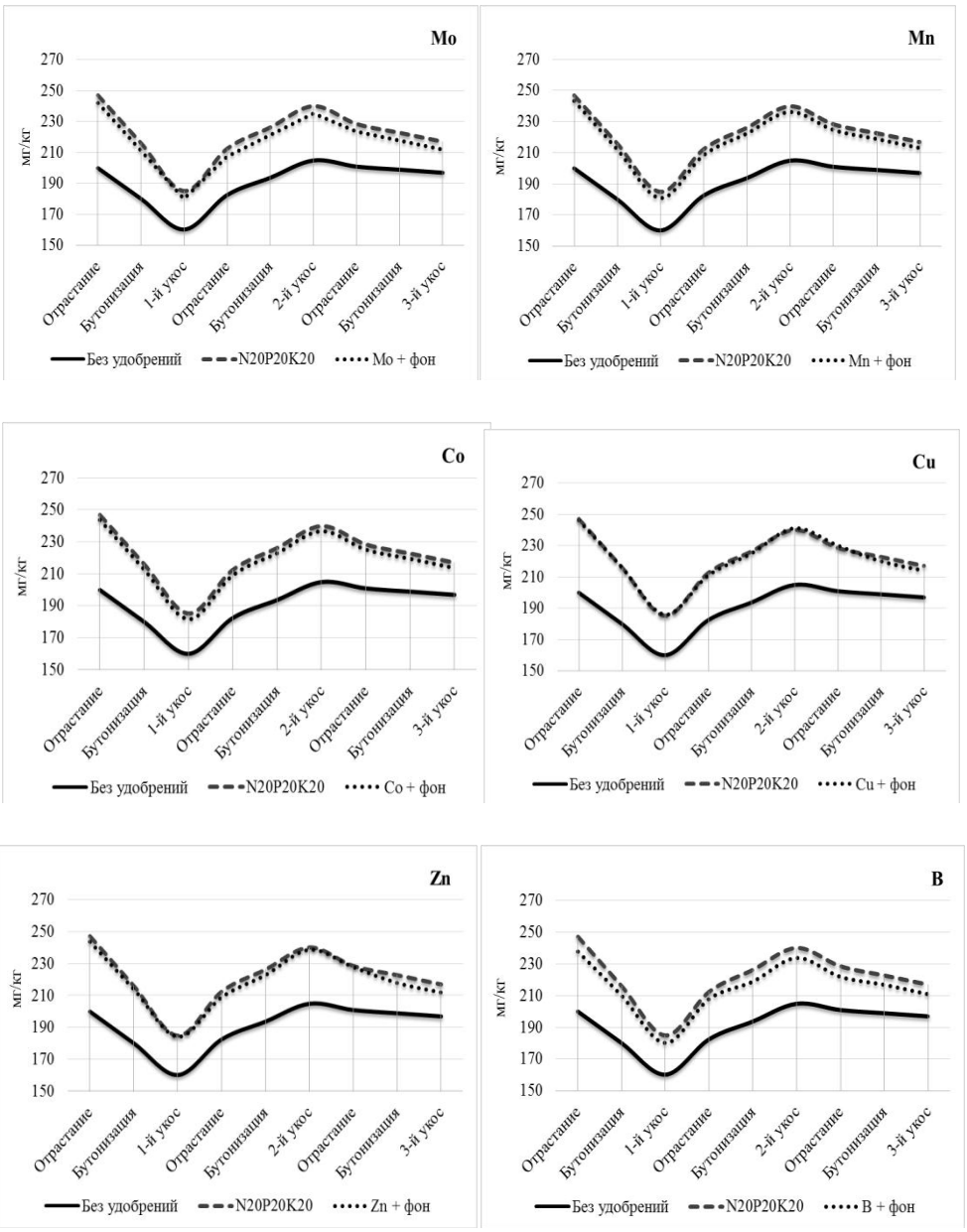


Рис.4. – Динамика содержания обменного калия в почве при внесении микроэлементов под люцерну 2-го года

Литература

1. Леплявченко Л.П. Агрохимические свойства чернозема выщелоченного и продуктивность полевого севооборота в связи с применением минеральных удобрений/ Л.П. Леплявченко, В.П. Суетов, Л.И. Громова и др. – Научный журнал КубГАУ, № 46 (2), 2009. – 55 с.

2. Онищенко Л.М. Обеспеченность чернозема выщелоченного подвижными формами азота, фосфора и калия в зависимости от норм минеральных удобрений вносимых под сою / Л.М. Онищенко. – Научный журнал КубГАУ, № 32 (8), 2007. – 13 с.

ПИЩЕВОЙ РЕЖИМ ЧЕРНОЗЕМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО ЗАПАДНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ЛЮЦЕРНЫ ВТОРОГО ГОДА ЖИЗНИ

Чухиль А.А., Сафонова Т.Г.
Кубанский ГАУ, г. Краснодар

Для наращивания производства в сельском хозяйстве необходимо сохранение и рациональное использование земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов, создание условий для увеличения объемов производства высококачественной сельскохозяйственной продукции на основе восстановления и повышения плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения при выполнении комплекса агрохимических, гидромелиоративных, культуртехнических, агролесомелиоративных, водохозяйственных и организационных мероприятий с использованием современных достижений науки и техники.

Рациональное использование биоклиматического потенциала культурных растений, систематическое воспроизводство природного плодородия почв, улучшение баланса питательных веществ без отрицательного воздействия на все компоненты агроландшафтов будет способствовать получению стабильных урожаев [2].

Поэтому возникает необходимость возделывать многолетние бобовые травы, поскольку они обладают способностью улучшать плодородие и структуру почвы, обеспечивать животноводство высокобелковыми кормами. Ведущее место среди многолетних бобовых трав в южных районах страны принадлежит люцерне.

Практическая ценность люцерны не ограничивается только кормовыми достоинствами – она обогащает почву азотом, является хорошим предшественником для многих сельскохозяйственных культур, уменьшает действие водной и ветровой эрозии [4].

Возделывание люцерны позволит сводить к минимуму затраты на дорогостоящие азотные удобрения.

В связи с этим исследования по выявлению последействия удобрений на продуктивность люцерны в регионе актуальны, так как позволяют решить проблему сохранения и воспроизводства плодородия почв, повышения продуктивности пашни, получения продукции хорошего качества за счет совершенствования системы удобрения.

Цель исследований – изучение пищевого режима чернозема выщелоченного под люцерной второго года жизни при оптимизации минерального питания растений.

В задачи исследований входило изучить динамику содержания минерального азота, подвижного фосфора и обменного калия в черноземе выщелоченном в зависимости от норм и сочетаний минеральных макроудобрений.

Исследования поводились на стационарном полевом опыте кафедры агрохимии Кубанского госагроуниверситета, который в настоящее время включен в Реестр длительных полевых опытов с удобрениями и другими средствами химизации земледелия РАН.

Схема опыта содержит семь вариантов по четыре повторности. Расположение делянок в опыте рендомезированное. Учетная площадь делянки 63 м^2.

№ варианта	Вариант опыта	Дозы удобрений
1.	000	Без удобрений
2.	111	$N_{10}\ P_{10}\ K_{10}$
3.	222	$N_{20}\ P_{20}\ K_{20}$
4.	333	$N_{30}\ P_{30}\ K_{30}$
5.	200	$N_{20}\ P_{0}\ K_{0}$
6.	020	$N_{0}\ P_{20}\ K_{0}$
7.	002	$N_{0}\ P_{0}\ K_{20}$

Минеральные удобрения вносили в форме нитроаммофоски, аммиачной селитры, суперфосфата двойного, хлористого калия под ранневесеннее боронование. Агротехника в опыте общепринятая для данной зоны. Размер, конфигурация и размещение делянок позволили механизировать все процессы по уходу за посевами и уборке урожая.

Объект исследований: люцерна 2-го года жизни сорта Фея (синегибридный сортотип). Сорт в течение вегетации дает 2-4 укоса. После зимовки рано и дружно трогается в рост, хорошо отрастает после скашивания. Средняя высота растений при скашивании на сено 50-75 см, на семена – до 95 см. Созревшие бобы от светло- до темно-коричневого цвета, 3,8-4,6 мм в диаметре. Масса 1000 семян 1,8-2,2 г.

Почва – чернозем выщелоченный слабогумусный сверхмощный легкоглинистый на лессовидных тяжелых суглинках.

Аналитические работы выполнялись согласно общепринятым методикам. Почвенные образцы отбирали поделяночно с каждого варианта и с каждой повторности. В них определяли: содержание влаги – методом высушивания, аммонийный азот – реактивам Несслера, нитратный азот – потенциометрическим методом с использованием ионселективного электрода, подвижные формы фосфора и калия – по Чирикову в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26204).

Статистическая оценка экспериментальных данных осуществлялась методом дисперсионного анализа.

Результаты исследований. Содержание азота, фосфора и калия в черноземе выщелоченном зависит от многих факторов, но важнейшим является применение удобрений. Знания об их количестве необходимы для правильного регулирования пищевого режима почвы, а, следовательно, и обеспечения растений элементами питания в течение всей вегетации с учетом критических периодов развития.

По динамике изменения запасов минерального азота в почве определяют обеспеченность возделываемых культур азотом и уровень их продуктивности, а также изменение качества урожая. По уровню запасов минерального азота в почве судят об опасности загрязнения продукции нитратами, газообразных потерях азота, а также о поступлении азотистых соединений в природные поверхностные и грунтовые воды.

Содержание нитратного азота в 0-20 см слое почвы под люцерной на варианте с естественным уровнем плодородия колебалось в значительной степени (рис. 1).

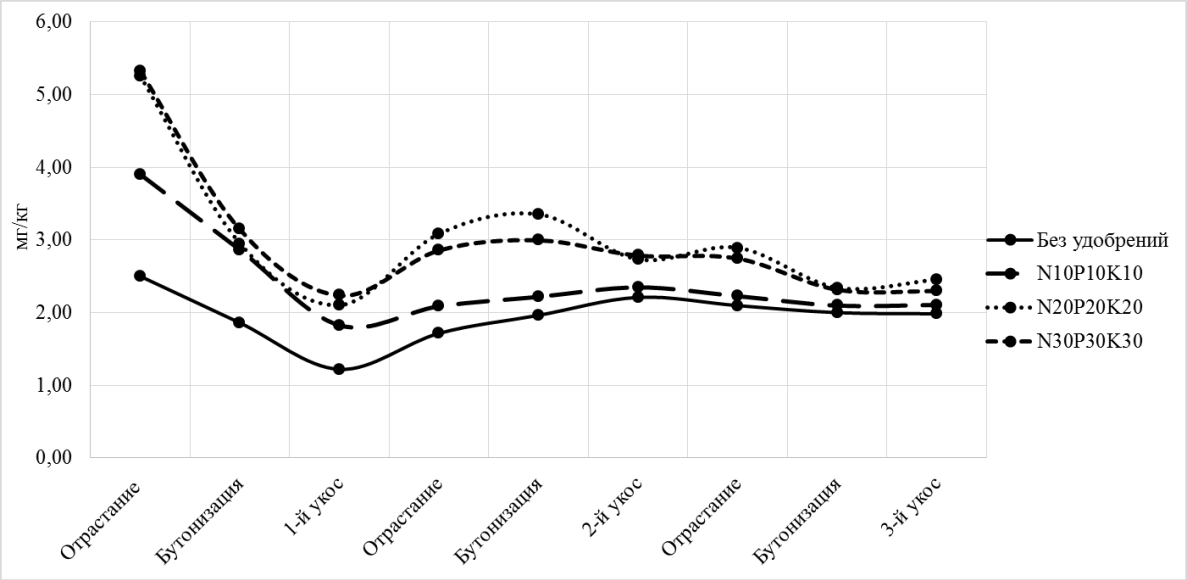


Рис. 1. – Динамика содержания нитратного азота в черноземе выщелоченном под люцерной, мг/кг почвы

В течение 2014 г. под люцерной 2-го года жизни характер превращения $N\text{-}NO_3$ свидетельствует о снижении его количества от ранневесеннего отрастания к первому укосу, во время весенне-летнего отрастания ко второму укосу происходит накопление нитратной формы азота, а в летне-осенний период от фазы отрастания к третьему укосу содержание нитратов в почве несколько снижается.

Обнаруженный резкий спад в ранневесенний период, вероятно, связан с активным наращиванием растениями люцерны биомассы, а также активацией деятельности корневой системы, что обуславливает интенсивное поглощение элементов питания из почвы.

Усиление деятельности корневой системы люцерны второго года в результате скашивания привело к увеличению азотсодержащих соединений в почве в весенне-летний период.

С внесением минеральных удобрений количество нитратного азота в почве увеличивалось на 6,5-23,7 % по сравнению с контролем. С повышением нормы удобрений количество нитратного азота в почве возрастало. Максимальным оно было в варианте с двойной нормой полного

минерального удобрения. Тройная норма не привела к дальнейшему увеличению содержания нитратов в черноземе выщелоченном.

Двойная доза азотного удобрения N_{20} в течение всей вегетации также привела к увеличению содержания нитратного азота в почве на 0,30-2,41 мг/кг по сравнению с контролем. Фосфорные P_{20} и калийные K_{20} удобрения, вносимые на посевах люцерны второго года, не оказывали существенного влияния на содержание нитратов в почве (рис. 2).

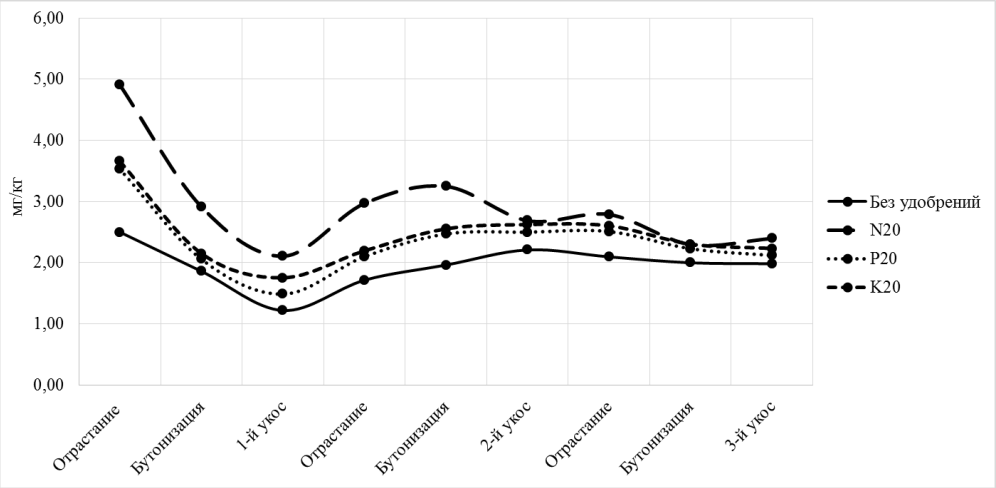


Рис. 2. – Динамика содержания нитратного азота в черноземе выщелоченном под люцерной, мг/кг почвы

Аммонийный азот не накапливается в заметных количествах в почве, так как потребляется растениями, микроорганизмами или подвергается дальнейшему превращению в почве. Содержится он преимущественно в верхних слоях почвы и гораздо сложнее перемещается по профилю пахотного горизонта, чем нитратный, так как хорошо удерживается почвенно-поглощающим комплексом, поэтому исключены его потери за счет вымывания. Образуется $N\text{-}NH_4$ в результате процессов аммонификации благодаря аэробным и анаэробным бактериям, актиномицетам и плесневым грибам, идет этот процесс при разных значениях pH в условиях достаточной влажности и оптимальной температуры [3].

В опытах по выявлению действия норм и сочетаний минеральных удобрений на продуктивность люцерны второго года жизни установлено, что вносимые в подкормку удобрения оказывали существенное влияние на содержание аммонийной формы азота в черноземе выщелоченном.

Динамика содержания азота обменного аммония в черноземе выщелоченном изменяется следующим образом: от момента ранневесеннего отрастания к первому укосу по всем вариантам наблюдается снижение данного показателя, от весенне-летнего отрастания и до второго укоса содержание аммонийного азота в почве увеличивается. К третьему укосу количество азота вновь снижается.

По результатам исследований существенные различия по содержанию аммонийного азота в почве между вариантами опыта выявлены при внесении двойных и тройных норм полного минерального удобрения (рис. 3). Так, если на контроле по фазам вегетации этот показатель составлял в 0-20 см слое почвы 11,54-18,05 мг/кг, то на вариантах с двойной ($N_{20}P_{20}K_{20}$) и тройной ($N_{30}P_{30}K_{30}$) нормой полного удобрения произошло его увеличение на 2,01-3,93 мг/кг и 2,32-4,53 мг/кг соответственно. При внесении одинарной нормы полного удобрения содержание аммонийного азота в почве, в сравнении с вариантом без удобрений, повышается незначительно.

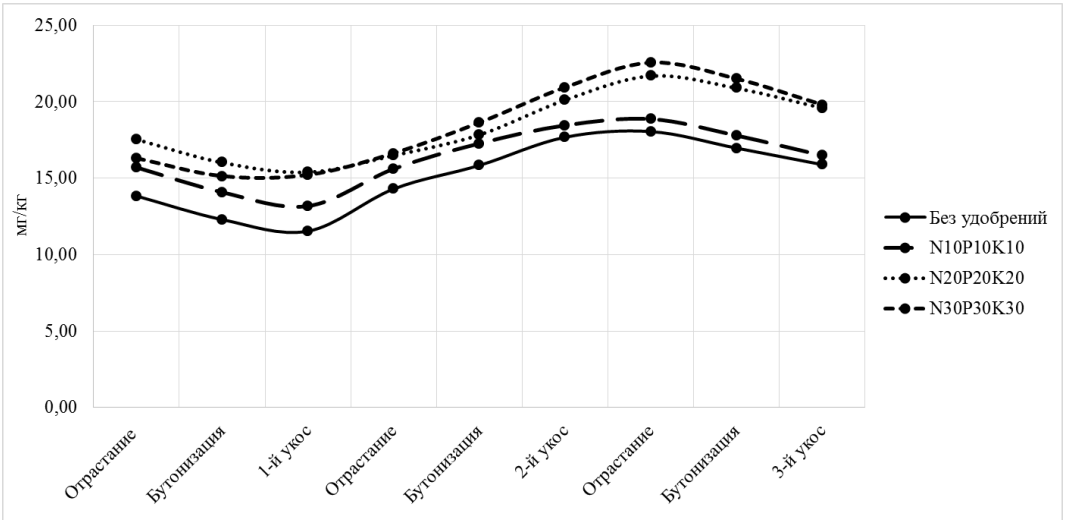


Рис. 3. – Динамика содержания аммонийного азота в черноземе выщелоченном под люцерной, мг/кг почвы

Изучаемые в опыте сочетания минеральных удобрений не изменили направленности динамики содержания аммонийного азота в слое 0-20 см почвы. Одностороннее внесение двойной дозы азотного удобрения N_{20} по отношению к контролю привело к увеличению содержания аммонийного азота на 1,41-3,19 мг/кг почвы. Действие фосфорных и калийных удобрений также несколько повышало количество аммонийного азота в почве: при внесении двойной дозы фосфора P_{20} показатель $N\text{-}NH_4$ по фазам вегетации превышал контроль на 0,58-1,51 мг/кг почвы, при использовании двойной дозы калия K_{20} – на 1,48-2,17 мг/кг почвы (рис. 4).

Уровень урожая напрямую зависит от содержания в почве подвижных соединений фосфора. Доступность растениям этого элемента в каждой почве зависит от соотношения процессов мобилизации и иммобилизации фосфора постоянно идущих в почве: растворения и осаждения, адсорбции и десорбции, минерализации и биологического закрепления. Содержание подвижного фосфора является одним из основных агрохимических показателей плодородия почв и характеризуют запас усвояемого фосфора. Этот показатель используется для оценки бонитета почвы, планирования урожайности и разработки нормативов применения удобрений.

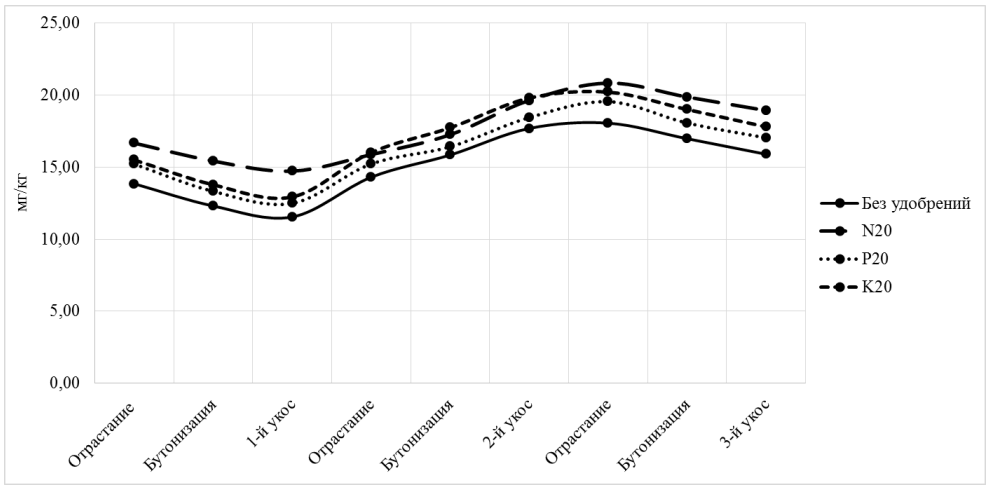


Рис. 4. – Динамика содержания аммонийного азота в черноземе выщелоченном под люцерной, мг/кг почвы

Обогащение почв подвижным фосфором имеет различное количественное выражение в зависимости от физических и физико-химических свойств почв, их влажности, формы и норм применяемых удобрений.

Количество подвижного фосфора в черноземе выщелоченном непостоянно (рис. 5). Динамика содержания подвижного фосфора изменяется следующим образом: в течение вегетации люцерны показатель P_2O_5 постепенно увеличивается от ранневесеннего отрастания к первому укосу; затем ко второму и третьему укосу наблюдается постепенное снижение количества фосфора в почве.

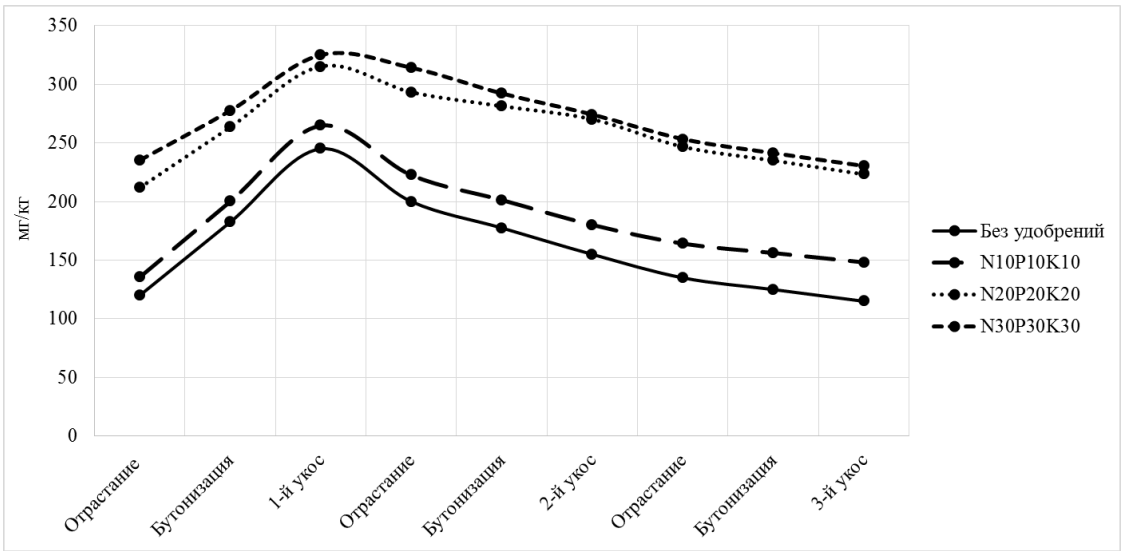


Рис. 5. – Динамика содержания подвижного фосфора в черноземе выщелоченном под люцерной, мг/кг почвы

Из полученных данных видно, что на всех вариантах опыта содержание подвижного фосфора в почве выше, чем на контроле. Наибольшее его количество наблюдается при внесении двойной и тройной нормы полного удобрения. Если на контроле содержание подвижного фосфора по фазам вегетации составляло в 0-20 см слое почвы 115-245 мг/кг, то в вариантах с $N_{20}P_{20}K_{20}$ и $N_{30}P_{30}K_{30}$ этот показатель повысился в среднем на 65,1 и 73,1 % соответственно. В варианте с внесением единичной дозы полного удобрения результаты несколько ниже, содержание подвижного фосфора в почве при внесении $N_{10}P_{10}K_{10}$ увеличивается в течении всей вегетации на 8,2-28,7 %.

В условиях стационарного полевого опыта установлено, что при возделывании люцерны второго года обеспеченность почвы подвижным фосфором зависела, во многом, от доз вносимых фосфорных удобрений. Наибольшее содержание подвижного фосфора в почве на посевах люцерны выявлено на вариантах с внесением двойной дозы фосфора P_{20}. Здесь определяемый показатель возрос по отношению к контролю на 25,0-45,0 мг/кг почвы (рис. 6). Влияние азотных и калийных удобрений на определяемый показатель было незначительным.

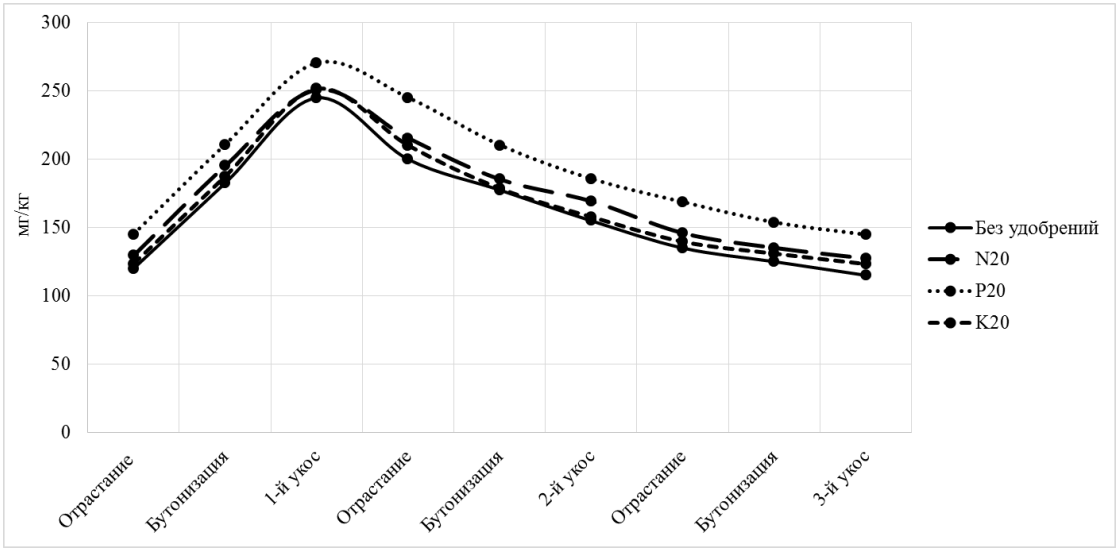


Рис. 6. – Динамика содержания подвижного фосфора в черноземе выщелоченном под люцерной, мг/кг почвы

Рациональное применение экономически оправданных и экологически допустимых норм калийных удобрений, наряду с улучшением агротехники, повышением общего уровня культуры земледелия, играет решающую роль в сохранении плодородия почв и получении высококачественной продукции. Успешное решение проблемы оптимизации калийного питания растений с учетом эффективного использования почвенных запасов калия, поддержание плодородия почв, повышение эффективности других видов минеральных удобрений возможно лишь на основе комплексного подхода к изучению процессов трансформации калия как во внутрипочвенном цикле, так и в

агроценозе в целом; а также количественной оценке их направленности в конкретных почвенно-климатических условиях.

Несмотря на высокое валовое содержание, калий находится в почвах, главным образом, в нерастворимой, неусвояемой растениями форме, хотя в целом доступного калия в почвах больше, чем азота и фосфора. Валового калия черноземы Кубани в пахотном слое содержат около 2 %. Основным фондом, из которого растения, прежде всего, потребляют этот элемент, являются его водорастворимые и обменные формы [1].

От весеннего отрастания к первому укосу содержание обменного калия снижалось на всех вариантах, вероятно, это связано с потреблением его растениями люцерны, часть фиксировалась минеральной частью почвы и перешла в необменную форму. Ко второму укосу происходит накопление калия в почве, к третьему – его содержание в черноземе выщелоченном вновь снижается (рис. 7).

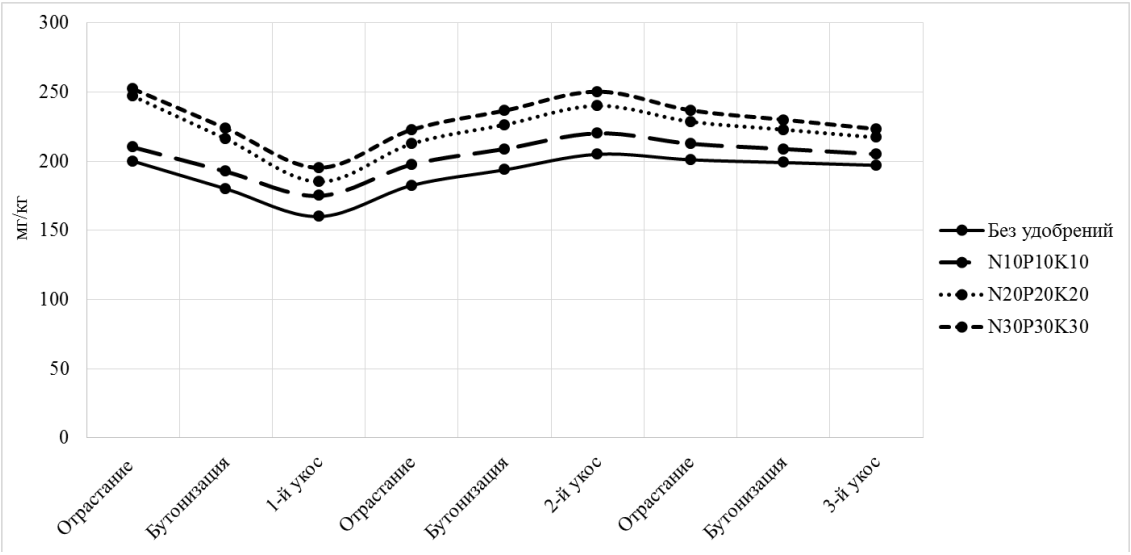


Рис. 7. – Динамика содержания обменного калия в черноземе выщелоченном под люцерной, мг/кг почвы

По вариантам исследования отмечено, что с увеличением нормы применяемого удобрения содержание обменного калия в почве повышается. На контроле его количество в период ранневесеннего отрастания составляло 200 мг/кг почвы, в течение года этот показатель оставался более или менее постоянным, что объясняется высокой способностью чернозема выщелоченного восстанавливать равновесную концентрацию водорастворимого и обменного калия.

Единичная норма полного удобрения увеличивала содержание обменного калия в почве на 8-15 мг/кг, двойная – на 20-47 мг/кг, тройная – на 26-52 мг/кг почвы.

Калийные удобрения, вносимые в дозе K_{20} по фазам вегетации, увеличивали определяемый показатель по отношению к контролю на 15,66-42,06 мг/кг почвы.

Следует отметить, что количество обменного калия в почве возрастало при одностороннем внесении азотных и фосфорных удобрений, но в пределах ошибки опыта (рис. 8).

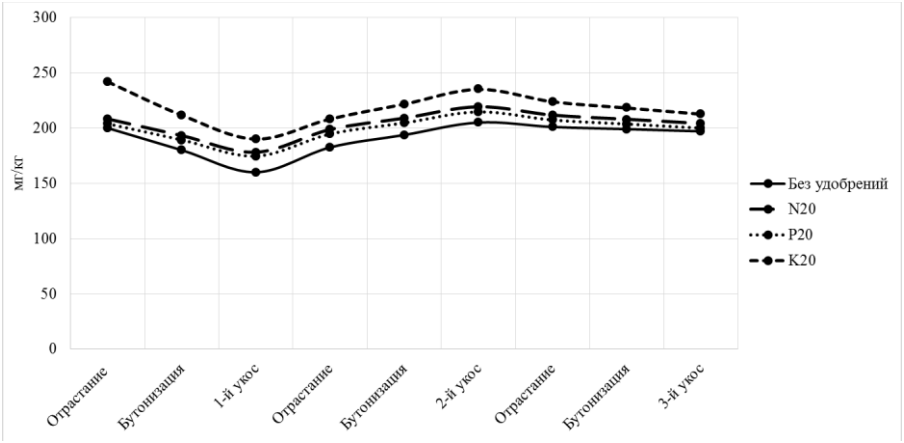


Рис. 8. – Динамика содержания обменного калия в черноземе выщелоченном под люцерной, мг/кг почвы

Калий потребляется растениями люцерны в больших количествах. Удобрения, создавая благоприятные условия для роста и развития растений, повышают потребность люцерны в этом элементе. Увеличение его выноса с урожаем сопровождается снижением содержания обменного калия в почве.

Таким образом, на черноземе выщелоченном применение двойных доз азотных, фосфорных и калийных удобрений, а также двойных и тройных норм полного минерального удобрения, оказывают существенное положительное влияние на содержание элементов минерального питания.

Литература

1. Леплявченко Л.П. Агрохимические свойства чернозема выщелоченного и продуктивность полевого севооборота в связи с применением минеральных удобрений/ Л.П. Леплявченко, В.П. Суетов, Л.И. Громова и др. – Научный журнал КубГАУ, № 46(2), 2009. – 55 с.

2. Постановление правительства Российской Федерации от 19 декабря 2014 г. № 1421: «О внесении изменений в Государственную программу развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013 - 2020 годы». Паспорт федеральной целевой программы «Сохранение и восстановление плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения и агроландшафтов как национального достояния России на 2006 – 2010 годы и на период до 2013 года». – Москва, 2014. – 182 с.

3. Онищенко Л.М. Обеспеченность чернозема выщелоченного подвижными формами азота, фосфора и калия в зависимости от норм минеральных удобрений вносимых под сою / Л.М. Онищенко. – Научный журнал КубГАУ, № 32 (8), 2007. – 13 с.

4. Шеуджен А.Х. Люцерна/ Шеуджен А.Х., Онищенко Л.М., Хурум Х.Д. – Майкоп: ОАО «Полиграфиздат «Адыгея», 2007. – 226 с.

НАКОПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В СИСТЕМЕ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ В УСЛОВИЯХ ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Семенова В.В.
Прикаспийский институт биологических ресурсов ДНЦ РАН,
г. Махачкала,
semenovav86@mail.ru

Введение. Окружающая природная среда – это комплекс взаимодействующих природных компонентов растительного и животного мира, почвенного покрова, гидросферы, атмосферы, геологической среды, которые не только выполняют различные функции, но и имеют неодинаковую ресурсную функцию. Почвенный покров является важнейшим ее компонентом, продуктом и местом локализации взаимодействия «живого» и «неживого» [9]. В отличие от других объектов окружающей среды (воздух, вода), где протекают процессы самоочищения, почва обладает этим свойством в незначительной мере. Более того, для некоторых веществ, в частности для тяжелых металлов (ТМ), почва является кумулятором. Тяжелые металлы прочно сорбируются и взаимодействуют с почвенным гумусом, образуя труднорастворимые соединения. Таким образом, идет их накопление в почве [1]. Химический состав растений, как известно, отражает элементный состав почв, поэтому избыточное накопление ТМ растениями обусловлено, прежде всего, их высокими концентрациями в почвах [4, 8]. По-видимому, существуют два ведущих фактора формирования элементного состава растений – генетический и экологический. Их долевое участие меняется в зависимости от изменения условий среды. Экологический фактор становится ведущим при техногенном загрязнении среды обитания тяжелыми металлами, особенно их подвижными формами [7].

Опасным источником загрязнения окружающей среды ТМ является автомобильный транспорт, который ежегодно увеличивается в количестве. При сгорании 1 литра горючего в воздух попадает от 200 до 500 мг свинца. Твердые частицы выхлопов, содержащие свинец, в зависимости от размера либо оседают в непосредственной близости от магистрали, либо захватываются воздушными массами и затем выпадают с атмосферными осадками. Соединения свинца оседают преимущественно на почву и растительность. А затем включаются в пищевые цепи животных и человека [3]. В связи с этим необходимо тщательно исследовать загрязненность различных видов растений, и, особенно, лекарственных, местообитания которых подвергаются интенсивным антропогенным воздействиям, поскольку в отвары и настои может переходить до 90 % ТМ, содержащихся в исходном сырье [5].

В условиях Дагестана исследований по содержанию тяжелых металлов в лекарственных растениях ранее не проводилось.

Цель настоящей работы – изучение влияния транспорта на содержание тяжелых металлов (Zn, Pb, Cd) в почве и надземной фитомассе

лекарственных растений рода Achillea: тысячелистника обыкновенного (Achillea millefolium L.), тысячелистника таволгового (A. filipendulina Lam.), тысячелистника благородного (A. nobilis l..), тысячелистника Биберштейна (A. Biebersteinii Afan.).

В задачи работы входило: а) установление уровней накопления ТМ в почве и растениях тысячелистника обыкновенного (Achillea millefolium L.), тысячелистника таволгового (A. filipendulina Lam.), тысячелистника благородного (A. nobilis L.), тысячелистника Биберштейна (Biebersteinii Afan.) в местообитаниях, подвергнутых воздействию автотранспорта; б) определение содержания тяжелых металлов в почвах и растениях в зависимости от расстояния от дороги и интенсивности движения автотранспорта; в) дать экологическую оценку загрязненности ТМ (Zn, Pb, Cd) растений и почв.

Методы исследования. Исследования проводили в 2008-2013 гг. Отбор растительных образцов проводили в период цветения растений. Для определения элементов в надземной массе брали среднюю пробу. Пробы почвы брали из зоны расположения корневой системы. Отбор растительных и почвенных проб проводился в соответствии с ГОСТ 17.4.3.01. Анализ каждой пробы проводили в 2-х кратной повторности. Сухие пробы растительных образцов озоляют (методом сухого озоления) при температуре 500 ºС. Золу растворяли в 20 % HCl. Определение элементов в почвенных образцах проводилось методом экстракции 1М HCl. Измерение проводилось на полярографе ПУ-1.

Результаты исследования. По нашим исследованиям содержание кислоторастворимых форм тяжелых металлов в почвах не превысило ПДК [11].

В некоторых точках Терско-Сулакской подпровинции Дагестана (с. Учкент) наблюдается преобладание тяжелых металлов в почвах, отобранных на расстоянии 50 м от дороги, чем на расстоянии 10 м. Это объясняется тем, что, ветры, дующие с севера на юг, уносят ТМ дальше от дороги. Кроме того, определенную роль в накоплении ТМ имеет рельеф и расположение автомобильной дороги по отношению к рельефу, в данном случае дорога расположена выше, чем придорожная часть шириной 5-10 м, поскольку участок с уклоном с юга на север. Содержание свинца и кадмия в листьях растений тысячелистника благородного больше на расстоянии 10 м, чем на расстоянии 50 м от дороги (табл. 2).

На накопление элементов в почвах и растениях существенное влияние оказывает интенсивность движения автомобилей. Высокая интенсивность движения машин на трассе Махачкала-Манас (10 тыс. авт./сутки) значительно повлияла на содержание свинца в растениях тысячелистника таволгового. Содержание свинца в надземной части тысячелистника таволгового, отобранного на светло-каштановой карбонатной легкосуглинистой почве, на расстоянии 5 м от трассы Махачкала – Манас,

составляет 9,01 мг/кг, что превышает ПДК (ПДК = 6 мг/кг по САН ПИН 232.1078-01 от 14.11.2001/22.03.02) в 1,5 раза.

В предгорных условиях, где интенсивность движения автомашин меньше, разница в содержании ТМ в однотипных почвах и растениях тысячелистника, отобранных на расстоянии 5 и 10 м, незначительна. Так, например, горно-луговая карбонатная среднесуглинистая почва и растения тысячелистника, отобранные в с.Эрпели и турбазе Терменлик Буйнакского района, характеризуются близкими показателями изучаемых элементов и составляют для почв: Zn – 18; 20, Pb – 11,0; 11,2; Cd – 0,98; 1,0 мг/кг, для тысячелистника обыкновенного соответственно: Zn – 5,52; 5,53; Pb – 0,48; 0,49; Cd – 0,52; 0,53 мг/кг сухого вещества (табл. 2).

На одинаковом расстоянии (10 м) от дороги интенсивность движения значительно повлияла на накопление элементов в почвах и растениях. Примером является горно-каштановая почва с близкими показателями гумуса и pH в с.Губден и Какамахи. В районе с.Губден интенсивность движения автомашин гораздо выше (1000 авт./сут.), чем в районе Какамахи (850 авт./сут.), поэтому накопление элементов в почве (в 1,2-1,3 раза) и растениях тысячелистника таволгового (в 1,1-1,5 раза), отобранных в с.Губден, тоже выше (табл. 2).

Растения под действием загрязнителей подвергаются значительным морфологическим изменениям, которые отражаются на росте побегов, корней, длине междоузлий, а также на размере листьев и соцветий. При малых уровнях загрязнения воздушной среды видимые морфологические изменения растений могут и не наблюдаться. Симптомы острого повреждения растений токсическими веществами высоких концентраций достаточно хорошо изучены [2, 6, 10].

Нами также замечено влияние антропогенного фактора на изменение морфологических признаков растений. Так, например, у растений тысячелистника таволгового, отобранных на загрязненном участке (трасса Махачкала – Манас), высота растений составила 80 см, соцветия в щитках, имеющих диаметр 5 см, корзинки скучкованы, растение не разветвленное, листья длиной 7 см, междоузлия короткие, корневище тонкое. А у растений, отобранных на слабо загрязненном участке (с.Губден), высота 110 см, диаметр щитков 10 см, растение разветвленное, листья 12 см длины, корневище толстое, разветвленное. Содержание свинца в надземной части тысячелистника таволгового, собранного на расстоянии 5 м от трассы Махачкала – Манас равнинной зоны Дагестана, составляет 9,01 мг/кг, что превышает ПДК (ПДК=6 мг/кг по САН ПИН 232.1078-01 от 14.11.2001/22.03.02) в 1,5 раза.

Растения тысячелистника обыкновенного, отобранные на региональном участке (с.Шотода), на котором раньше были болота, при повышенном содержании в почве свинца (20 мг/кг) и цинка (68 мг/кг), также отличались небольшой высотой (30-35 см), короткими междоузлиями, маленьким диаметром щитков, короткими и тонкими корневищами.

Нами изучалось также влияние железной дороги в пригородной зоне (с.Шамхал). Было установлено, что на содержание изучаемых элементов в растениях тысячелистника обыкновенного железная дорога не оказала заметного влияния. Показатели их ниже ПДК и составляли: Zn – 4,40; Pb – 0,39; Cd – 0,07 мг/кг.

При сравнении концентрации ТМ в нарушенных растениях с содержанием в фоновых растениях, произрастающих в одинаковых природно-географических условиях, выявились существенные различия. Содержание Cd в надземной массе тысячелистника обыкновенного с.Шамхал выше в 2 раза, чем в растениях фонового участка с.Тотурбийкала (табл. 1, 2). В растениях с.Батлаич около дороги повышена концентрация Pb, Cd в 3-4 раза. В с.Эрпели, Терменлик возле дорог повышенное содержание по сравнению с фоном Cd в 7,5 раз. Концентрация элементов в надземной массе растений тысячелистника благородного в с.Стальское (50 м от дороги) превышает концентрацию их в растениях с.Стальское, отобранных вдали от трассы: свинца в 4,8, кадмия в 5,8 раза. В листьях и соцветиях растений с.Стальское (50 м) содержание Cd превышает ПДК в 1,5-1,6 раза. На участке с.Учкент (10 м) количество элементов в растениях тысячелистника Биберштейна выше, чем на контрольном участке с.Коркмаскала в 1,3-5,5 раза (табл. 1, 2). В растениях тысячелистника таволгового на загрязненном участке предгорной провинции (с.Губден, с.Какамахи) содержание ТМ выше, чем на контрольном (с.Какамахи): для Pb – в 1,8-2,2 раза.

Табл. 1. Содержание тяжелых металлов в образцах растений рода Achillea и почв, отобранных вдали от автомагистрали, мг/кг сухого вещества

№ точки. Тип почвы. Место отбора.	Гумус, %	pH	Zn	Pb	Cd
Тысячелистник обыкновенный					
Лугово-каштановая карбонатная тяжелосуглинистая. Хасавюртовский р-он, с.Тотурбийкала	5,3	7,9	4,10 9,0	0,30 4,3	0,03 0,13
Горно-луговая карбонатная среднесуглинистая. Буйнакский р-он, с. Эрпели.	7,0	7,7	4,9 13,0	0,35 4,10	0,07 0,20
Горно-луговая карбонатная среднесуглинистая. Хунзахский р-он, с. Батлаич	5,0	7,8-	8,30 7,50	0,54 6,50	0,02 0,50
Тысячелистник таволговый					
Горно-каштановая карбонатная среднесуглинистая. Карабудахкентский, с. Какамахи	3,2	7,6	6,36 16,0	0,40 4,10	0,03 0,10
Тысячелистник Биберштейна					
Каштановая карбонатная среднесуглинистая. Кумторкалинский р-он, с. Коркмаскала	3,3	7,8	3,80 8,70	0,45 5,0	0,04 0,12
Тысячелистник благородный					
Лугово-каштановая карбонатная среднесуглинистая. Кизилюртовский р-он, с. Стальское	4,5	7,7	6,16 9,0	0,12 4,50	0,09 0,10
Каштановая карбонатная среднесуглинистая Кумтор-калинский р-он, с. Коркмаскала	3,3	7,8	3,80 8,70	0,28 5,0	0,05 0,12

Табл. 2. Содержание тяжелых металлов в образцах растений рода Achillea и почв, отобранных на разном расстоянии от автомагистрали, мг/кг сухого вещества

№ точки. Тип почвы. Место отбора.	Расстояние от дороги, м	Гумус, %	pH	Zn	Pb	Cd
Тысячелистник обыкновенный						
Лугово -каштановая карбонатная тяжелосуглинистая. с. Шамхал, Кировский р-он г. Махачкалы, возле железной дороги	10	3,3	8,0	4,40 10,30	0,39 8,30	0,07 0,22
Светло-каштановая карбонатная легкосуглинистая. Карабудахкентский. Трасса Махачкала-Манас	5	1,6	7,3	10,30 7,10	9,01 3,40	0,14 0,01
Горно-луговая карбонатная среднесуглинистая. Буйнакский р-он, с. Эрпели	10	7,0	7,7	5,52 18,0	0,48 11,0	0,52 0,98
Горно-луговая карбонатная среднесуглинистая. Буйнакский р-он, т/б Терменлик	5	7,1	7,8	5,53 20,0	0,49 11,20	0,53 1,0
Горно-луговая карбонатная среднесуглинистая. Хунзахский р-он, с. Батлаич	5	4,8	7,8	8,70 8,50	2,20 7,70	0,06 0,70
Горно-луговая дерновая легкосуглинистая. Хунзахский р-он, с. Шотода	-	12,5	7,1	12,90 68,0	0,70 20,0	0,06 0,01
Тысячелистник таволговый						
Горно-каштановая карбонатная среднесуглинистая. Карабудахкентский, с. Губден	10	3.4	7,8	7,96 26,0	0,88 9,30	0,03 0,40
Горно-каштановая карбонатная среднесуглинистая. Карабудахкентский, с. Какамахи	10	3.2	7.6	7,10 19,50	0,75 7,60	0,02 0,31
Тысячелистник Биберштейна						
Каштановая карбонатная среднесуглинистая. Кумторкалинский р-он, с. Учкент	10	3,4	7,9	4,0 8,90	0,50 12,0	0,04 0,33
Тысячелистник благородный						
Каштановая карбонатная среднесуглинистая. Кумторкалинскй р-он, с. Учкент	10	3,4	7,9	4,10 8,90	2,30 12,0	0,19 0,33
Каштановая среднесуглинистая. Кумторкалинскй р-он, с. Учкент	50	8,7	7,5	7,70 25,0	0,84 27,0	0,37 0,43
Лугово-каштановая карбонатная среднесуглинис-тая. Кизилюр-товский р-он, с. Стальское	50	4,6	7,7	7,23 11,0	0,58 12,0	0,53 0,33
ПДК в растениях				50,0	6,0	0,5
ПДК в почве (по Чулджияну, 1988)				60,0	60,0	1,0

В числителе – надземная часть растений, в знаменателе – содержание кислоторастворимых форм элементов в почве

Выводы.

1. Транспортные магистрали оказывают негативное влияние на накопление тяжелых металлов в почвах и растениях, а степень

загрязненности зависит от расстояния и расположения дороги, интенсивности движения автотранспорта.

2. В растениях рода Achillea, отобранных вдоль автомагистралей, происходит значительное накопление кадмия, но показатели его не превышают ПДК для растений. Только в с.Манас, где интенсивность движения автомашин высокая, показатели свинца в растениях превышают ПДК.

3. Железнодорожный транспорт на близком расстоянии (10 м) повлиял на накопление свинца, цинка и кадмия в почве.

Литература

1. Боев В.М., Утенина В.В., Быстрых В.В. Дисбаланс микроэлементов как фактор экологически обусловленных заболеваний // Гигиена и санитария. 2001. № 5. С. 68.

2. Гетко Н.В. Растения в техногенной среде. – Минск: Наука и техника, 1989. 206 с.

3. Голдовская Л.Ф. Химия окружающей среды. – М.: Мир, 2005. – 296 с.

4. Добровольский В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние / В.В. Добровольский. – М.: Мысль, 1983. – 272 с.

5. Ефремов А.А., Шаталина Н.В., Стрижева Е. Н., Первышина Г.Г. Влияние экологических факторов на химический состав некоторых дикорастущих растений Красноярского края // Химия растительного сырья. – 2002. – № 3.– С.53-56.

6. Илькун Г.М. Газоустойчивость растений. – Киев, 1971. 146 с.

7. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение / В.Б. Ильин.- Новосибирск: Наука, 1991. – 150 с.

8. Леванидов Л.Я. Марганец как микроэлемент в связи с биохимией и свойствами таннидов / Л.Я. Леванидов, С.Т. Давыдов. – Челябинск: Кн. изд-во, 1961. – 156 с.

9. Мотузова Г.В., Безуглова О.С. Экологический мониторинг почв. – М..: Академический проект, Гаудеамус, 2007. – 237 с.

10. Урманцев Ю.А., Гудсков Н.Л. Проблема специфичности и неспецифичности ответных реакций растений на повреждающее воздействие // Журн. Общ. Биол. 1986. Т. 48, № 3. С. 337-349.

11. Чулджиян Х. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Экологическая конференция. – Братислава, 1988. Вып. 1. – С. 5-24.

ИНДИКАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА ПОЧВ И ИХ ДЫХАТЕЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ (НА ПРИМЕРЕ ЗАПОВЕДНОГО УЧАСТКА «ЯМСКАЯ СТЕПЬ»)

Бакунович Н.О.*, Хохлова О.С.*, Мякшина Т.Н.*, Русаков А.В., Шаповалов А.С.*****

***** Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, г. Пущино

****** Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург

*******ФГБУ Государственный заповедник «Белогорье», п. Борисовка, Белгородская обл.

pondoxva@mail.ru

Введение. Во многих работах было продемонстрировано, что минерализационная или дыхательная активность почвенных микроорганизмов может являться сенситивным индикатором загрязнения почв тяжелыми металлами (ТМ) на естественных территориях вокруг промышленных предприятий [3, 8, 13, 11 и мн. др.]. Однако отклик микробного сообщества на различные виды загрязнителей и в различных экосистемах бывает неоднозначным и выражен в разной степени. Во многих случаях обнаруживается не угнетение, а стимуляция учитываемых тест-реакций [2, 4, 7, 9, 10], что приводит к необходимости поиска причин этого явления. Поэтому продолжение исследований в данном направлении с привлечением широкого круга всех возможных подходов весьма актуально.

Участок «Ямская степь» государственного природного заповедника «Белогорье» расположен на северо-востоке Белгородской области, где на относительно небольшой площади сосредоточен целый ряд предприятий горнодобывающей промышленности: Лебединский ГОК, Стойленский ГОК, комбинат «КМАруда», Оскольский металлургический комбинат, ТЭЦ и др. Ямская степь граничит непосредственно с Лебединским ГОК-ом и при сильном ветре, стоя на ее территории, можно наблюдать клубы пыли, поднимающиеся с отвалов предприятия. Значительные объемы перерабатываемого сырья для выплавки металла, технологические «хвосты» и отходы, недостаточно утилизируемые пылегазовыбросы и др. создают избыточную техногенную нагрузку на экосистемы окружающих территорий, прежде всего – на почвы, загрязняя ее ТМ, поступающими аэрально вместе с пылью из цехов и отвалов.

Целью работы является оценка загрязнения почв и ландшафтов участка «Ямская степь» заповедника «Белогорье» ТМ на основе изучения сети МП. При этом комплексные почвенные исследования проведены с использованием традиционных методов исследования общих свойств почв, с одной стороны, и чувствительных к загрязнению микробиологических тестов, с другой.

Объекты и методы исследования. Вокруг Ямской степи в Белгородской области в 2013-2015 гг. была заложена сеть пунктов комплексных наблюдений (т.н. мониторинговых площадок – МП) за воздействием Лебединского ГОК на экосистемы этого заповедного участка, все эти площадки получили соответствующие номера. В 2013-14 гг. нами была исследована 21 мониторинговая площадка (МП), они перечислены таблице 1. На всех МП был проведен морфогенетический анализ полнопрофильных почвенных разрезов, даны названия почв согласно «Классификации и диагностики почв России» (2004). Со всех МП были отобраны пробы с глубины 0-5 см на разные виды анализов. В пробах определялись содержание органического углерода (Сорг.) – по Тюрину, pH водной вытяжки, гранулометрический состав – методом пипетки с диспергацией пирофосфатом натрия и содержание ТМ (валовые формы). Определение содержания ТМ проводилось масс-спектральным методом с индуктивно-связанной плазмой (MS), либо атомно-эмиссионным методом с индуктивно-связанной плазмой (AES). Определение содержания Mn, Cd, Fe атомно-абсорбционным методом в ацетатно-аммонийной вытяжке (pH=4,8).

В пробах, отобранных с глубины 0-5 см, микробиологическую (дыхательную) активность почв (Vbasal) измеряли в лабораторных условиях по интенсивности выделения CO_2 из почвы при увлажнении, соответствующем 65-70 % от ППВ, и температуре 24^{o}C в 3-х кратной повторности. Также измерили скорость субстрат-индуцированного дыхания (Vsir) при внесении в почву избытка доступного для микробов субстрата – глюкозы (Anderson, Domsch, 1978). На основе измеренных Vbasal и Vsir рассчитали содержание микробного углерода (Cmic) и метаболический коэффициент (qCO2) [1].

В дополнение были проведены имитационные опыты с пылью, загрязненной ТМ (пыль получена из цехов Лебединского ГОКа), методика вырабатывалась в ходе эксперимента, поэтому ее описание мы поместили в следующий раздел.

Результаты и обсуждение. Натурные наблюдения и эксперименты. Содержание Сорг. в верхнем слое (0-5 см) гумусово-аккумулятивного горизонта на изученных пунктах наблюдений варьирует от 3,69 % (6,3 % в пересчете на гумус) (МП Галичи, разр. Н4) до 2,06 (3,6 % в пересчете на гумус) (МП Ямская степь, Суры, разр. Н11) (рис. 1а).

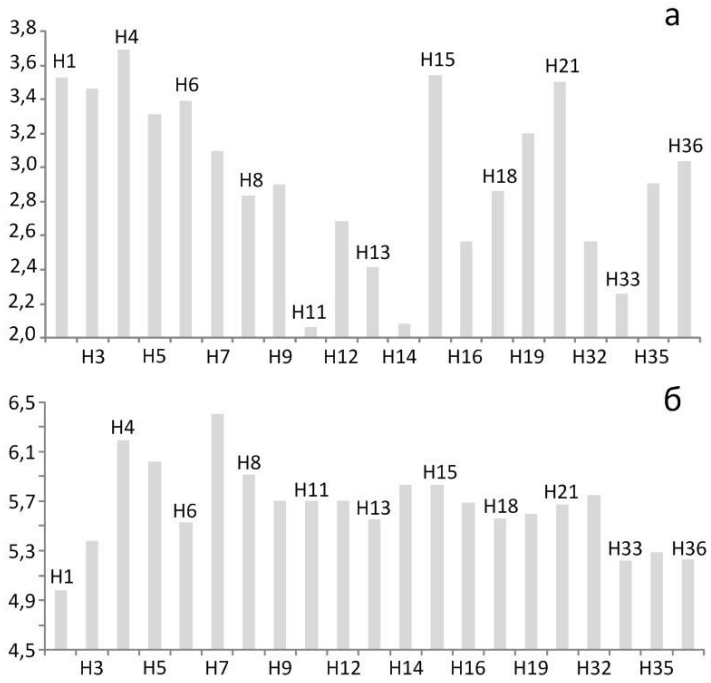


Рис. 1. Содержание органического углерода (а) и pHвод (б) в почвенных пробах с глубины 0-5 см на МП

а – по оси абсцисс номера разрезов, по оси ординат – С орг, %; б – по оси абсцисс то же, по оси ординат – pH вод.

Поверхностные горизонты почв отличаются слабо кислой, близкой к нейтральной и нейтральной реакцией среды, то есть условиями, необходимыми для проведения микробиологического тестирования. Показатели кислотности большинства точек наблюдения лежат в пределах 5,0-6,4 единиц pH (МП Романово, разр. Н1 и МП Барское, разр. Н7, соответственно), (рис. 1 б).

Табл. 1. Сеть пунктов комплексных наблюдений за воздействием Лебединского ГОК на экосистемы Ямской степи

№ п/п	№ почвенного разреза	Наименование пункта комплексных наблюдений. Координаты. Положение в рельефе	Название почвы, номер почвенного разреза	Ближайший населенный пункт, административный район	Бассейн реки	Удаление от центра границы промзоны ЛебГОК	Азимут к центру ЛебГОК
1	Н11	**Ямская степь, Суры** СШ 51°11'59,085" ВД 37°38'32,407" Наветренное	Стратозем темногумусовый сверхмощный тяжелосуглинистый профильно оглеенный на овражно-балочных наносах,	Загорный, Губкинский	Чуфичка	6,9 1,0	9°
2	Н13	**Ямская степь, плакор** СШ 51°11'23,8" ВД 37°38'46,403" Некосимый участок Наветренное	Чернозем миграционно-мицелярный среднемощный тяжелосуглинистый средне карбонатный на карбонатных лессовидных суглинках	Загорный, Губкинский	Чуфичка-Дубенка	7,9 2,0	6°
3	Н12	**Ямская степь, плакор** СШ 51°11'23,8" ВД 37°38'46,403" Косимый участок Наветренное	Чернозем миграционно-мицелярный мощный среднесуглинистый глубоко карбонатный на карбонатных лессовидных суглинках	Загорный, Губкинский	Чуфичка-Дубенка	7,9 2,0	6°
4	Н21	**Ямская степь, Еремкин Лог** СШ 51°10'38,4" ВД 37°39'02,9" Подветренное	Чернозем глинисто-иллювиальный среднемощный тяжелосуглинистый на бурых глинах	Загорный, Губкинский	Дубенка	9,1 3,0	4°
5	Н6	**Должик** СШ 51°9'8,594" ВД 37°33'15,987" Наветренное	Темно-серая тяжелосуглинистая среднемощная на бескарбонатных лессовидных суглинках	Дубравка Губкинский	Дубенка	14,0 6,0	31°
6	Н9	**Хмелеватое** СШ 51°6'42,64" ВД 37°26'37,207" Наветренное	Чернозем глинисто-иллювиальный тяжелосуглинистый среднемощный на бескарбонатных лессовидных суглинках	Мелавое, Губкинский	Орлик	22,4 12,7	43°
7	Н8	**Водяное** СШ 51°4'57,059" ВД 37°31'17,585"	Темногумусовая мощная тяжелосуглинистая на карбонатных лессовидных суглинках, подстилаемых элювием меловых отложений	Дальняя Ливенка, Губкинский	Орлик	21,9 13,8	26°

		Наветренное					
8	Н19	**Вислое** СШ 51°2'11,772" ВД 37°24'34,846" Наветренное	Чернозем глинисто-иллювиальный тяжелосуглинистый мощный на бескарбонатных лессовидных суглинках	Коньщино, Губкинский	Ольшанка	30,3 21,2	36°
9	Н3	**Сенное** СШ 51°12'28,663" ВД 37°30'30,343" Наветренное	Стратозем темногумусовый сверхмощный тяжелосуглинистый на овражно-балочных наносах	Сергиевка, Губкинский	Осколец	11,9 2,5	61°
10	Н18	**Воробьево** СШ 51°02'0,057" ВД 37°28'30,003" Наветренное	Чернозем глинисто-иллювиальный мощный тяжелосуглинистый на бескарбонатных лессовидных суглинках	Коньшино, Губкинский	Ольшанка	28,3 19,9	28°
11	Н1	**Романово** СШ 51°13'48,398" ВД 37°28'55,447 Наветренное	Чернозем глинисто-иллювиальный оподзоленный среднемощный тяжелосуглинистый глубоко оглеенный на пролювиально-делювиальных пере-отложенных бурых глинах	Сергиевка, Губкинский	Осколец	12,6 4,6	75°
12	Н5	**Кленовенькое** СШ 51°11'2,679" ВД 37°28'20,497" Подветренное	Стратозем темногумусовый сверхмощный тяжелосуглинистый	Пугачи, Губкинский	Орлик	15,4 5,7	57°
13	Н4	**Галичи** СШ 51°10'28,892" ВД 37°28'1,038" Наветренное	Темногумусовая мощная тяжелосуглинистая на бескарбонатных лессовидных суглинках, подстилаемых меловыми отложениями	Пугачи, Губкинский	Орлик	16,3 6,6	55°
14	Н7	**Барское** СШ 51°6'38,209" ВД 37°35'55,922" Подветренное	Темногумусовая маломощная тяжелосуглинистая на красно-бурых глинах	Копцево, Губкинский	Орлик	17,2 10,4	14°
15	Н14	**Осинник** СШ 51°3'1,629" ВД 37°39'14,739" Наветренное	Темногумусовая глинисто-иллювиированная среднемощная тяжело суглинистая на бурых глинах, подстилаемых меловыми отложениями	Старохмелевое, Чернянский	Орлик	23,9 17,1	1°
16	Н16	**Косино** СШ 51°1'21,529" ВД 37°35'52,563" Подветренное	Темногумусовая слитизированная мощная тяжелосуглинистая на бурых глинах	Кочегуры, Чернянский	Ольшанка	26,8 20,2	10°

17	Н15	**Резников Яр** СШ 51°1'0,736" ВД 37°39'41,024" Подветренное	Темно-серая стратифицированная маломощная тяжелосуглинистая на бурых глинах	Ольшанка, Чернянский	Ольшанка	27,1 20,9	0°
18	Н32	**Обручное** СШ 50,95613° ВД 37,67445° Подветренное	Темногумусовая глинисто-иллювиированная остаточно карбонатная среднемощная тяжелосуглинистая на бурых глинах, подстилаемых переотложенными меловыми отложениями	Ковылино, Чернянский	Халань	33,9 -	359°
19	Н33	**Садки** СШ 50,90226° ВД 37,59580° Наветренное	Темногумусовая метаморфизованная глинисто-иллювиированная среднемощная тяжелосуглинистая на бурых глинах	Верхнее Кузькино, Чернянский	Халань	40,1 -	7°
20	Н35	**Репное** СШ 50,98851° ВД 37,41460° Наветренное	Чернозем глинисто-иллювиальный среднемощный легкоглинистый на бурых глинах	Жилин Колодезь, Губкинский	Ольшанка	34,7 -	30°
21	Н36	**Перелесок 2** Координаты не определили	Чернозем глинисто-иллювиальный мощный тяжелосуглинистый на бурых глинах	Кочегуры, Чернянский	Ольшанка	30,1 23,5	10°

По гранулометрическому составу почвы МП довольно сходны и характеризуются средне- и тяжелосуглинистым составом, содержание физической глины варьирует от 42 % до 54 %.

Дыхательная активность почв выражается в сравнительно широком диапазоне: от 0,6 мкг С/г*час (МП Ямская степь, Суры, разр. Н11, МП Садки, разр. Н33) до 2,2 мкг С/г*час (МП Барское, разр. Н7) (рис. 2). Самые низкие значения зафиксированы на различных почвах: в стратоземе темногумусовом, расположенном в днище балки (МП Ямская степь, Суры, разр. Н11); черноземе глинисто-иллювиальном (МП Воробьево, разр. Н18) и в темно-гумусовой метаморфизированной почве (МП Садки, разр. Н33). Самые же высокие показатели базального дыхания обнаружены в темно-гумусовой маломощной почве (МП Барское, разр. Н7) и в черноземе глинисто-иллювиальном (МП Ямская степь, Еремкин лог, разр. Н21), т.е. зависимость базального дыхания от типа почвы не прослеживается. Однако прослеживается некоторая зависимость от режима землепользования: на плакоре косимого участка Ямской степи (чернозем миграционно-мицелярный, разр. Н12) уровень Vbasal выше, чем на некосимом участке (та же почва, участки расположены в нескольких метрах друг от друга, разр. Н13).

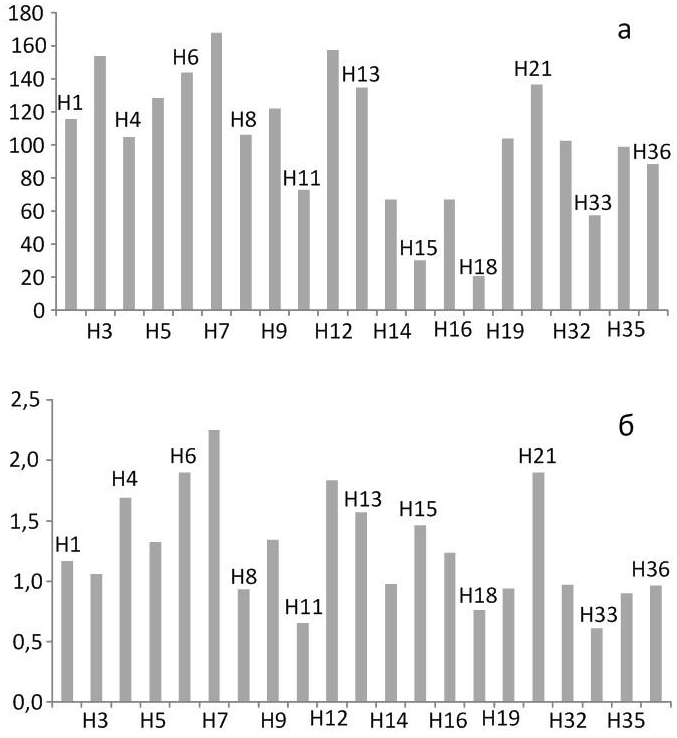


Рис. 2. Содержание углерода микробной биомассы (С мик) (а) и уровень базального дыхания (V basal), (б) в почвенных пробах с глубины 0-5 см на МП

а – по оси абсцисс номера разрезов, по оси ординат – С мик, мгС/100г почвы %; б – по оси абсцисс то же, по оси ординат – V basal, мкгС/г*час

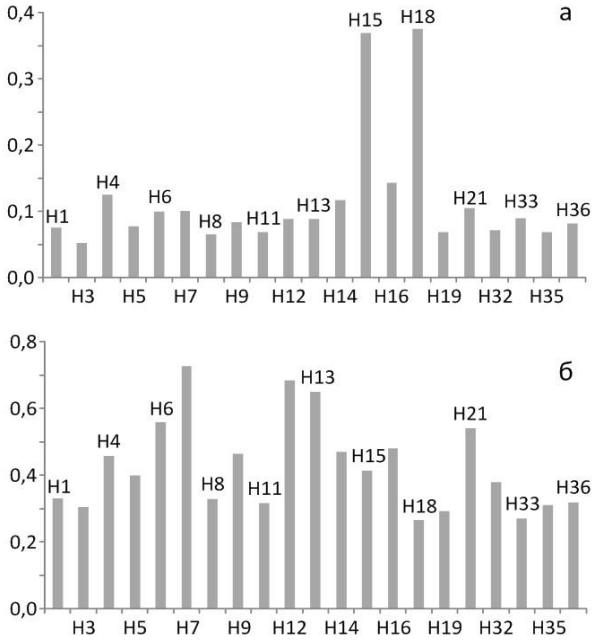


Рис. 3. Метаболический коэффициент qCO_2 (а), отношение базального дыхания к содержанию органического углерода (б) в почвенных пробах с глубины 0-5 см на МП

а – по оси абсцисс номера разрезов, по оси ординат – qCO_2; б – по оси абсцисс то же, по оси ординат – V basal/C орг.

Самые высокие значения содержания Cmic обнаружены в тех же МП, что и в случае с Vbasal. Максимальные значения Cmic достигают 168 мгС/100 г почвы (МП Барское, разр. Н7) в темногумусовой маломощной почве. Минимальные же значения Cmic зафиксированы в темно-серой стратифицированной почве (МП Резников Яр, разр. Н15) и в черноземе глинисто-иллювиальном (МП Воробьево, разр. Н18), 30,1 и 20,6 мгС/100г почвы, соответственно. При этом уровень Vbasal на этих МП не был самым низким.

Следует отметить, что в почвах разр. Н15 (МП Резников Яр) и Н18 (МП Воробьево) наблюдаются самые высокие показатели метаболического коэффициента qCO_2: 0,369 и 0, 375, соответственно. Все остальные МП укладываются в диапазон от 0,052 до 0,143. На участках косимом, разр. Н12, и некосимом, разр. Н13, с черноземом миграционно-мицелярным Ямской степи были зафиксированы практически одинаковые значения qCO_2. С точки зрения антропогенного загрязнения, величины qCO_2, превышающие величины 0,1-0,2, отражают угнетение и нарушение микробного сообщества (Благодатская и др., 1995).

Анализ удельной скорости базального дыхания (Vbasal/Corg, мкгС/г*час,), величины, которая может служить косвенной характеристикой устойчивости органического вещества к разложению, показал, что наименьшие значения зафиксированы в МП Воробьево (разр. Н18) – 0,266 мкгС/г*час, и Садки (разр. Н33) – 0,270 мкгС/г*час. Чем ниже значения

Vbasal/Corg, тем менее подвержено органическое вещество этих почв минерализации и соответственно более стабильно (Мостовая и др., 2015). Самые же высокие значения обнаружены в Барском (разр. Н7) – 0,727 мкгС/г*час, и на участках косимой и некосимой степи (разр. Н14 и Н13) – 0,684 и 0,651 мкгС/г*час, соответственно. Для целей нашего исследования важно, что низкие значения удельной скорости базального дыхания означают уменьшение легкодоступного субстрата в органическом веществе, которое может быстро разлагаться микроорганизмами, и такие значения косвенно свидетельствуют об угнетенном состоянии микробного сообщества.

Изучение содержания ТМ было выполнено только для валовых форм. Повышенными концентрациями Cu выделяется МП Еремкин лог (разр. Н21); Zn – Резников Яр (разр. Н15); Zr – Барское (разр. Н7), Резников Яр (разр. Н15) и Косино (разр. Н15); Sn и Pb – Должик (разр. Н6) и Резников Яр (разр. Н15); As – Воробьево (разр. Н18). Лишь для одной из опробованных МП получена связь превышения ПДК с ингибированием микробного сообщества – это Резников Яр (разр. Н15), который выделяется самым большим количеством превышений ТМ, по Zn, Zr, Sn и Pb, а коэффициент qCO_2 составляет здесь 0,369. Во второй МП, Воробьево (разр. 18), для которой получен самый высокий qCO_2 и в дополнение самая низкая удельная скорость Vbasal – 0,375, отмечается повышенное относительно других опробованных МП содержание As, которое, тем не менее, не превышает ПДК.

Имитационные опыты. Полученные результаты натурных экспериментов не смогли в полной мере ответить поставленной цели работы. Несмотря на локальные превышения концентраций тяжелых металлов и некоторого угнетения микробного сообщества почв, о котором мы судили по интегральным показателям его дыхательной активности, было не ясно, является ли аэральный привнос пыли из цехов и отвалов ГОКа причиной ингибирования микробов в почвах МП. Поэтому, помимо прямых натурных исследований дыхательной активности почв на МП, было проведено два имитационных опыта, которые основывались на определении скорости выделения CO_2 в искусственно полученной смеси почвы и пыли с высоким содержанием ТМ. Пыль была взята из цехов Лебединского ГОКа; почва – с участка косимой степи (разр. Н12). В пыли, взятой для опытов, были зафиксированы следующие концентрации ТМ (мкг/г): 28-52 V, 47-110 Cr, 15-59 Ni, 7-20 Cu, 12-35 Zn, 5,2-16 As, 11-110 Sr, 16-110 Zr, 5,1-12 Pb. Вариабельность содержания ТМ была связана с тем, что в разных цехах пыль включала немного разные количества ТМ.

Первый опыт включал в себя определение базального и субстрат-индуцированного дыхания в трех вариантах смесей: 90 % почвы и 10 % пыли, 50 % Ч и 50 % Л, 10 % Ч и 90 % Л, при одинаковой навеске. Контролем к каждому варианту выступали смеси прокаленной почвообразующей породы и той же почвы: 90 % почвы и 10 % породы, 50 % Ч и 50 % Р, и 10 % Ч и 90 % Р.

Второй опыт включал определение Vbasal и Vsir в смесях, где к фиксированной навеске, 5 грамм почвы, добавляли 1, 2, 3, 4, 5 грамм пыли, соответственно. Контролем также служили смеси почвы и породы в тех же соотношениях. Дополнительным контролем для второго опыта послужили нативная почва, прокаленная порода и пыль. Все опыты провели в трехкратной повторности.

В первом опыте мы стремились получить качественную реакцию, которая бы показала, каким образом загрязненная пыль влияет на дыхательную активность микробных сообществ. Выяснилось, что смесь прокаленной породы и почвы показала ожидаемый результат: с повышением содержания породы, уменьшалась дыхательная активность вплоть до нулевых значений, когда в смеси 10 % Ч и 90 % Р Vbasal составило 0,01, а Vsir – 0,08 мкгС/г*час (рис. 4). В случае со смесью пыли, содержащей ТМ, и почвы наблюдалась такая же картина: чем выше становились пропорции пыли в почве, тем меньше было выделение CO_2 как в нативной, так и в субстрат-индуцированной почве. Но здесь во всех трех вариантах выделение CO_2 происходило гораздо интенсивнее, чем в аналогичных в количественном отношении смесях почвы и породы (рис. 4). То есть, в смесях с пылью, обогащенной ТМ, микроорганизмы не угнетались, а, наоборот, показывали большую интенсивность дыхания, как базального, так и субстрат-индуцированного, по сравнению с вариантами смесей с чистой породой.

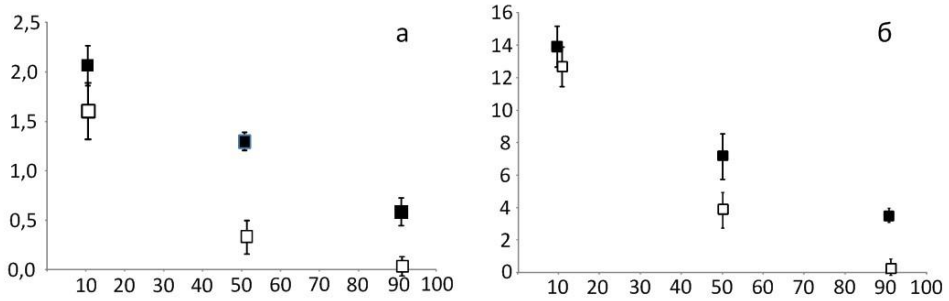


Рис. 4. Уровень базального (а) и субстрат-индуцированного (б) дыхания в первом имитационном опыте с пылью, загрязненной ТМ, и чистой прокаленной породой

а, б – по оси абсцисс процентное содержание пыли (а), породы (б); по оси ординат –V basal (а), Vsir (б), мкгС/г*час. Темные квадраты – варианты с пылью, светлые – варианты с породой

Второй этап эксперимента имитировал процесс постепенного накопления пыли в почве. Пошаговое повышение концентрации пыли в почве не проявлялось заметно в скорости базального дыхания и было практически одинаковым с чистой почвой (рис. 5а, сравниваем с КЧ) до тех пор, пока соотношение почва-пыль не достигло 1/1 (5 г почвы + 5 г пыли). Лишь в этом случае скорость выделения CO_2 заметно упала по сравнению с чистой почвой. При измерении скорости Vsir видно постепенное снижение этого показателя от 1 к 5 граммам добавленной в почву пыли (рис. 5 б),

скорость Vsir начинает достоверно отличаться от дыхания чистой почвы (КЧ) уже с варианта “3 грамма пыли на 5 граммов почвы”. При этом варианты с чистой (без ТМ) породой показали постепенное падение скорости как базального, так и субстрат-индуцированного дыхания, и во всех вариантах уровень дыхания в пробах с породой был ниже, чем с пылью.

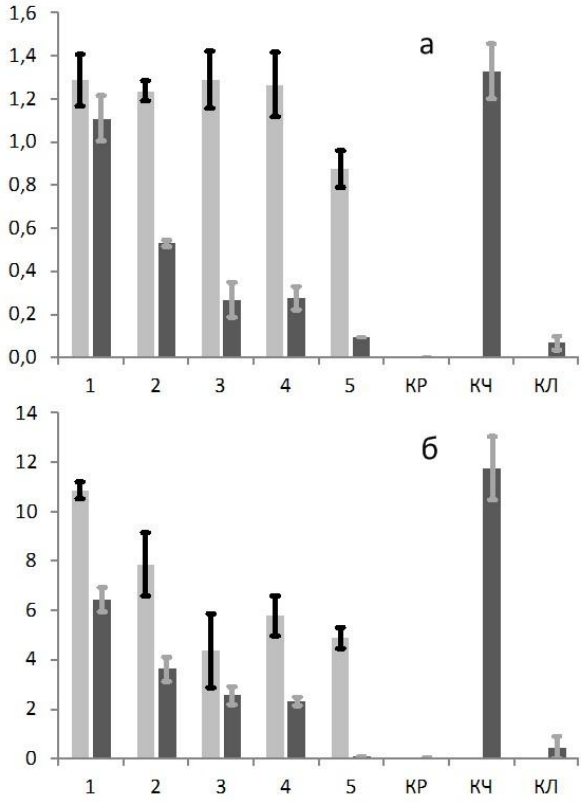


Рис. 5. Уровень базального (а) и субстрат-индуцированного (б) дыхания во втором имитационном опыте с пылью, загрязненной ТМ, и чистой породой

а, б: по оси абсцисс 1, 2, 3, 4 и 5 – количество грамм пыли/породы, добавленное к 5-ти граммам почвы, КР – контроль с породой, КЧ – контроль с почвой, КЛ – контроль с пылью; по оси ординат –V basal (а), Vsir (б), мкгС/г*час. Серые столбики – варианты с пылью, черные – варианты с породой

То есть, по сути, мы получили ту же картину, как и в опыте 1: в вариантах с пылью, загрязненной ТМ, скорость дыхания была выше по сравнению с вариантами с добавлением породы, при том, что «чистая» пыль и «чистая» порода в контролях (КЛ и КР на рис. 5, соответственно) давали одинаковые и близкие к нулевым значения измеряемых показателей.

Заключение. Натурные исследования на МП выявили, что не отмечалось зависимости базального дыхания от типа почвы, лишь слабо и единично – от типа землепользования. Вместе с тем, на некоторых МП складываются условия, стрессовые для микробного сообщества. Для этих площадок был сделан вывод о всплеске активности микробного сообщества и увеличения скорости минерализации органического углерода, как мы полагали, в результате накопления пыли, содержащей ТМ. Реальные

измерения валовых форм ТМ показали относительное (но не достигающее ПДК) превышение концентраций на этих МП Cu, Zn, Zr, Sn, Pb, As.

Имитационные опыты подтвердили наше предположение, поскольку позволили заключить, что добавление пыли, обогащенной ТМ, заметно сказывается на микробиологической активности, вызывая интенсификацию выделения CO_2 как в случае измерения скорости базального, так и субстрат-индуцированного дыхания.

Также, в результате этих опытов было установлено, что для того, чтобы можно было сделать однозначный и статистически достоверный вывод о превышении скорости дыхания микроорганизмов по сравнению с обычной незагрязненной почвой для изучаемого региона, необходимы довольно значительные концентрации пыли в почве, доходящие по уровня 3Л на 5Ч, а лучше 5Л к 5Ч, что довольно трудно представить в натурных условиях. Поэтому необходимо продолжить поиск более чувствительных индикаторов загрязнения изучаемых почв.

Литература

1. Благодатская Е.В., Ананьева Н.Д., Мякшина Т.Н. Характеристика состояния микробного сообщества по величине метаболического коэффициента // Почвоведение, 1995. № 2. С. 205-210.
2. Девятова Т.А. Биоэкологические принципы мониторинга и диагностика загрязнения почв // Вестник ВГУ. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2005. № 1. С. 105-106.
3. Евдокимова Г.А., Зенкова И.В. Влияние выбросов алюминиевого завода на биоту почв Кольского полуострова // Почвоведение. 2003. № 8. С. 973-979.
4. Кабиров Р.Р., Сагитова А.Р., Суханова Н.В. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории // Экология. 1997. № 6. С. 408-411.
5. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
6. Мостовая А.С., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Хохлова О.С., Русаков А.В., Шаповалов А.С. Изменение микробиологической активности серых лесных почв в процессе естественного лесовосстановления // Вестник Воронежского гос. ун-та, серия: Химия, биология, фармация. 2015, № 2. С. 64-72.
7. Терехова В.А. Биоиндикация и биотестирование в экологическом контроле // Использование и охрана природных ресурсов в России. Информационно-аналитический бюллетень. 2007. № 1 (91). С. 88-90.
8. Филимонова Ж.В., Покаржевский А.Д., Зайцев А.С., Криволуцкий Д.А., Фергуф С.К. Экологические механизмы устойчивости почвенной биоты к загрязнению металлами // Доклад РАН. 2000. Т. 370. С. 571-573.
9. Шунелько Е.В., Федорова А.И. Экологическая оценка городских почв и выявление уровня токсичности тяжелых металлов методом биотестирования // Вестник Воронежского университета. Сер.: Химия. Биология. Фармаия. Воронеж, 2006. № 2. С. 93-104.

10. Яковлев А.С. Биологическая диагностика и мониторинг состояния почв //Почвоведение. 2000. № 1. С. 70-79.

11. Aceves M.B., Ansorena C.G.J., Dendooven L, Brookes P.C. Soil microbial biomass and organic e in a gradient of zinc concentrations in soils around a mine spoil tip // Soil Biol. Biochem. 1999. V. 31. P. 867-876.

12. Anderson T.H., Domsch K.H.The metabolic quotient for CO2 (qCO2) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils // Soils Biol. Biochem. 1993. Vol. 25. P. 393-395.

13. Berg C., Ekbohm G., Soederstroem B.E., Staaf H. Reduction of decomposition rates of Scots pine needle litter due to heavy-metal pollution // Water, Air Soil Pollution. 1991.V. 59. P. 165-178.

АЛЬГОФЛОРА ОКУЛЬТУРЕННОЙ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ТОРФОВАНИЯ И ЗЕМЛЕВАНИЯ

Гаевский Е.Е., Фомина А.С., Сымонович А.И.
Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
gaevski@rambler.ru

Введение. Под термином «почвенные водоросли» обычно понимают совокупность нескольких экологических группировок водорослей, включающую наземные водоросли, которые лишь при благоприятных условиях разрастаются в массовых количествах на поверхности почвы, водно-наземные, разрастающиеся на поверхности постоянно влажной почвы, и собственно почвенные водоросли, населяющие толщу почвенного слоя. Согласно классификации ценозов водорослей понятие почвенные водоросли совпадают с понятием эдафильные ценозы [3, 8].

Почвенные водоросли являются частью автотрофного блока любой наземной экосистемы. Они могут образовывать самостоятельные ценозы – альгоценозы или в виде альгосинузий входят в состав соответствующих фитоценозов [5].

Почвенные водоросли Беларуси являются мало изученной группой микроорганизмов. Исследования в области почвенной альгологии в нашей республике проводились Э.Н.Ваулиной [2] в 50-60-х гг. XX в. Полученные ею данные позволили установить таксономический состав почвенных водорослей некоторых районов Беларуси. Описания альгофлоры Беларуси приведены в работах Р.Гутвинского, Я.Колодийчука, Н.И.Сретенской, А.В.Топачевского, Д.О.Радзимовского и обобщены в таксономическом каталоге Т.М.Михеевой [7]. Комплексные исследования структуры сообществ почвенных водорослей окультуренных почв в литературе крайне немногочисленны. Альгофлора почв сельскохозяйственного назначения в республике не изучалась. Индикационная значимость видов почвенных водорослей для определения видов, пригодных в качестве альгоиндикаторов, как и оценка вклада различных жизненных форм почвенных водорослей в состав альгосообществ выявлена в нашей стране только для антропогенно-нарушенных территорий [1].

Изучение почвенных водорослей актуально и в настоящее время: они оказывают влияние на физико-химические свойства почвы, создают первичную продукцию, служат пищей для гетеротрофных организмов, являются первопоселенцами нарушенных почв и техногенных субстратов. При этом водоросли отличаются специфической чувствительностью к действию антропогенных факторов и быстрой реакцией на изменение условий существования, что указывает на их высокий индикаторный потенциал при оценке экологического состояния почвенного покрова [4].

Цель настоящей работы – изучение таксономической структуры водорослей дерново-подзолистой песчаной почвы после оптимизации путем торфования и землевания, а также определение спектра экобиоморф почвенных водорослей по индексам жизненных форм.

Объекты и методы исследований. Полевой опыт был заложен в 2006 году на базе хозяйства «ПМК-16 АГРО» около агрогородка Пересады Борисовского р-на Минской обл. на дерново-подзолистой связнопесчаной почве. Схема полевого опыта включала 5 вариантов: на опытные делянки площадью 50 $м^2$ в четырехкратной повторности вносили суглинок из расчета 100, 200, 300 и 400 т/га, а также торфонавозный компост в дозе 200 т/га при соотношении навоза и торфа 1:1. На шестой-седьмой год (2011-2012 гг.) оптимизации песчаной почвы возделывали многолетние бобово-злаковые травы (клевер луговой Trifolium pratense L., тимофеевка луговая Phleum pratense L., ежа сборная Dactylis glomerata L.). В восьмой год (2013 г.) выращивался – овес, в девятый (2014 г.) – кукуруза.

Отбор образцов проводили в июле и сентябре 2011-2014 гг. по методике, общепринятой в почвенной альгологии. Видовой состав водорослей выявляли методом почвенных культур со стеклами обрастания, водных и агаровых культур [5, 6].

Идентификацию водорослей осуществляли с помощью микроскопа Carl Zeiss Axiostar и общепринятых определителей, таксономическое положение объектов приведено по каталогу Т.М.Михеевой [7].

Индексы жизненных форм или экобиоморф устанавливали по [5, 4].

Результаты и обсуждение. В оптимизированной дерново-подзолистой песчаной почве идентифицировано 56 видов водорослей:

Отдел **CYANOPHYTA**
Класс **CHROOCOCCOPHYCEAE**
ПОРЯДОК CHROOCOCCALES
Семейство **Synechococcaceae**
Synechocystis aquatilis Sauv., Ch-форма
Семейство **Microcystidaceae**
Microcystis pulverea f. incerta (Lemm.) Elenk., C-форма
Класс **HORMOGONIOPHYCEAE**
ПОРЯДОК OSCILLATORIALES
Семейство **Oscillatoriaceae**
Oscillatoria angustissima W. Et G. S. West, P-форма
O. lacustris (Kleb.) Geitl., P-форма
O. pseudogeminata G. Schmid, P-форма
Phormidium foveolarum (Mont.) Gom., P-форма
Ph. laminosum f. weedii Fild, P-форма
Ph. molle (Kütz.) Gom. f. molle, P-форма
Ph. autumnale (Ag.) Gom., P-форма
Lyngbya aerugineo-coerulea (Kütz.) Gom. f. aerugineo-coerulea (= L. aerugineo-coerulea (Kütz.) Gom.), P-форма
ПОРЯДОК NOSTOCALES
Семейство **Nostocaceae**
Nostoc linckia (Roth) Born. et Flah. in sensu Elenk. f. linckia (= Stratonostoc linckia (Roth) Elenk.), N-форма
N. punctiforme (Kütz.) Hariot f. punctiforme (= Amorphonostoc punctiforme (Kütz.) Elenk.), Cf-форма
Семейство **Anabaenaceae**
Cylindrospermum majus Kütz., Cf-форма

C. stagnale (Kütz.) Born. et Flah. f. stagnale, Cf-форма
Anabaena spiroides f. crassa (Lemm) Elenk., Cf-форма
A. variabilis Kütz. f. variabilis, Cf-форма
Семейство **Scytonemataceae**
Tolypothrix tenuis Kütz. f. tenuis, M-форма
Семейство **Rivulariaceae**
Calothrix elenkinii Kossinsk., M-форма
Отдел **BACILLARIOPHYTA**
Класс **PENNATOPHYCEAE**
ПОРЯДОК RAPHALES
Семейство **Naviculaceae**
Navicula pelliculosa (Breb.) Hilse, B-форма
N. dicephala var. elginensis (Greg.) Grun., B-форма
N. ignota Hust, B-форма
Pinnularia borealis Ehr. var. borealis, B-форма
P. intermedia (Lagerst.) Cl., B-форма
P. microstauron var. brebissonii f. diminuta Grun., B-форма
P. viridis (Nitzsch.) Ehr. var. viridis (= Navicula viridis Kütz.; = P. viridis var. clevei Meist.), B-форма
Семейство **Cymbellaceae**
Cymbella pusilla Grun., B-форма
Семейство **Nitzschiaceae**
Hantzschia amphioxys (Ehr.) Grun. var. amphioxys, B-форма
Отдел **XANTHOPHYTA**
Класс **XANTHOCOCCOPHYCEAE**
ПОРЯДОК HETEROCOCCALES
Семейство **Pleurochloridaceae**
Botrydiopsis arhiza Borzi, Ch-форма
Сем. **Sciadaceae**
Bumilleriopsis biverucca Pascher, X-форма
B. peterseniana Vischer et Pascher, X-форма
Класс **XANTHOTRICHOPHYCEAE**
ПОРЯДОК TRIBONEMATALES
Семейство **Heterotrichaceae**
Heterothrix bristoliana Pascher, H-форма
H. tribonemoides Pascher, H-форма
Семейство **Tribonemataceae**
Tribonema vulgare Pascher, H-форма
Отдел **EUGLENOPHYTA**
Класс **EUGLENOPHYCEAE**
ПОРЯДОК EUGLENALES
Семейство **Euglenaceae**
Trachelomonas perforata Awerinzew, X-форма
T. volvocina Ehrenberg, X-форма
Euglena mutabilis Schmitz., X-форма
Отдел **CHLOROPHYTA**
Класс **VOLVOCOPHYCEAE**
ПОРЯДОК CHLAMYDOMONADALES
Семейство **Chlamydomonadaceae**
Chlamydomonas gelatinosa Korschik., Ch-форма
Chlamydomonas sp., Ch-форма
Класс **PROTOCOCCOPHYCEAE**
ПОРЯДОК CHLOROCOCCALES
Семейство **Chlorococcaceae**
Chlorococcum infusionum (Schrank) Menegh., Ch-форма
Семейство **Oocystaceae**
Chlorella ellipsoidea Gerneck, Ch-форма
Ch. vulgaris Beyer. , Ch-форма
Семейство **Scenedesmaceae**
Scenedesmus bijugatus var. alternans (Reinsch) Hansg., Ch-форма
Класс **ULOTHRICHOPHYCEAE**
ПОРЯДОК ULOTHRICHALES
Семейство **Elakatothrichaceae**

Koliella longiseta (Vischer) Hindak (= Raphidonema longiseta Vischer), H-форма
K. sempervirens (Chod.) Hindak (= Raphidonema sempervirens Vischer), H-форма
Stichococcus bacillaris Näg., H-форма
St. minor Näg., H-форма
St. variabilis W. et G. S. West, H-форма
Семейство **Ulothrichaceae**
Ulothrix subtilissima Rabenh. (= U. subtilis (Un.) Hansg.), H-форма
U. tenerrima Kütz., H-форма
U. variabilis Kütz., H-форма
Gloeotila terricola Boye-Pet., H-форма
Chlorhormidium flaccidum var. nitens Menegh. em Klebs (= Hormidium nitens (Menegh.) em Klebs), H-форма
ПОРЯДОК CHAETOPHORALES
Семейство **Chlorosarcinaceae**
Neochlorosarcina deficiens (Groover et Bold) S. Watanabe, Ch-форма
Семейство **Chaetophoraceae**
Desmococcus (=Protococcus auct.; =Pleurococcus (auct.) vulgaris (Näg.) Brand; = Pleurococcus vulgaris Näg.; Protococcus viridis Ag.; = Pleurococcus naegelii Chod.), Ch-форма
Класс **CONJUGATOPHYCEAE**
ПОРЯДОК DESMIDIALES
Семейство **Desmidiaceae**
Cosmarium undulatum var. minutum Wittr., hydr-форма
Отдел **RHODOPHYTA**
Класс **FLORIDEOPHYCEAE**
ПОРЯДОК NEMALIALES
Семейство **Batrachospermaceae**
Batrachospermum moniliforme Roth, H-форма

Табл. 1.Таксономическая структура почвенных водорослей дерново-подзолистой песчаной почвы

Отдел	Класс	Порядок	Семейство	Род	Вид
Cyanophyta	Chroococcophyceae	Chroococcales	2	2	2
	Hormogoniophyceae	Oscillatoriales	1	3	8
		Nostocales	4	5	8
Bacillariophyta	Pennatophyceae	Raphales	3	4	9
Xanthophyta	Xanthococcophyceae	Heterococcales	2	2	3
	Xanthotrichophyceae	Tribonematales	2	2	3
Euglenophyta	Euglenophyceae	Euglenales	1	2	3
Chlorophyta	Volvocophyceae	Chlamydomonadales	1	1	2
	Protococcophyceae	Chlorococcales	3	3	4
	Ulothrichophyceae	Ulothrichales	2	5	10
		Chaetophorales	2	2	2
	Conjugatophyceae	Desmidiales	1	1	1
Rhodophyta	Florideophyceae	Nemaliales	1	1	1

Таким образом, были выявлены почвенные водоросли шести отделов: Cyanophyta – 18 видов (32,1 %), Bacillariophyta – 9 (16,1 %), Xanthophyta – 6 (10,7 %), Euglenophyta – 3 (5,4 %), Chlorophyta – 19 (33,9 %) и Rhodophyta – 1 вид (1,8 %). Сине-зеленые водоросли включали представителей из 10 родов, относящихся к 7 семействам, 3 порядкам классов Chroococcophyceae (11,8 %) и Hormogoniophyceae (88,2 %). Наиболее широко были представлены порядки Oscillatoriales и Nostocales (по 8 видов). Выявленные зеленые водоросли относятся к 4 классам, 5 порядкам, 9 семействам и 12 родам;

наибольшим видовым разнообразием отличался порядок Ulothrichales (10 представителей).

В списке представлен не только видовой состав почвенных водорослей, но и их распределение по экобиоморфам или жизненным формам, которые характеризуют экологические особенности водорослей, независимо от систематической принадлежности. Располагая индексы жизненных форм в порядке убывания числа видов, мы получили спектр жизненных форм:

$H_{14}Ch_{10}B_9P_8Cf_5X_5M_2C_1N_1hydr._1$

Большинство обнаруженных представителей – эдафофильные водоросли, участие гидрофильных (hydr.) водорослей в формировании альгогруппировок исследуемых участков незначительно (представлено 1 видом Cosmarium undulatum var. minutum Wittr.), амфибиальных водорослей обнаружено не было.

Среди эдафофильных водорослей доминирующее положение занимали представители H-формы – 14 видов (25 %). Это нитевидные зеленые и желто-зеленые водоросли, неустойчивые против засухи и сильного нагревания. Десятью видами представлены (17,8 %) почвенные водоросли Ch-формы - это одноклеточные и колониальные зеленые и желто-зеленые водоросли, обитающие в толще почвы, при благоприятной влажности – и на поверхности почвы, отличаются исключительной выносливостью к колебаниям pH, влажности, засоленности, их обычно обозначают как убиквисты. Далее по убывающей расположились водоросли B-формы (16,1 %) – холодостойкие, светолюбивые, многие солевыносливые, но неустойчивые против высыхания водоросли, предпочитающие нейтральную и щелочную среду, а также P-формы – 8 видов (14,3 %) – нитевидные синезеленые, устойчивы против засухи, тяготеют к голым участкам минеральной почвы, занимают пространства между растениями. Затем следуют представители Cf-формы (8,9 %) – микроскопические талломы азотфиксирующих сине-зеленых водорослей, способные давать слизистые разрастания на поверхности почвы, требовательны к влаге и могут образовывать обильную слизь. X-форма (8,9 %) – одноклеточные желто-зеленые и зеленые водоросли, отличающиеся неустойчивостью против засухи и экстремальных температур. Незначительным количеством видов (2 вида) представлены водоросли M-формы (3,6 %): M-форма – сине-зеленые в виде слизистых нитей, образующие макроскопические корочки или дерновинки на поверхности почвы. Единично встречались виды, относящиеся к C- и N-формам.

Литература

1. Бачура Ю.М. Структура сообществ почвенных водорослей и их использование для альгоиндикации почв (на примере Гомельского региона): автореф. дис. канд. биол. наук // Гомельский госуниверситет им. Ф. Скорины, Гомель, 2013. 25 с.

2. Ваулина Э.Н. Состав и распределение водорослей в некоторых характерных почвах БССР: автореф. дис. канд. биол. наук // Ботан. ин-т им. В.Л. Комарова, Л., 1956. 19 с.

3. Голлербах, М.М., Штина, Э.А. Почвенные водоросли. Л.: Наука, 1969. 228 с.

4. Звягинцев Д.Г., Бабьева И.П., Зенова Г.М. Биология почв. – М.: МГУ, 2005. 448 с.

5. Зенова Г.М., Штина Э.А. Почвенные водоросли. М.: МГУ, 1990. 80 с.

6. Кузяхметов Г.Г., Дубовик И.Е. Методы изучения почвенных водорослей. Уфа: Изд-во Башкирск. ун-та, 2001. 60 с.

7. Михеева Т.М. Альгофлора Беларуси. Таксономический каталог. Минск: БГУ, 1999. 396 с.

8. Штина Э.А., Голлербах М.М. Экология почвенных водорослей. М.: Наука, 1976. 143 с.

ЭКОЛОГО-ГИДРОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА АГРОЛАНДШАФТОВ ТАМБОВСКОЙ ОБЛАСТИ В ИСТОРИЧЕСКОЕ ВРЕМЯ

Канищев В.В.*, Тютерева О.И., Ковалева Н.О.*****
*Тамбовский государственный университет имени Г.Р.Державина, г. Тамбов
** Факультет почвоведения МГУ имени М.В.Ломоносова, г. Москва
*** Институт экологического почвоведения МГУ
имени М.В.Ломоносова, г. Москва
tyutereva.o@yandex.ru

Введение. Несмотря на давнюю историю земледельческого освоения почв Тамбовской и Липецкой областей, четыре пятых площади которых по сей день составляет пашня, классификационное положение, генезис и эволюция этих почв остаются малоизвестными и дискуссионными. На крупномасштабных картах Тамбовской равнины, как отмечала в 1981 г. Самойлова, практически не показаны ни лугово-черноземные, ни черноземно-луговые почвы, хотя на большей части территорий этой области грунтовые воды лежат на уровне 3-6 м от поверхности или выше.

Изучение особенностей эволюции почв лесостепной зоны, находящихся в условиях постоянной гидравлической связи с почвенно-грунтовыми водами, особенно актуально в условиях постоянно меняющейся климатической системы планеты. А прогнозное моделирование динамики свойств и режимов обсуждаемых ландшафтов должно опираться на достоверные палеогеографические и палеопочвенные данные. Существующие палеогеографические интерпретации истории данного региона фрагментарны [5]. Поэтому целью нашей работы, которая выполняется в рамках комплексного междисциплинарного проекта (государственного контракта 2010-1.1-301-017) "Естественно-исторические проблемы российского аграрного социума" (руководитель – профессор ТГУ В.В.Канищев), стало изучение особенностей эволюции почв Тамбовской низменности и влияния гидрогеологического режима на почвенный профиль.

Объекты и методы исследования. Объектами исследования являются архивные материалы буровых скважин начала XX века. Современные образцы грунтовой воды отобраны в 2015 г. в скважинах при селах Большие Хомяки, Большие Избищи, Трубетчино и Тележенка Липецкой области. Также объектами исследования послужили почвенный разрез в заповедной Матырской Дубраве 150-летнего возраста, обнажения близ села Никольское и катена из 5 почвенных разрезов на территории Давыдовского городища в Тамбовской области.

Методы исследования включали историко-графический метод изучения буровых журналов; химический анализ грунтовой воды (таблицы 1, 2) потенциометрическими, титриметрическими, атомно-адсорбционными и хроматографическими методами с целью определения pH, общей щелочности, жесткости, содержание натрия, кальция, магния, железа,

гидрокарбонатов, сульфатов, хлоридов и нитратов. Фотометрическим и потенциометрическим методами определили pH и обменные основания в водных вытяжках почв.

Результаты и обсуждение. Кристаллические породы, слагающие Воронежскую антиклизу, восточнее Дона быстро уходят на глубину до 1400 м; их покрывает толща верхнепалеозойских и мезозойских отложений. В течение девона, карбона, юрского и нижнемелового времени Окско-Донская равнина была областью интенсивных опусканий, что сопровождалось накоплением мощной толщи глин, известняков, мергелей, песков [4]. Кристаллическое дно покрыто девонскими отложениями. Моря девона имели лагунный характер, что в сочетании с жарким климатом привело к отложению мощной (до 1 км) соленой толщи, играющей большую роль в геохимии ландшафтов.

На протяжении геологической истории на всей территории впадины совершались тектонические движения земной коры, в частности, вертикальные перемещения блоков коренного ложа. Они привели к образованию многочисленных разломов и сбросов, ставших местом мощных соляных интрузий [3]. Соли контактируют не только с породами, которые они протыкают, но и со всеми горизонтами грунтовых вод, циркулирующих в прорезаемой куполами толще [7].

Воды девонских отложений распространены широко на рассматриваемой территории, занимая всю центральную и северо-восточную части в пределах свода северо-западного, северо-восточного и юго-восточного склонов Воронежского кристаллического массива.

В верхней части девонской толщи преобладают карбонатные породы. Это определяет развитие в ней преимущественно трещинно-карстовых и трещинных водоносных горизонтов. Приурочены эти водоносные горизонты, главным образом, к домезозойской и более древним погребенным зонам выветривания. Разделяются они монолитными пластами тех же карбонатных пород, залегающими выше поверхностей размыва. Ниже верхнещигровских отложений в разрезе преобладают песчано-глинистые отложения с приуроченными к ним преимущественно поровыми водами. В целом чередование водопроницаемых и водоупорных, довольно хорошо выдержанных, пластов определяет многоэтажное строение девонской водоносной толщи.

В изучаемых скважинах появление водоносного горизонта приурочено именно к водам девонских отложений кудеяровско-лебедянского водоносного горизонта.

Кудеяровско-лебедянский водоносный горизонт распространен к северо-востоку от линии, проходящей примерно от г. Жуковки на Брянск, пос. Кромы, пос. Змиевку, г. Лебедянь, г. Мичуринск и г. Борисоглебск. Эта граница довольно сильно изрезана ввиду размыва водосодержащих отложений по современным долинам Оки, Зуши, с притоком р. Неручь, Дона

с притоками Красивой Мечи и Воронежа, а также в пределах погребенных домезозойских долин.

Литологический разрез водовмещающей толщи неоднороден, но с явным преобладанием карбонатных пород. Водовмещающие породы представлены известняками, доломитами с прослоями мергелей, глин, иногда песков и песчаников. Повсеместно в водовмещающей толще отмечается вкрапленность пирита, а к району г. Болхова – г. Лебедяни местами и наличие мелких линз и включений гипса, что нередко отражается на химическом составе вод кудеяровско-лебедянского горизонта. Повышенную трещиноватость и каверзность имеют мценские и лебедянские доломиты и известняки с прослоями мергелей и глин, они выделяются как мценско-лебедянский водоносный горизонт [2].

Глубина залегания водоносного горизонта колеблется от 0-36 м вдоль склонов современных долин до 70-124 м на водоразделах, что хорошо прослеживается в обнажениях близ села Никольское, а также в разрезах Давыдовского городища. Абсолютные отметки кровли снижаются преимущественно в северо-восточном направлении от +230-30 до -170-210 м, с наименьшими отметками в районе городов Поворино и Кирсанова. При фонтанировании скважин по долинам Десны, Оки, Дона, Хопра, Вороны и их основных притоков уровни воды устанавливаются от 25 до 1 м от поверхности земли.

Изменения в отметках уровней определяют как область питания кудеяровско-лебедянского водоносного горизонта. Разгрузка водоносного горизонта частично происходит по долинам, врезанным в толщу водовмещающих пород, что подтверждается как снижением отметок уровней подземных вод, так и выходами их на поверхность в виде родников. Это хорошо прослеживается в обнажениях близ села Никольское Тамбовской области.

По данным Е.М.Самойловой (1981) почти все отложения, развитые на Окско-Донской равнине, водоносны в той или иной степени. Повсеместно обнаружены пресные воды в верхних горизонтах девона. На водоразделах Окско-Донской равнины между грунтовыми водами, непосредственно влияющими на процесс почвообразования, и водоносными горизонтами коренных пород не может быть существенной связи. Для геологического строения низменности характерно отсутствие дизъюнктивных дислокаций, здесь нет трещин, разломов, по которым глубинные напорные воды могли бы достичь поверхностных горизонтов. Гидростатическая связь верхнего горизонта грунтовых вод с нижележащими горизонтами очень слаба, так как воды верхнего горизонта покоятся на водоупорном ложе. Однако определенная связь между водами коренных отложений и почвенно-грунтовыми водами осуществляется вследствие напорности вод коренных отложений. Они могут существенно влиять на почвообразование в поймах рек, где они выклиниваются, смешиваясь с водами современного аллювия [7].

В геологическом строении рассматриваемых буровых скважинах 1913 года, а именно, при селе Большие Хомяки Шовской волости, селах Тележенка и Трубетчино Трубетчинской волости Лебедянского уезда Тамбовской губернии были вскрыты несколько геологических слоев. Их описание приводится ниже, в таблице 4.

Глубина залегания водоносного горизонта в Трубетчино составляет 16,3 м от поверхности земли, в Больших Избищах колеблется от 21,93 до 38,7 м, а в Тележенке 23,76 м вдоль склонов современных долин. Абсолютные отметки уровней – от 149,88 до 179,05 м.

Водообильность кудеяровско-лебедянского водоносного горизонта (таблица 3) непостоянная. Наибольшей водообильностью горизонт характеризуется в современных погребенных долинах, наименьшей – по водоразделам. По химическому составу воды горизонта преимущественно гидрокарбонатные магниевые-кальциевые с минерализацией 0,2-0,6 г/л, реже до 0,8 г/л, типа $M_{0,3}\frac{HCO3\ 86\ SO4\ 8}{Ca\ 47\ Mg\ 38}$, иногда $M_{0,5}\frac{HCO3\ 75\ SO4\ 10}{Ca\ 40\ Mg\ 46}$. Развитые в районе г. Тамбова – г. Рассказова хлоридно-гидрокарбонатные магниево-кальциевые воды с минерализацией 0,3-0,6 г/л сменяются в районе г. Кирсанова хлоридными магниево-кальциевыми с минерализацией 0,8-1,2г/л, состава $M_{0,9}\frac{Cl\ 87\ SO4\ 13}{Ca\ 42\ Mg\ 31}$, в районе пос. Инжавино переходят в гидрокарбонатно-хлоридные кальциево-натриевые $M_{0,9}\frac{Cl\ 57\ HCO3\ 30}{Ca\ 38\ (Na+K)\ 39}$, в районе Борисоглебска – в гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные натриевые $M_{1,2}\frac{Cl\ 44\ SO4\ 28\ HCO3\ 28}{Ca\ 23\ (Na+K)\ 59}$, на участке оз. Ильмень – в хлоридные кальциево-натриевые $M_{32,3}\frac{Cl\ 200}{Ca\ 26\ (Na+K)\ 59}$. Таким образом, при погружении к северу, где наиболее интенсивно проявляется загипсованность водосодержащих пород, в водах горизонта хотя и повышается содержание хлоридов, но доминирующая роль принадлежит сульфатам. При погружении на восток, при отсутствии в слоях гипса, хлориды вытесняют гидрокарбонаты, а натрий – кальций. Между этими двумя направлениями, в районе Тамбов-Моршанск-Борисоглебск встречаются гидрокарбонатные воды с повышенным содержанием то хлоридов, то сульфатов, по-видимому, в зависимости от наличия или отсутствия загипсованности водосодержащих пород. Из катионов обычно доминирует кальций, магний и натрий. Минерализация вод при погружении горизонта повышается до 1,2-3,6 г/л, местами свыше 32,3 г/л.

Общая жесткость вод кудеяровско-лебедянского водоносного горизонта обычно колеблется в пределах 1-7 мг-экв., редко достигая 8,8-31,6 мг-экв. Карбонатная жесткость 1,0-6,5 мг-экв, иногда до 8,8- 15,6мг-экв. Содержание свободной углекислоты 4,0-40,4 мг/л, иногда до 125,4-158, 4 мг/л. Железа – следы или до 0,1-1,0 мг/л, реже до 4 мг/л. Нитратов

содержится довольно много – от 0,001 до 1,0 мг/л, даже до 11,1-50,0 мг/л, как исключение – до 212,6 мг/л. Эти данные свидетельствуют о местном загрязнении водоносного горизонта.

Кудеяровско-лебедянский водоносный горизонт является одним из важнейших источников водоснабжения, на нем базируется водоснабжение городов и промышленных предприятий, в том числе Данков, Чаплыгин, Мичуринск, Моршанск, Тамбов, Рассказово, Борисоглебск.

На основании многолетних исследований В.А.Ковда пришел к выводу, что между количеством и составом солей, аккумулирующих в природных водах и почвах, существуют определенные закономерности. Состав природных вод является функцией их минерализации. В частности, в начальной стадии процесса засоления вод, когда концентрация составляет 0,5-5 г/л, их состав, как правило, гидрокарбонатно-натриевый с примесью сульфатов и хлоридов натрия. При возрастании концентрации сода исчезает из состава природных вод. Почвенно-грунтовые воды лесостепной части Окско-Донской низменности относятся к пресным гидрокарбонатно-кальциевым водам. Однако в аккумулятивных ландшафтах воды приобретают более высокую минерализацию, становятся гидрокарбонатно-магниево-натриевыми, гидрокарбонатно-натриевыми, сульфатно-гидрокарбонатно-натриевыми, хлоридно-гидрокарбонатно-натриевыми [1, 6, 8]. Минерализация возрастает с севера на юг, в соответствии с известными законами геохимической дифференциации состава природных вод. На водораздельных пространствах Тамбовской равнины формируются пресные гидрокарбонатные (0,5-0,7 г/л) воды, в катионном составе которых первое место принадлежит кальцию и магнию, последнее натрию.

По химическому составу вода из скважин преимущественно сульфатно-гидрокарбонатная магниево-кальциевая, с общей минерализацией 0,4-0,6 г/л, а также в Трубетчино хлоридно-гидрокарбонатная натриево-кальциевая с общей минерализацией 1,0 г/л. Состав при Большие Избища 1 $M_{0,6}\ \frac{HCO3\ 76\ SO4\ 13\ Cl\ 11}{Ca\ 63\ Mg\ 28\ Na\ 10}$, Большие Избища 2 $M_{0,4}\ \frac{HCO3\ 61\ SO4\ 19\ Cl\ 17}{Ca\ 63\ Na\ 29\ Mg\ 8}$, Тележенка $M_{0,4}\ \frac{HCO3\ 89\ SO4\ 7\ Cl\ 5}{Ca\ 70\ Mg\ 17\ Na\ 12}$, Трубетчино $M_{1,0}\ \frac{HCO3\ 72\ Cl\ 18\ SO4\ 10}{Ca\ 41\ Na\ 47\ Mg\ 12}$. Таким образом к северу повышается содержание сульфатов, но в небольших %, а также натрий вытесняет частично кальций. Увеличение содержания то хлоридов, то сульфатов показывает большую или меньшую степень загипсованности водосодержащих пород, из катионов сильно доминирует кальций. Общая жесткость вод колеблется в пределах 5,1-7,3 ммоль-экв./л, достигая в Трубетчино значения 9,8.

В рассмотренных нами скважинах выявлено, что содержание железа колеблется от 0,08 до 0,32 мг/л, нитратов довольно много, самое низкое значение в скважине при с.Тележенка и составляет 25 мг/л, а в с.Трубетчино достигает 342, 4 мг/л, делая эту воду непригодной для питья и диагностируя высокую степень загрязнения, возможно связанную с попаданием нитратных

удобрений в водоносный горизонт путем просачивания. Следует отметить, что в скважине Трубетчино также выявлено неудовлетворительное качество воды, которая непригодна для питья.

Химический состав воды, отобранной в 2015 г., совпадает по своему составу и свойствам с образцами, описанными Самойловой (1981) в книгах 60-х годов. Видно, что основные параметры особо не отличаются друг от друга. Также, по данным буровых скважин начала XX века, пробы воды в 3 точках характеризуются пригодными для питья, с жесткостью 14,1-17,9^0, а в пробе Трубетчино вода описывается как непригодная для питья, с высокой общей жесткостью – 27,9^0. При этом, в образце Трубетчино 2015 г., содержание нитратов превышает ПДК в 7,5 раз и все остальные параметры, кроме содержания железа, выше, чем в других пробах воды, что делает эту воду непригодной для питья. Из этого можно сделать выводы, что на протяжении ста и более лет химические свойства воды одного водоносного горизонта малоизменчивы, и по основным параметрам можно судить о качестве и пригодности воды.

В профиле почв Давыдовского городища, а также в обнажениях морфологически прослеживаются прослои солей белого цвета. Анализ состава обменных оснований обнаружил, что исследуемые почвы слабозасолены гидрокарбонатом Na, характерным для грунтовой воды региона. Отмечается также высокое содержание обменного магния в нижних частях профиля. Процессы гидрогенной аккумуляции солей в пространстве и во времени ритмично накладываются на почвенный профиль, осложняя и без того полигенетический облик. В таблицах 1, 2 представлен химический анализ водных вытяжек почв.

Давыдовское городище находится сегодня в 30 минутах ходьбы от реки Серп. В нем прослои ортзанда и ортштейнов маркируют высокий уровень поднятия капиллярной каймы грунтовых вод, около 132 м над уровнем моря, при современном – 108 м. Даже если современный урез воды в реке около 110 м, а высота поднятия капиллярной каймы – 5 м, колебания уровня обводненности территории Давыдовского городища составляет не менее 15 м. Так же маркируют уровень грунтовых вод прослои солей белого цвета, процентное содержание натрия в которых доходит до 7,5 %.

Гидрогеологические характеристики ландшафтов предопределяют облик почвенного профиля. Пространственная и временная гидрогеологическая неоднородность является основной причиной мозаичности почвенного покрова лесостепи.

Табл. 1 . Содержание в почвах обменных оснований

Номер разреза	Глубина, см	Горизонт	Ca	K	Na	Mg	pH
			ммоль-экв/100г				
1	**0 - 8**	**Ad**	9,75	0,09	0,45	2,57	7,24
	8 - 18	**Ap**	12,31	0,09	0,30	1,59	7,16
	18 - 33	**AE**	16,65	0,08	0,31	1,16	7,24
	33 - 47	**KC**	9,43	0,07	0,24	0,81	7,12
	40 - 70	**прослойка**	13,33	0,09	0,18	0,72	7,35
	70 - 90	**KC2**	8,97	0,08	0,19	0,68	7,20
	90 - 105	**C2**	15,86	0,09	0,30	1,06	6,85
	105 - 145	**KC3**	9,81	0,07	0,24	0,78	7,35
	145 - 160	**C3**	14,64	0,11	0,49	2,50	7,73
	160 - 165	**[A]**	15,72	0,09	0,33	2,27	7,45
	165 - 180	**[AB]**	9,97	0,08	0,27	2,19	7,23
	180 - 195	**[E]**	6,85	0,09	0,69	1,49	6,83
	195 - 202	**[Ad]**	9,47	0,08	0,28	1,46	7,08
	220 - дно	**C**	10,70	0,10	0,48	1,12	7,12
2	**0 - 5**	**Ad**	8,57	0,07	0,63	1,20	-
	6 - 65	**A**	8,16	0,10	0,30	1,90	5,98
	65 - 100	**A**	11,27	0,09	0,35	0,68	5,92
	150 - 165	**C**	15,37	0,11	0,85	1,62	-
3	**0 - 2**	**Ad**	5,06	0,09	0,43	1,65	-
	2 -14	**OE**	4,90	0,10	0,33	0,68	6,94
	14 -30	**[Ap]**	4,63	0,09	0,31	0,78	6,68
	30 - 42	**C**	3,68	0,11	0,17	0,35	6,75
	42 - дно	**D=ORTZ**	7,49	0,25	0,14	0,68	-
4	**25 - 35**	**A**	6,22	0,05	0,13	0,99	7,20
	35 - 65	**C**	3,53	0,06	0,12	0,53	6,76
	65- дно	**ORTZ**	5,81	0,07	0,13	0,94	6,28
5	**0 - 3**	**Ad**	5,53	0,31	0,13	1,25	-
	3 - 34	**A**	8,44	0,16	0,12	0,78	-
	34 - 54	**AE**	11,76	0,11	0,14	0,85	-
	54 - 74	**B**	11,06	2,14	0,13	0,77	6,73
	74 - 100	**BC**	7,22	1,27	0,20	0,76	6,50

Табл. 2. Результаты химического анализа грунтовой воды

Наименование скважины	pH	Общая щеллочность, ммоль-экв/л	HCO_3, мг/л	Жесткость, ммоль-экв/л	Na, мг/л	Ca, мг/л	Mg, мг/л	Fe, мг/л	SO_4, мг/л	Cl, мг/л	NO_3, мг/л	Общая минерализация, г/л
Большие Хомяки	7,3	5,07	309,4	7,3	9,01	101,11	26,93	0,32	84,2	26,8	69,5	0,6
Большие Избищи	6,8	3,24	197,9	5,1	24,53	93,44	7,53	0,10	93,1	31,1	100,3	0,4
Тележенка	7,0	4,75	290,1	5,2	8,49	83,19	12,48	0,16	33,5	8,6	25,0	0,4
Трубетчино	7,1	8,63	526,5	9,8	99,93	152,22	26,27	0,08	115,1	74,2	342,4	1,0

Табл. 3. Общая характеристика кудеяровско-лебедянского водоносного горизонта [2]

Районы и пункты	Кровля, м глубина/абс. отм.	Мощность, м	Уровень, м глубина/абс. отм	Напор,м	Дебит, л/сек	Понижение, м	Удельный дебит, л/сек	Коэффициент фильтрации, м/сутки	Минерализация, г/л	Жесткость общая, мг-экв
Пос. Дубровка, Брянск, Орел (северо-восточная часть Брянской и сев/зап часть Орловской областей)	0-176 / (+202)-(+54)	0-107	+25-119 / 105-226	0-146	0,5-136,0	0,1-40	0,05-79,8	1,5-64,0	0,5-2,2	2,82
Орел, г. Данков (центр. и восточная части Орловской, центральная и западная части Липецкой областей)	0-124 / (+231)-(-101)	0-150	+1-88 / 107-241	0-85	0,01-33,9	0,1-75	0,01-70,0	0,005-153,6	0,1-1,0	1-20
г.Данков. г.Кирсанов, г.Борисоглебск (восточная часть Липецкой, северо-восточная часть Воронежской и Тамбовской областей)	0-360 / (+126)-(-210)	9-150	+16-58 / 87-174	0-310	0,5-90,0	0,2-80	0,01-35,0	0,04-26,0	0,2-32,3	4-11

Табл. 4. Описание буровых скважин

Геологический возраст пород	Название пород	Глубина залегания (конец залегания), м	Мощность пород	Примечание
Большие Избищи 1 – 179,05 м над уровнем море				
Четвертичные отложения	Чернозем	1,21	1,21	Химический состав воды: общая жесткость 16,8 °. Хлориды – 0,021, сульфаты – следы.pH – нейтральный. Прозрачная, бесцветная. Качество воды – вполне пригодно.
	Суглинок бурый	3,05	1,84	
	Глина светло-серая	3,66	0,61	
	Песок бурый мелкий сухой глинистый с небольшим количеством крупного песка	7,31	3,65	
Песчано-глинистая толща неизвестного возраста	Песок светло-серый, мелкий сухой, с небольшим количеством крупного песка	7,61	0,30	
	Песок светло-желтый мелкий	12,80	5,19	
	Глина светлая с ржавым пятном	13,42	0,62	
	Песок светло-желтый мелкий	15,55	2,13	
	Песок желтый мелкий глинистый	18,60	3,05	
	Глина светлая со ржавым пятном	18,90	0,30	
Девонская порода	Известняк светло-зеленоватый	21,33	2,43	
	Глина буроватая с зелеными прослоями	22,25	0,92	
	Глина зеленоватая плотная	23,16	0,91	
	Глина серая плотная	25,85	2,69	
	Глина светло-зеленоватая с бурыми прослоями	26,77	0,92	
	Известняк желто-серый с прослоями серого мергеля	27,69	0,92	
		28,30	0,61	
		29,52	1,22	
		29,82	0,30	
		31,04	1,22	
		31,34	0,30	
		32,55	1,21	
		32,85	0,30	

	Известняк желтоватый с прослоями глины	38,33	5,48	
	Известняк серый крепкий	38,49	0,16	
	Известняк желтоватый	41,13	2,64	Напор водоносного горизонта – 5,90 м. Столб воды в скважине – 12,80 м. Уровень воды от поверхности земли – 38,70 м
	Известняк с прослоями мергеля	43,14	2,01	
	Известняк желтоватый слабый	44,05	0,91	
	Известняк желтоватый крепкий	46,49	2,44	
	Известняк серый крепкий	48,60	2,11	
	Известняк желтоватый	49,91	1,31	
	Известняк желтый глинистый	50,21	0,30	
	Известняк желтоватый мягкий	51,36	1,15	
	Известняк желтоватый крепкий	51,49	0,13	
Геологический возраст пород	Название пород	Глубина залегания (конец залегания), м	Мощность пород	Примечание
Большие Избищи 2 – 162,34 м над уровнем море				
Четвертичные отложения	Чернозем	0,76	0,76	Химический состав воды: общая жесткость 14,1 °. Хлориды, сульфаты – следы.pH – слабощелочной. Прозрачная, бесцветная. Качество воды – вполне пригодно для питья.
	Суглинок темно бурый (вскипает слабо)	2,60	1,84	
	Песок бурого цвета кварцевый неравномерно зернистый, глинистый	4,73	2,13	
	Песок тот же более чистый крупный	5,35	0,62	
Песчаная глинистая толща неизвестного возраста	Глина светло-желтая (вскипает очень слабо)	6,57	1,22	
	Глина серая и белая с прослойками желтоватого песка (не вскипает)	7,12	0,55	
	Песок мелкий желтый	10,94	3,82	
Девонская порода	Пестрые глины (почти не вскипают с кислотой) и известняк	16,13	5,19	
	Известняк слабый глинистый желтый с прослоями руды	18,60	2,47	

	Пестрые глины (почти не вскипают с кислотой) и известняк	25,58	6,98	Напор водоносного горизонта – 3,60 м. Столб воды в скважине – 26,20 м. Уровень воды от поверхности земли –21,93 м
	Известняк крепкий	27,63	2,05	
	Известняк слабый желтоватый глинистый с прослоями мергеля	39,15	11,52	
	Мергель серовато-желтоватый (вскипает слабо)	40,36	1,21	
	Песок желтый мелкий глинистый	42,05	1,69	Напор водоносного горизонта – 18,3 м
	Глина зеленовато-желтая и буроватая (почти не вскипает)	44,10	2,05	
	Известняк крепкий	44,62	0,52	
	Песок желтый мелкий с небольшим количеством крупного с известняком	44,72	0,10	
	Известняк желтый	45,80	1,08	
	Известняк серый крепкий	48,15	2,35	
Геологический возраст пород	Название пород	Глубина залегания (конец залегания), м	Мощность пород	Примечание
	Трубетчино – 149,88 м над уровнем море			
Четвертичные отложения	Суглинок	5,18	5,18	Химический состав воды: общая жесткость 29,7 °. Хлориды – 0,01, сульфаты – 0,1. pH – слабощелочной. Прозрачная, бесцветная. Качество воды – жесткое, непригодно для питья.
Песчано-глинистая толща	Песок желтый	9,75	4,57	
	Песок белый плывун	21,33	11,58	Напор водоносного горизонта – 0 м. Столб воды в скважине – 14,25 м. Уровень воды от поверхности земли –16,33 м
	Глина серая с песком	27,43	6,10	
Девонская порода	Песок с крупным щебнем	27,52	0,09	
	Глина с крупным щебнем	32,30	4,78	
	Известняк	33,43	1,13	
	Известняк крепкий	33,56	0,13	
	Известняк различной плотности	49,90	16,34	
	Известняк с прослоями глины	72,67	22,77	

	Известняк различной плотности	95,31	22,64	
Геологический возраст пород	Название пород	Глубина залегания (конец залегания), м	Мощность пород	Примечание
Тележенка –160,42 м над уровнем море				
Четвертичные отложения	Чернозем	1,51	1,51	Химический состав воды: общая жесткость 17,9 °, pH - нейтральный, прозрачная, бесцветная. Качество воды – удовлетворительное.
	Бурый суглинок (вскипает слабо)	4,75	3,24	
Песчано-глинистая толща	Песок желтый мелкий	9,85	5,10	
	Песчаник табачного цвета рыхлый	11,69	1,84	
	Песчаник железистый	12,31	0,62	
	Глина синевато-серая сланцеватая (не вскипает)	15,06	2,75	
	Песок желтый мелкий	17,49	2,43	
	Глина белая (не вскипает)	18,41	0,92	
Девонская порода	Руда железная глинистая и ожелезненный известняк	20,58	2,17	
	Известняк белый средней твердости	21,74	1,16	
	Известняк серый	23,76	2,02	
	Известняк серый слабый (вода)	24,06	0,30	Напор водоносного горизонта – 0 м. Столб воды в скважине – 50,28 м. Уровень воды от поверхности земли –23,76 м
	Известняк светлый средней твердости	29,95	5,89	
	Известняк светло-зеленоватый	30,87	0,92	
	Известняк светлый мягкой твердости	31,42	0,55	
	Известняк белый мягкой твердости	33,92	2,50	
	Известняк серый тонко слоистый	36,35	2,43	
	Известняк серый крепкий	49,45	13,10	
	Известняк светлый	51,20	1,75	
	Известняк светлый	63,92	12,72	
	Известняк светлый	74,05	10,13	

Литература

1. Гармонов И.В. Грунтовые воды степных и лесостепных районов европейской части СССР и их гидрохимическая зональность. М., 1958.
2. Гидрогеология СССР Том IV Воронежская и смежные области. Геологическое управление центральных районов. М: Недра, 1971, 499 с.
3. Гринь Г.С. Галогенез лессовых почвогрунтов Украины. Киев, 1969.
4. Дубянский А.А. Геология и подземные воды Воронежской области, т. 2. Воронеж, 1939.
5. Ковалева Н., Ковалев И. Гео- и климатогенная эволюция черноземов Тамбовской низменности в голоцене // Почвоведение в России: вызовы современности, основные направления развития: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием к 85-летию Почвенного института им. В.В. Докучаева. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии 2012 Москва, 2012. С. 189 –194.
6. Куделин Б.И., Коробейникова З.А, Лебедева Н.А. Естественные ресурсы подземных вод ЦЧР и методика их картирования. М., 1963.
7. Самойлова Е.М. Луговые почвы лесостепи. М: Изд-во МГУ, 1981, 264 с.
8. Трощий А.И. Почвенно-грунтовые воды Окско-Донской низменности и глубина их залегания. – Почвоведение, 1970, № 3, С.115-159.

Научное издание

Международная молодежная научная школа

Технологии экологического развития

посвященная
Международному году почв 2015

Материалы докладов

Москва, Россия,
Московский государственный университет
имени М.В.Ломоносова,
7 - 8 октября 2015 г.

Сборник материалов размещен на сайте:
http://soilinst.msu.ru

Компьютерная верстка:
Ю.А.Емельяненко, О.А.Лузянина