# МАТЕРИАЛЫ

# ПО

# ИЗУЧЕНИЮ РУССКИХ ПОЧВ

ВЫПУСК 12 (39)

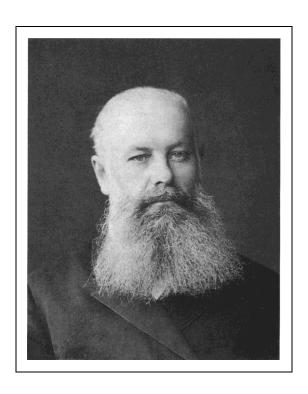


Санкт-Петербург 2020

# МАТЕРИАЛЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ РУССКИХ ПОЧВ

ВЫПУСК 12 (39)

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



Санкт-Петербург 2020 УДК 631.4 ББК 40.3 М34

Редакционная коллегия: Б.Ф. Апарин (председатель), К.А. Бахматова, Н.П. Битюцкий, Г.А. Касаткина, О.В. Романов, А.В. Русаков, А.Г. Рюмин, Е.Ю. Сухачева, С.Н. Чуков, А.А. Шешукова, И.В. Штангеева

#### Рецензенты:

д.с.-х.н., профессор Б.В. Бабиков, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет д.с.-х.н., член корр. РАН, профессор В.А. Рожков, Почвенный институт им. В.В. Докучаева

**Материалы по изучению русских почв. Вып. 12 (39):** Сб. науч. докл. / Под ред. М34 Б.Ф. Апарина. – СПб, 2020. – 184 с.

В двенадцатом выпуске «Материалы по изучению русских почв» (вып. 11 (38) вышел в 2018 г.) представлены доклады участников XXII Докучаевских молодежных чтений «Почва как система функциональных связей в природе» (2019 г., СПб).

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

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

ББК 40.3

Материалы опубликованы при поддержке Автономной некоммерческой организации сохранения и развития научного наследия В.В. Докучаева «Почва – жизнь»

© Санкт-Петербургский государственный университет © Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева, 2020

# ХХІІ ДОКУЧАЕВСКИЕ МОЛОДЕЖНЫЕ ЧТЕНИЯ

А.М. Булышева<sup>1</sup>, М.А. Лазарева<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет

<sup>2</sup>Центральный музей почвоведения имени В.В. Докучаева − филиал ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева»

С 25 февраля по 2 марта 2019 г. в Санкт-Петербургском государственном университете и в ФГБНУ «Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева» (ЦМП им. В.В. Докучаева) состоялась Международная научная конференция XXII Докучаевские молодежные чтения «Почва как система функциональных связей в природе».

Очередные XXII Докучаевские молодежные чтения были посвящены 150-летию открытия «Периодического закона химических элементов» Д.И. Менделеева. Конференция проводилась под эгидой российских организаций: Санкт-Петербургский государственный университет, ФГБНУ «Центральный музей почвоведения им. В.В. Докучаева», АНО «Фонд сохранения и развития научного наследия В.В. Докучаева», Общество почвоведов им. В.В. Докучаева, МОО «Природоохранный союз»; а также при поддержке университета Гамбурга – Universität Hamburg.

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

Заместителем председателя являлась E.Ю. Cyxaue8a, директор ЦМП им. В.В. Докучаева, доцент кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ, к.б.н.

Организаторами были:

- -A.М. Булышева, ответственный секретарь конференции, аспирант кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ, инженер-эколог ООО «Эко-Экспресс-Сервис».
- -M.A. Лазарева, секретарь конференции, аспирант ФГБНУ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», н.с. ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева.
- *М.К.* 3 a x a
- -E.B. Мингареева, аспирант Всероссийского научно-исследовательского института радиологии и агроэкологии, с.н.с. ЦМП им. В.В. Докучаева.
  - Т.К. Мусаев, учитель МОБУ СОШ №2.
  - $-A.\Gamma$ . Рюмин, ст. преп. кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ.
  - Ю.В. Симонова, аспирант кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ.
- Е.А. Шевчук, аспирант кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ, м.н.с. ЦМП им. В.В. Докучаева.
  - Olga Vybornova, PostDoc, Institute of Soil Science, Universität Hamburg.

На конференцию поступило около 250 заявок от молодых ученых, студентов, аспирантов, школьников, преподавателей и учителей из разных городов России (Москва, Санкт-Петербург, Ростов-на-Дону, Иркутск, Пущино, Пермь, Архангельск и др.) и стран зарубежья (Венгрия, Германия, Индия, Италия, Канада, Китай, Малайзия, Египет, Польша, Финляндия, Япония, Иран, Казахстан, Узбекистан). Общее количество участников конференции составило 282 человека, включая оргкомитет и кураторов секций.

На студенческих секциях было зарегистрировано более 150 участников. Активными участниками конференции (около 40 заявок) стали школьники Санкт-Петербурга, Волгограда и других городов России. Для них была организована отдельная секция, на которой обсуждались вопросы роли почвы в экосистеме.

<sup>©</sup> А.М. Булышева, М.А. Лазарева, 2020

К началу конференции была издана русская версия программы Докучаевских молодежных чтений, а также впервые – английская версия программы. Вся печатная продукция была сформирована в папку, которая была выдана каждому участнику конференции.

Открытие конференции состоялось 27 февраля в Актовом зале «здания Двенадцати коллегий» Санкт-Петербургского государственного университета.

Пленарное заседание открыл председатель оргкомитета конференции *Б.Ф. Апарин*. С приветственными словами к молодым юношам и девушкам обратились: президент Международного союза наук о почве (IUSS), профессор *Takashi Kosaki*; директор Института наук о Земле СПбГУ *К.В. Чистяков*; директор ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева *Е.Ю. Сухачева*; заведующий кафедрой почвоведения и экологии почв СПбГУ *А.В. Русаков*.

Серию Заказных докладов открыл доклад профессора *Takashi Kosaki* «Towards wise use of natural resources to enhance Sustainable Development Goals (SDGs) in International Decade of Soils (IDS) Initiative of IUSS». Далее выступил заведующий кафедрой агрохимии СПбГУ, профессор, д.с.-х.н. *Н.П. Битюцкий* с докладом «Роль кремния в адаптации растений к дефициту железа и избытку алюминия». Затем свой доклад «Soil biological fertility and biodiversity: а comparison between conventional and conservative agricultural systems» представил профессор Миланского университета *Marco Acutis*.

Последующие Пленарные доклады были сделаны молодыми учеными, аспирантами из разных регионов России:

- *Енчилик П.Р.* (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва) «Первые данные о поведении Ті, Fe, Mn, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Sr, Pb, Cd в системе «почва растения» катены Центральнолесного заповедника»;
- Коваленко A.B. (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва) «Эмиссия парниковых газов из почв и техногенных поверхностных образований селитебной зоны города (на примере поселка Коммунарка города Москвы)»;
- Торопкина M.A. (СПбГУ) «Использование водоросли Chlorella vulgaris для оценки физиологической активности гуминовых кислот»;
- *Малышева Е.А.* (ФГАОУ ВО Сибирский федеральный университет) «Сезонная динамика активности целлюлозоразложения в почве как индикатор послепожарных изменений в южно-таежных сосняках (Средняя Сибирь)»;
- *Петросян Р.Д.* (ФГБНУ «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр») «Управление содержанием органического углерода в пахотных серых лесных почвах Владимирского Ополья»;
- *Курасова А.О.*, Константинов А.О. (Томский государственный университет) «Разнообразие почв минеральных островов запада средней тайги».

В этом году впервые для участников конференции был организован синхронный перевод Пленарных докладов с русского языка на английский и с английского на русский язык. Велась онлайн трансляция открытия и Пленарного заседания конференции в Актовом зале СПбГУ.

Школьная секция традиционно проходила в Центральном музее почвоведения им. В.В. Докучаева. В этом году заседание проводилось по теме «Почва – сердце экосистемы» и состояло из двух частей.

Первая часть заседания состоялась 26 февраля с 11:00 до 15:00. Всего было заслушано 10 докладов. В секции участвовали преимущественно иногородние участники (Волгоград, Тутаев, Магнитогорск), 1 доклад был представлен школьником из Санкт-Петербурга. Куратором школьной секции была м.н.с. ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева Ю.Р. Тимофеева; председателем – аспирант кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ, вед. специалист ООО «Эко-Экспресс-Сервис» А.М. Булышева.

Вторая часть заседания прошла 27 февраля 2019 г. с 11:00 до 15:00. На секцию было заявлено 12 докладов от участников из школ Санкт-Петербурга (5–9 класс), все были заслушаны. Председателем секции был студент кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ,  $\Gamma$ .Д. Холостов.

На секциях обсуждались вопросы: состава и свойств почв, их изменения в результате хозяйственной и промышленной деятельности человека, а также под действием природных факторов; охраны почв и рационального природопользования; применения различных препаратов для улучшения роста и развития растений.

27 февраля с 14:00 до 17:00 на кафедре почвоведения и экологии почв СПбГУ прошли заседания первых студенческих секций «Таблица Менделеева в почвах» и первая часть заседания секции «Генезис, эволюция и классификация почв».

В студенческих секциях больше всего участников было из Москвы — 81 человек (МГУ им. М.В. Ломоносова, РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, МГТУ им. Н.Э. Баумана, РУДН, ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова). Санкт-Петербург представляли 20 человек (СПбГУ, ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева, СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, ФГБНУ АФИ, РГГМУ, СПбГУГА). Ростов-на-Дону — 22 человека (Южный федеральный университет, ФГБНУ ФРАНЦ). Томск — 11 человек (ТГУ, СибГМУ Минздрава России). Пермь — 10 человек (Пермский ГАТУ, ПГНИУ). Иркутск — 9 человек (ИГУ). Архангельск — 8 человек (САФУ им. М.В. Ломоносова, ФБУ «СевНИИЛХ»). Пущино — 6 человек (ИФХиБПП РАН, ПущГЕНИ). Казань, Нижневартовск, Самара — по 2 человека (К(П)ФУ, ФГБОУ ВО НВГУ, ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России). Единичные участники были из: АГУ (Астрахань); НИУ «БелГУ» (Белгород); ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ» (Владимир), ФГБНУ «АНЦ «Донской» (Зерноград), ФГБОУ ВО «Вятская ГСХА» (Киров), СФУ, (Красноярск), ФГБОУ ВО НГПУ им. К. Минина, (Нижний Новгород), НИМИ им. А.А. Кортунова ДГАУ (Новочеркасск), ФГБНУ ВНИИСПК (Орёл), УИБ УФИЦ РАН (Уфа).

Также среди молодых ученых были докладчики из стран ближнего и дальнего зарубежья: Szent István University (Будапешт, Венгрия), MTA Atomki (Дебрецен, Венгрия), Arid Lands Cultivation Research Institute (Александрия, Египет), Forest Research Institute, (Дехрадун, Индия), Северо-Казахстанский государственный университет имени М. Козыбаева (Петропавловск, Казахстан), Universiti Putra Malaysia (Селангор, Малайзия), Nicolaus Copernicus University in Toruń (Торунь, Польша), СамГУ (Самарканд, Узбекистан), Natural Resources Institute Finland/ Bioeconomy and environment (Турку, Финляндия).

Председателями студенческих секций были аспиранты М.А. Торопкина, Ю.В. Симонова, А.О. Ревунова; студенты кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ М.Е. Фёдорова, А.А. Воеводская, К.А. Лукина, А.А. Аверьянов, Е.В. Сазанова, Г.Д. Холостов, В.А. Игумнова; а также аспиранты и научные сотрудники ЦМП им. В.В. Докучаева Е.В. Мингареева и М.А. Лазарева.

Кураторами секций являлись профессора кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ д.г.н. А.В. Русаков, д.б.н. С.Н. Чуков, д.с.-х.н. А.И. Попов; доценты: к.б.н. Н.Н. Федорова, к.б.н. Г.А. Касаткина, к.б.н. О.В. Романов; стар. преп. к.с-х.н. А.А. Шешукова; научный сотрудник И.В. Штангеева; доцент каф. биогеографии и охраны природы, к.с-х.н. К.А. Бахматова; профессор кафедры агрохимии СПбГУ, д.б.н. Н.П. Битюцкий, а также доцент, к.б.н. К.Л. Якконен; в.н.с. ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева Е.В. Пятина.

По результатам секционных заседаний председателями и кураторами секций определялись лучшие научные выступления, а отмеченные доклады рекомендовались к опубликованию в виде статей в периодическом издании СПбГУ и ЦМП им. В.В. Докучаева «Материалы по изучению Русских почв» (выпуск 12 (39)).

На секции «*Таблица Менделеева в почвах*» (председатель – магистрант М.Е. Федорова, куратор – доцент Н.Н. Федорова) было заслушано 13 докладов от участников из Санкт-Петербурга, Перми, Пущино, Ростова-на-Дону, Москвы, Архангельска. Обсуждались вопросы элементного и минералогического состава почв, его пространственного распределения и изменения при внесении различных мелиорантов и химикатов.

Особенно интересным, как, по мнению самих участников, так и оргкомитета конференции стал доклад А.В. Даньшиной (ИФХиБПП РАН, ПущГЕНИ) «Возможность накопления тяжелых металлов в почве и растениях при использовании в качестве мелиоранта пиролизованного осадка сточных вод», которому было присуждено 1 место.

2 и 3 места заняли доклады В.А. Чаплыгина (ЮФУ) «Содержание тяжелых металлов в растениях тростника южного (*Phragmites australis* Cav.) в зоне техногенного загрязнения» и И.В. Данилина (МГУ им. М.В. Ломоносова) «Формы соединений калия ризосферы клена остролистного в подзолистой почве».

Рекомендации к опубликованию получили также доклады Т.С. Дудниковой (ЮФУ) «Влияние физико-химических свойств почв на содержание полициклических ароматических углеводородов в импактной зоне Новочеркасской ГРЭС» и А.А. Аверьянова (СПбГУ) «Оценка интенсивности аккумуляции тяжелых металлов техническим сортом винограда Melon de Bourgogne».

На секции *«Генезис, эволюция и классификация почв»* (председатель – студент А.А. Воеводская, куратор – доцент Г.А. Касаткина) было заслушано 9 докладов от участников, в основном, из Москвы, а также из Иркутска, Перми, Ростова-на-Дону. Рассматривались вопросы почвенного разнообразия хвойных и лиственных лесов, лугов; генезиса подзолистых, аллювиальных, каштановых почв, черноземов, а также постпирогенных почв и залежных земель.

1, 2, 3 места разделили студенты МГУ им. М.В. Ломоносова: А.А. Воробьева с докладом «Изменение биотита в результате четырехлетнего пребывания в горизонте AEL палевоподзолистой почвы»; В.М. Пискарева с докладом «Постпирогенные почвы национального парка «Земля леопарда» и заповедника «Кедровая падь»; и Ю.А. Головлева с докладом «Разнообразие таёжных суглинистых почв на террасах крупных рек Сибири». Рекомендацию к опубликованию получил также доклад Е.Э. Денисовой (МГУ им. М.В. Ломоносова) «Почвенное разнообразие лугов юго-восточной части охранной зоны ЦЛГПБЗ».

26 и 27 февраля были проведены обзорные экскурсии в ЦМП им. В.В. Докучаева и в «Музей-архив Д.И. Менделеева», который расположен в «здании Двенадцати коллегий» Санкт-Петербургского государственного университета. Экскурсии были проведены как на русском, так и на английском (для иностранных участников конференции) языках.

28 февраля на кафедре почвоведения и экологии почв СПбГУ состоялись заседания студенческих секций:

- 1. Физические процессы в почвах;
- 2. Почва память;
- 3. Исследование органического вещества почвы;
- 4. Современные технологии в исследовании почв;
- 5. Генезис, эволюция и классификация почв;
- 6. Свойства и процессы антропогенно преобразованных почв.

Секции «Минеральное питание растений» и первая часть заседания секции «Свойства и процессы антропогенно-преобразованных почв» прошли на кафедре агрохимии СПбГУ.

На секции «Физические процессы в почвах» (председатель – аспирант Е.В. Мингареева, куратор – доцент Н.Н. Федорова) было представлено 9 докладов от участников из Москвы, Ростова-на Дону, Иркутска, Нижневартовска, Нижнего Новгорода, Перми. Обсуждались вопросы исследования и изменения под действием природных и антропогенных факторов физических (гранулометрический состав, поровое пространство, водопроницаемость) и гидрофизических свойств почв; была дана агроэкологическая оценка свойств почв.

1 место: А.И. Барбашев (АБиБ ЮФУ, Ростов-на-Дону) «Гранулометрический состав почв, определенный методом лазерной дифракции, при модельном загрязнении бенз(а)пиреном»;

2 место: Вырыпаева К.В., Трухин С.Д. (ФГБОУ ВО Пермский ГАТУ) «Магнитные сферулы в почвах пригородных лесов г. Перми»;

3 место: Мартынова Д.О. (ФГБОУ ВО ИГУ, Иркутск) «Процессы водной эрозии в Приольхонье»

Рекомендации к опубликованию:

Козлов А.В. (ФГБОУ ВО НГПУ им. К. Минина, Нижний Новгород) «Показатели интенсивности буферности и кислотно-основного равновесия дерново-подзолистой почвы при ее взаимодействии с бентонитом».

Мигдисова И.А., Абросимов К.Н. (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва) «Томографическое исследование порового пространства почв: взаимосвязь томографических показателей и физических свойств почв».

Токмакова В.С. (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва) «Изменение гидрофизических свойств почв Усинского района республики Коми под комплексным влиянием различных условий (загрязнение углеводородами нефти, водный режим, растительный покров)».

На секции «Исследование органического вещества почвы» (председатель – аспирант М.А. Торопкина, куратор – проф. С.Н. Чуков) было представлено 13 докладов от участников, большей частью, из Москвы, а также других городов России (Пермь, Сибирь, Санкт-Петербург, Самара) и зарубежья (Египет). Обсуждались вопросы изменения группового состава гумуса, свойств гуминовых кислот, содержания водорастворимых органических веществ, применения бактериальных препаратов; методы исследования органического вещества почв; была дана экологическая оценка распределения органического вещества, а также оценка влияния длительного применения удобрений на гумусовое состояние почвы.

1 место: Ильичев И.А. (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва) «Связанные с почвами экосистемные услуги Никитского ботанического сада, г. Ялта».

2 место: Ускова Н.В. (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва) «Оценка влияния длительного применения удобрений на гумусовое состояние почвы, структуру и качество урожая бессменно возделываемой озимой ржи».

3 место: Шацкая П.Р. (ФГБОУ ВО СамГМУ Минздрава России, Самара) «Репаративная активность субстанции на основе пелоидов».

На секции «Минеральное питание растений» (председатель – магистрант К.А. Лукина, куратор – проф. Н.П. Битюцкий) было заслушано 6 докладов от участников из различных городов России (Москва, Санкт-Петербург, Ростов-на-Дону, Орел). Обсуждались вопросы применения современных методов исследования и обработки почв для защиты растений и повышения биологической активности почв.

По результатам секционных заседаний были выделены и рекомендованы к опубликованию доклады: Ю.Р. Искандировой (СПбГУ) «Влияние биоугля и сидерата на трансформацию минеральных форм азота в почве, загрязненной кадмием» (1 место); Я.И. Ильченко (ЮФУ) «Оценка эффективности применения минеральных удобрений под озимую пшеницу при нулевой технологии возделывания» (2 место); А.А. Мельниковой (МГУ им. М.В. Ломоносова) «Фосфатный режим дерново-подзолистой почвы при интенсивном применении агрохимических средств» (3 место).

На секции «Свойства и процессы антропогенно-преобразованных почв» (председатель – магистрант А.А. Аверьянов, куратор – доцент К.Л. Якконен) было заслушано 10 докладов от участников из различных городов России (Санкт-Петербург, Москва, Архангельск, Зерноград, Ростов-на-Дону) и зарубежья (Финляндия).

Заседание секции было открыто заказным докладом «Can conservation agriculture store organic carbon in soil?», который вызвал активное обсуждение и дискуссию среди участников и гостей конференции. Также обсуждались вопросы: пищевого режима и применения пестицидов, бактериальных удобрений, гуминовых препаратов при выращивании культурных растений; ферментативной активности почв; влияния почвенных условий на рост и развитие растений; снижения влияния токсикоза почв на развитие семян.

По результатам секционного заседания были выделены и рекомендованы к опубликованию доклады студентов МГУ им. М.В. Ломоносова: А.А. Глебовой «Снижение зараженности проростков озимой пшеницы фузариозом при добавлении детритной субсидии: лабораторный эксперимент» (1 место); Р.В. Сабировой «Колонизация корней растений альпийских экосистем корнями арбускулярной микоризы» (2 место); И.В. Горепекина «Снижение влияния аллелопатического токсикоза почв на развитие семян зерновых культур» (3 место).

На секции «Современные технологии в исследовании почв» (председатель – аспирант Ю.В. Симонова, куратор – стар. преп. А.А. Шешукова) было представлено 15 докладов от участников, большей частью, из Москвы, а также из Ростова-на-Дону и Белгорода. Обсужда-

лись вопросы: исследования почвенного микробиома и магнитной восприимчивости почв, применения ГИС-технологий и спутниковых данных Landsat, методов ионометрии и рентгенофлуоресцентного анализа, почвенной томографии и др. в почвенных исследованиях.

1 место: Кравченко Е.И. (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва) «Применение методов ионометрии и рентгенофлуоресцентного анализа для оценки засоления почв».

2 место: Крючкова М.О., Воробьева Е.А., Иванова А.Е., Чепцов В.С., Павлов А.К. (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва) «Как облучение высокоэнергетичными электронами (ВЭЭ) влияет на микробиоту пустынных почв».

3 место: Шмелёв Л.А. (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва) «Использование среды R для визуализации и пространственного анализа почвенных данных».

Рекомендации к опубликованию:

Ильичева П.И. (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Москва) «Интегральная оценка окислительно-восстановительного состояния почв».

Рудик Н.И. (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва) «Тенденции изменения почв Белгородской области, выявленные на основе спутниковых данных LANDSAT».

Фомичева Д.В. (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва) «Сравнительная оценка рассчитанных по WATEM/SEDEM темпов эрозионно-аккумулятивных процессов с данными почвенно-морфологического и радио-цезиевого методов».

На секции «Почва – память» (председатель – аспирант А.О. Ревунова, куратор – проф. А.В. Русаков) было представлено 11 докладов от участников из разных городов России (главным образом, из Санкт-Петербурга и Москвы) и зарубежья (Венгрия). Обсуждались вопросы палеопочвенных, палеопалинологических и палеоэкологических исследований почв; была проведена реконструкция условий формирования почв.

1 место: Фёдорова М.Е. (СПбГУ, Санкт-Петербург) «Свойства почв хроноряда археологического памятника Забелье 1 (Восток Ленинградской области)».

2 место: Смирнов М.В., Козырев А.С., Стерхова И.В. (ФГБОУ ВО ИГУ, Иркутск) «Раннесартанский солифлюкций на примере ГАО «Туяна» (республика Бурятия)».

3 место: Ревунова А.О. (СПбГУ, Санкт-Петербург) «Особенности погребённых раннеплейстоценовых почв Лорийской котловины, Армения».

Рекомендации к опубликованию:

Пинской В.Н. (ПущГЕНИ, Пущино) «Периоды почвообразования и осадконакопления в долинах малых рек Предкавказья и в степной зоне».

Решетникова Р.А., Ковалева Н.О. (МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва) «Почвы южного берега Крыма (на примере почв мыса Мартьян) как источник палеоэкологической информации».

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

- 1. Генезис, эволюция и классификация почв;
- 2. Свойства и процессы антропогенно преобразованных почв.

В заседании секции «Генезис, эволюция и классификация почв» (председатель – аспирант М.А. Лазарева, куратор – доцент К.А. Бахматова) участвовали 24 человека (из них 15 слушателей). Всего было заслушано 9 докладов. Были участники из Москвы, Перми, Нижневартовска, Иркутска, а также из стран зарубежья (Индия, Польша). Рассматривались вопросы изменения морфолого-генетических характеристик, а также физических, химических, биологических свойств разных типов почв (торфяных, горных, засоленных, таежных).

По итогам секции были выделены и рекомендованы к опубликованию доклады: К.Д. Толстыгина (МГУ им. М.В. Ломоносова) «Экологическая оценка влияния почвенных характеристик на состояние древостоя ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева» (1 место); Л.Н. Улановской (ИГУ) «Водоросли и цианобактерии засолённых почв Приольхонья» (2 место); А.Р. Сафина (Нижневартовский государственный университет) «Гидрологический режим почв среднетаежной подзоны Западно-Сибирской равнины» (3 место).

Отдельно в связи с высоким уровнем научных исследований были выделены доклады иностранных участников: 1 место — участница из Польши (Nicolaus Copernicus University) Michalak Joanna; 2 место — участница из Индии (Forest Research Institut) Subramanian Sivaranjani. К опубликованию был рекомендован также доклад участницы из РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева М.В. Тихоновой «Экологическая оценка влияния почвенных характеристик на состояние древостоя ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева».

В заседании секции «Свойства и процессы антропогенно преобразованных почв» (председатели – Г.Д. Холостов, В.А. Игумнова; кураторы – проф. А.И. Попов, н.с. И.В. Штангеева) было заслушано 18 докладов от участников из разных городов России (Москва, Иркутск, Санкт-Петербург) и зарубежья (Малайзия). На секции выступали студенты не только почвенных специальностей, но также студенты МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Тематика докладов была широкой. Рассматривались вопросы изменения свойств и качеств антропогенно-преобразованных почв, исследования распределения радиоактивных изотопов в почвах, определения целлюлозолитической активности в сукцессии, изучения дорожной пыли и городских почв, создания компьютерно-информационных продуктов для нужд почвоведения, а также деградации, агроэкологической оценки и агроресурсного потенциала почв.

Особенно интересными, по мнению, как участников, так и оргкомитета стали доклады: Ю.Р. Тимофеевой (ЦМП им. В.В. Докучаева) «Оценка агроресурсного потенциала почв Ленинградской области» и О.Н. Ромзайкиной (РУДН) «Оценка экосистемных сервисов антропогенных почв» (1 место). Не с меньшим интересом были восприняты работы: Н.А. Александрова (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева) «Исследование антропогенно измененных почв, на примере опытных участков Экологического стационара РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева», В.А. Едемской (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева) «Функциональноэкологическая оценка создаваемых конструктоземов для газонных экосистем» (2 место); а также доклады Е.А. Скобликовой (ИГУ) «Изменение почвенных свойств при пастбищной нагрузке в Рицинском реликтовом национальном парке (республика Абхазия)» и Р.С. Решетова (МГТУ им. Н.Э. Баумана) «Моделирование состава почвенно-грунтовой смеси для объектов озеленения Московского региона» (3 место). Рекомендации к опубликованию получили также доклады А.Н. Майоровой (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева), Е.А. Трошиной (ИГУ), В.С. Чернявского (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева).

Помимо секций с гласными докладами традиционно была организована стендовая секция (председатель – студент Е.В. Сазанова, куратор – в.н.с. Е.В. Пятина). Было заслушано 8 докладов от участников из городов России (Москва, Санкт-Петербург, Ростов-на-Дону, Архангельск), а также стран зарубежья (Польша, Венгрия). Были затронуты следующие темы: оценка органического углерода конструируемых почвогрунтов; влияние биоугля на активность микробиологических процессов в почве, гуминовых препаратов на структурообразование, строительства газопровода на изменение водного режима почв, загрязнения на ферментативную активность почв.

В ходе обсуждения были выделены и рекомендованы к опубликованию доклады: Sandor Gabor (Szent István University) «Імраст of land use on the soil properties in urban environment» (1 место), А.В. Каплан «Влияние биоугля на активность микробиологических процессов в агродерново-подзолистых почвах» (2 место), Г.М. Таштанова «Влияние гуминового препарата Віо-Дон на структурообразование» (3 место). Также к опубликованию был рекомендован доклад Д.А. Ачкасова (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева).

1 марта традиционно состоялось посещение Смоленского кладбища и возложение цветов на могилы основателя науки о почве В.В. Докучаева, его супруги Анны Егоровны и ее матери А.И. Синклер.

Закрытие конференции состоялось 2 марта. С подведением итогов выступили: председатель оргкомитета конференции Б.Ф. Апарин; ответственный секретарь конференции А.М. Булышева; а также оргкомитет конференции и председатели секций. Был отмечен высокий методический уровень выполненных участниками исследований и актуальность затронутых

тем, а авторы лучших докладов награждены памятными подарками. Докладчикам Пленарного заседания, помимо почетного шанса выступить на открытии конференции перед всеми участниками, были вручены дипломы, памятные подарки и было предложено представить научные доклады для публикации в сборнике «Материалы по изучению русских почв». Также всем докладчикам были вручены сертификаты участников «Докучаевских молодежных чтений».

По предложению оргкомитета участники единогласно постановили:

- 1. Выразить благодарность:
- сотрудникам Отдела связи с общественности СПбГУ за организацию и техническую поддержку проведения Пленарного заседания в Актовом зале СПбГУ.
- сотрудникам «Музей-архив Д.И. Менделеева» за организацию и проведение экскурсий для участников Чтений.
- Президенту АНО «Фонд сохранения и развития научного наследия В.В. Докучаева» В.Н. Батурину за финансовую поддержку конференции.
- Членам молодежного оргкомитета, а также кураторам секций за организацию и проведение XXII Докучаевских молодежных чтений.
- 2. Продолжить традицию проведения ежегодных «Докучаевских молодежных чтений» и просить кафедру почвоведения и экологии почв СПбГУ и ФГБНУ ЦМП им. В.В. Докучаева организовать 23-е Докучаевские молодежные чтения в 2020 году.
- 3. Подвести итоги конференции и разместить информацию на сайтах: «Докучаевских молодежных чтений» (http://www.dokuchaevskie.ru/); кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ (http://soil.spbu.ru/); Центрального музея почвоведения им. В.В. Докучаева (http://музей-почвоведения.рф/); Почвовед.рф (http://Почвовед.рф). А также в социальных сетях: ВКонтакте, «Молодежные Докучаевские чтения» (https://vk.com/club2152594); Facebook, «Докучаевские молодежные чтения» (https://www.facebook.com/groups/299055950621291/), Instagram, «dokuchaevskie.spb» (https://www.instagram.com/dokuchaevskie.spb/); ВКонтакте, «На Почве» (https://vk.com/onsoil).

В этом году с целью улучшения организации конференции впервые был проведен интернет-опрос всех ее участников по итогам XXII Докучаевских молодежных чтений.

# XXII DOKUCHAEV CONFERENCE FOR YOUNG SCIENTISTS

A.M. Bulysheva<sup>1</sup>, M.A. Lazareva<sup>2</sup>

St.Petersburg State University

<sup>2</sup>Central Soil Museum by V.V. Dokuchaev FRC V.V. Dokuchaev Soil Science Institute

The International Scientific XXII Dokuchaev conference for young scientists «Soil as a System of Functional Connections in Nature» took place from February 25 to March 2, 2019 in the St. Petersburg State University and in the Central Soil Museum by V.V. Dokuchaev. The conference was devoted to the 150th anniversary of the discovery of the Mendeleev periodic law of chemical elements. Soil diversity issues, changes in soil properties and processes, in soil elemental and mineralogical composition under the influence of various forms of anthropogenic impact were considered. Various classification approaches to the diagnosis of anthropogenically modified soils were given. Also issues of soil protection, ecological sustainability of ecosystems and environmental safety, soil pollution with heavy metals, radioactive elements, oil products, etc.; issues of mineral nutrition of plants and the effectiveness of fertilizers to increase soil fertility, the use of various drugs to increase seed germination and plant productivity, the use of various methods and GIS technologies in soil research were considered. Analysis and forecasting of the impact of urbanization on the quality and condition of soils and also ecological and agroecological assessment of soils and lands were given.

*Keywords*: Dokuchaev conference, young scientists conference.

# ИССЛЕДОВАНИЕ АНТРОПОГЕННО ИЗМЕНЕННЫХ ПОЧВ НА ПРИМЕРЕ ОПЫТНЫХ УЧАСТКОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СТАЦИОНАРА РГАУ-МСХА ИМЕНИ К.А. ТИМИРЯЗЕВА

# Н.А. Александров

## ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва

Городское сельское хозяйство в наше время получает все большее распространение, однако данная тенденция сопряжена с рядом экологических рисков. В настоящей работе представлены результаты мониторинговых исследований почвенного покрова на Экологическом стационаре РГАУ-МСХА (4 га). Были обнаружены почвы с погребенным гумусовым горизонтом, зафосфачивание одного из участков, превышения по содержанию тяжелых металлов не было обнаружено.

Ключевые слова: урбанизация, внутрипольное варьирование, агроэкологическая оценка.

#### ВВЕДЕНИЕ

Близкая к критической ситуация с экологическим состоянием земель обусловливает необходимость активных исследований качества городских и техногенно измененных почв, решение методических вопросов их оценки и разработку рациональных технологий восстановления приемлемого состояния загрязненных и деградированных земель [4]. Вместе с этим растет понимание особой актуальности региональных и локальных экологических исследований, направленных на снижение экологического риска и повышение экономической эффективности использования земель. Современная система оценки почв, земель и землепользования находится в стадии активного предложения и верификации различных вариантов и технологий, в разной степени принимающих во внимание те или иные функции и качества почв. Это обусловлено как широким спектром прикладных задач, так и высокой сложностью объекта оценки, что подразумевает практически неограниченное число различных функционально-экологических моделей оценки разной степени детализации [5].

Агроэкологическая оценка антропогенно преобразованных почв также актуальна ввиду развития городского сельского хозяйства. Городское и пригородное сельское хозяйство (UPA) можно определить, как выращивание растений и выращивание животных в городах и вокруг них. Данное направление активно поддерживает FAO, однако, городское сельское хозяйство несет в себе ряд экологических рисков, связанных с использованием загрязненных почв, пестрота почвенного покрова и излишнее внутрипольное варьирование агрохимических характеристик, использование химических средств защиты растений внутри городской среды [7].

Исследования, проводимые на Экологическом стационаре РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, вследствие вышесказанного, играют большую роль в экологизации городского сельского хозяйства, так как в настоящее время данная проблематика слабо изучена.

Цель настоящей работы состоит в изучении урбанизированных почв Экологического стационара РГАУ-МСХА для их наиболее эффективного использования в будущих исследованиях.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследований послужили урбанизированные почвы Экологического стационара РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Рассматриваемая территория, более 30-ти лет назад использовалась под пастбище, а затем как залежь. На данный момент территория стационара представляет собой 4 поля: Западное, Южное, Восточное и Центральное. Антропогенная нагрузка заключалась преимущественно при строительстве жилых домов неподалеку от участков, а также обустройстве мелиоративных каналов в 1980-х годах [6].

© Н.А. Александров, 2020

\_

Западный участок на протяжении длительного времени обильно затапливался, что привлекло внимание зарубежных коллег из организации WetLands, на данный момент там проводятся исследования по выращиванию влаголюбивых культур. В настоящее время произрастают только саженцы ивы пурпурной (Salix purpurea).

Центральное и Восточное поле являются наиболее подобными по уровню окультуривания, что выражается в схожем почвенном покрове, содержании в почве гумуса, NPK и другим показателям. На данных участках нами проводились совместные опыты с нашим стратегическим партнером МХК «ЕвроХим», с целью изучения влияния различных экологических биопрепаратов на продуктивность яровой пшеницы (*Triticum aestivum*) и ярового ячменя (*Hordeum vulgare*).

Южное поле подверглось наибольшему антропогенному воздействию, что нашло отражение в результатах агрохимических показателей. Здесь также проводились совместные работы с МХК «ЕвроХим» с идентичным набором культур.

Полевые методы исследований включали в себя морфологическое описание почвенных разрезов, обследование почв с помощью пенетрометра для выявления плужной подошвы и отбор биомассы зерновых культур с делянок  $0.5 \times 0.5$  м для анализа влияния параметров внутрипольного варьирования на продуктивность культур.

Анализы агрохимических и агроэкологических показателей почв включали: pH водной вытяжки (по ГОСТ 26423-85), подвижный фосфор по Чирикову (по ГОСТ 26204-91), обменный калий по Чирикову (по ГОСТ 26204-91), аммонийный азот (по ГОСТ 26489-85), нитратный азот (по ГОСТ 26488-85), тяжелые металлы (Pb, Zn, Cu) согласно Методическим указаниям по определению ТМ в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства и др.

Для изучения рельефа и потоков миграции использовалось современное оборудование точного позиционирования Stonex X9 GNSS III, полученные данные были представлены в виде цифровых карт и картограмм в программном обеспечении QGIS 3.2 и Surfer 15.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В первую очередь нами были составлены цифровые карты рельефа каждого участка, с обозначенными на них стрелочками направлениями водных миграционных потоков (рис. 1, 2). Зная эти направления, мы можем предположить в каких точках будет происходить аккумуляция подвижных форм элементов питания.

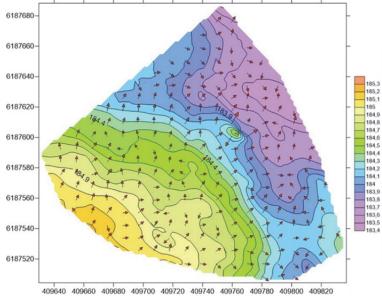


Рисунок 1. Карта рельефа Южного поля Экологического стационара РГАУ-МСХА.

Можно заметить, что Южное поле наиболее неоднородное по рельефу, а в почти в центре участка имеется микропонижение.

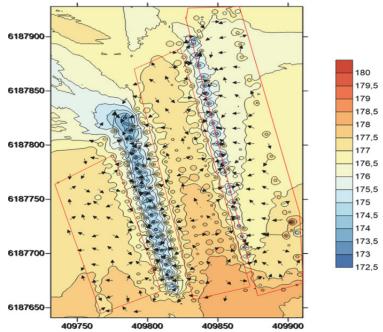


Рисунок 2. Карта рельефа Западного, Центрального и Восточного полей Экологического стационара РГАУ-МСХА.

Западное, Центральное и Восточное более однородны по рельефу, также можно заметить, что если на Центральном и Восточном участках направления миграции направлены в сторону мелиоративных каналов, то на Западном поле большая часть потоков направлена от канала.

Для описания почвенного покрова на Западном поле была заложена траншея длиной 20 м и на глубину 1.5 м от мелиоративного канала и почти до середины участка. В части траншеи что ближе к каналу почвенный профиль характеризуется наличием оглеенного иллювиального горизонта и погребенными гумусовым и иллювиально-железистым горизонтами (рис. 3)

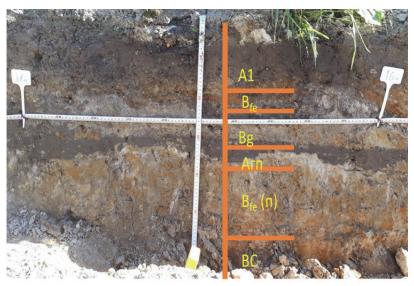


Рисунок 3. Профильное отображение траншеи на Западном поле Экологического стационара.

Однако в начале траншеи новообразованный гумусовый горизонт объединяется с погребенным, образуя, таким образом, мощный гумусовый горизонт мощностью до 33 см и содержанием гумуса до 3 % (рис. 4). Данная ситуация вызвала интерес у коллег из США и по нашему общему мнению формирование такого горизонта вызвано полугидроморфными процессами и в результате работы корневой системы растительного сообщества. По наблюдени-

ям до середины лета наблюдалось затопление участка, затем по мере высыхания почвы проявлялся бурный рост растений. Общая площадь территорий с сросшимся гумусовым горизонтом, по результатам картирования, составляет 500 м<sup>2</sup>.

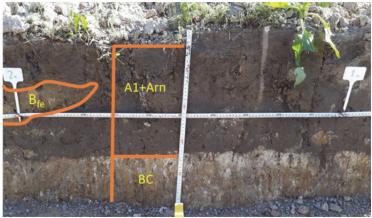


Рисунок 4. Профильное отображение соединения погребенного и нового гумусового горизонта.

Такое явление вызвал интерес у коллег из WetLands, поэтому для совместного проекта нами был определен широкий спектр показателей (табл. 1).

Таблица 1. Результаты агрохимического анализа Западного поля Экологического стационара.

No	Показатели	Среднее значение
1	Гумус, %	3.0
2	Hг, ммоль/100 г	2.1
3	рН солевой	5.8
4	рН водный	6.4
5	Нитраты, мг/кг	25.8
6	Обменный аммоний, мг/кг	83.8
7	Сумма поглощенных оснований, мг/кг	2.4
8	Фосфор подвижный по Кирсанову, мг/кг	184.5
9	Фосфор подвижный по Чирикову, мг/кг	49.6

Также было определено содержание подвижных форм тяжелых металлов, этот показатель для них достаточно важен при выращивании влаголюбивых культур для последующего брикетирования их биомассы и использования ее качестве топлива [2].

Содержание подвижных форм Pb, Zn, Cu в 2017 году составило 1.76 мг/кг, 0.2 мг/кг и 0.42 мг/кг соответственно. Приведенные данные требуются в проверке и уточнения в профильных лабораториях.

На остальных трех участках почвенный покров представлен урбанизированными агродерново-подзолистыми почвами с погребенным гумусовым горизонтом. Стоит отметить, что также встречаются классические дерново-подзолистые почвы и урбаноземы, однако они встречаются гораздо реже и на территориях, где опыты закладываются в меньших масштабах. Урбанизированные агродерново-подзолистые почвы характеризуются наличием мощного горизонта ТСН (до 50 см), маломощным гумусовым горизонтом (до 10 см), нейтральным и близким к нейтральному рН, а также зафосфачиванием на Южном участке. Содержание гумуса в погребенном горизонте составляет 2.8 % (табл. 2).

Близкие к нейтральной значения рН можно объяснить миграцией и аккумуляцией компонентов противогололедных смесей, которые попадают на поля с ближайших территорий [1].

В современном землепользовании имеет большое значение учет внутрипольного варьирования почвенных характеристик: рельеф местности, структура почвенного покрова, рН, обеспеченность азотом, калием, фосфором, локальное переуплотнение участка и т.д. В данном конкретном случае рассмотрим внутрипольное варьирование подвижного фосфора по Кирсанову Южного поля (рис. 5). Таблица 2. Результаты агрохимического анализа профиля урбанизированной агродерново-подзолистой почвы с погребенным гумусовым горизонтом.

	F						
$N_{\underline{0}}$	Показатели	Горизонт					
		Апах	TCH	Апг	EL'g		
1	Гумус, %	1.8	1.0	2.8	0.7		
2	рН сол	6.9	6.8	5.8	5.5		
3	Нитраты, мг/кг	2.6	17.2	2.8	0.0		
4	Обменный аммоний, мг/кг	17.1	1.3	11.7	14.1		
5	Фосфор подвижный по Кирсанову, мг/кг	940.0	119.2	185.0	79.6		

Можно заметить, что в среднем содержание  $P_2O_5$  не изменилось, однако стоит отметить серьезное снижение диапазона величин. То есть, если в 2017 г. минимальные значения кислотности локально доходил до 250 мг/кг, а максимальное до 1400 мг/кг, то в 2018 г. минимальное значение равно 300 мг/кг, а максимальное 920 мг/кг. Также отмечается снижение количества участков с локальным отклонением по сравнению с 2017 г, те же участки, которые выделяются на общем фоне в дальнейшем будут исследоваться углубленно. Настолько большое зафосфачивание, по нашему мнению, объясняется следующими факторами: 1. Неверный выбор вытяжки, т.е. вытяжка по Чирикову, ввиду нейтральной реакции рН, может дать более точные результаты, чем стандартная вытяжка Кирсанова для классических дерново-подзолистых почв; 2. Различные группы фосфатов, входящие в состав строительных материалов под действием корневых выделений растительности, переходят в подвижные формы из горизонта ТСН [3].

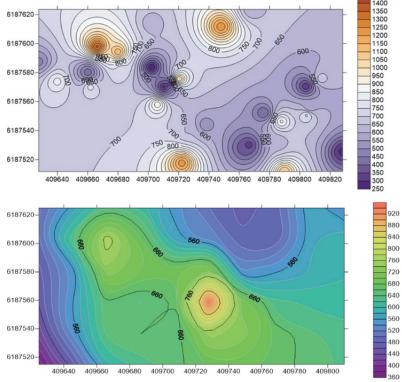


Рисунок 5. Фрагмент картосхемы Южного поля Экологического стационара РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева внутрипольного варьирования подвижного фосфора по Кирсанову (мг/кг): вверху – за 2017 г., внизу – за 2018 г.

В результате анализа нескольких подобных картосхем по другим показателям, мы выделили участок, на котором отчетливо наблюдалась разница в биомассе пшеницы. На делянке наблюдалось как угнетение, так и более активный прирост. Точечный анализ участка выявил следующие закономерности: угнетение связано с наличием плужной подошвы (300 PSI по обследованию пенетрометром), в результате чего корневая система не развивалась нормально, маломощным пахотном горизонтом (6 см) и дисбалансом элементов питания (избыток фосфора, недостаток аммонийного азота), на благоприятном же участке мы наблюдали обратную картину, т.е. низкая плотность (170 PSI), более мощный пахотный горизонт (10 см) и большее содержание аммонийного азота. Средняя урожайность по опытам составила 20 ц/га, таким образом, на угнетенном участке было потеряно до 30 % урожая (собрано 14 ц/га), а на благоприятном получена прибавка в 25 % (собрано 25 ц/га). Результаты в очередной раз подтверждают необходимость учета внутрипольного варьирования для оптимизации землепользования.

Динамика агрохимических показателей на Центральном и Восточном участках выражена куда слабее, однако наше внимание привлекает увеличение содержание подвижного фосфора на Восточном поле: в 2017 г. содержание составило 103.71 мг/кг, а в 2018 г. 183.3 мг/кг. Данное явление также станет предметом последующих исследований.

## ВЫВОДЫ

- 1. На территории Западного поля обнаружены почвы с погребенным гумусовым горизонтом, при этом на площади около  $500 \,\mathrm{m}^2$  новообразованный гумусовый горизонт соединяется с погребенным. Описание пяти почвенных разрезов подтверждает, что преобладают на участках урбанизированные агродерново-подзолистые почвы.
- 2. Удалось сократить диапазон значений ряда параметров внутрипольного варьирования, например, если на Южном поле в 2017 г. минимальные значения кислотности локально доходил до 250 мг/кг, а максимальное до 1400 мг/кг, то в 2018 г. минимальное значение равно 300 мг/кг, а максимальное 920 мг/кг. Подобные значения свидетельствуют о зафосфачивании почв в результате антропогенной деятельности.
- 3. В результате исследования параметров внутрипольного варьирования была выявлена вариабельность продуктивности культур: так, на угнетенных участках терялось до 30 % урожая, на благоприятных же наблюдался прирост в 25 %.
- 4. На Центральном и Восточном поле сильнее всего выражена динамика подвижного фосфора (99.4 мг/кг на Центральном в 2017 и 38.2 мг/кг в 2018, когда на Восточном 103.71 мг/кг в 2017 и 183.3 мг/кг в 2018 г.).

# ЛИТЕРАТУРА

- 1. Забелина О.Н., Феоктистова И.Д. Сравнительный анализ экологического состояния почвы урбанизированных территорий // Фундаментальные исследования. -2014. -№ 9 (часть 11) С. 2456–2459.
- 2. *Панов В.В. и др.* Выращивание и использование биомассы тростника на обводняемых выработанных торфяных болотах (материалы научно-экспериментальной работы). Тверь: «ООО Издательство «Триада», 2016. 160 с.
- 3. *Попова Л.Ф.*, *Никитина М.В.* Кумуляция, миграция и трансформация фосфора в почвах города Архангельска // Фундаментальные исследования. -2014. -№ 9 (часть 1) C. 70-74
- 4. *Черников В.А.*, *Алексахин Р.М.*, *Голубев А.В. и др.* Агроэкология. Под ред. Черникова В.А., Чекереса А.И. М.: Колос, 2000. 536 с.
- 5. *Черногоров А.Л., Чекмарев П.А., Васенев И.И., Гогмачадзе Г.Д.* Агроэкологическая оценка земель и оптимизация землепользования. М.: Издательство Московского университета, 2012. 268 с.
- 6. *Яшин И.М.*, *Васенев И.И.*, *Белопухов С.Л*. Путеводитель научных почвенноэкологических экскурсий в лесных и аграрных ландшафтах ЦЛГПБЗ и мегаполиса Москвы. Коллективная монография / Ред. И.М. Яшина. М.: РГАУ-МСХА, 2018 г. – 128 с.
- 7. FAO's role in urban agriculture [Электронный ресурс] URL: http://www.fao.org/urban-agriculture/en/ (дата обращения 01.04.2019).

Работа рекомендована к.б.н., доц. Т.М. Джанчаровым.

# THE STUDY OF ANTHROPOGENICALLY MODIFIED SOILS ON THE EXAMPLE OF PILOT PLOTS OF ENVIRONMENTAL STATION RUSSIAN STATE AGRARIAN UNIVERSITY – MTAA NAMED AFTER K.A. TIMIRYAZEV

#### N.A. Alexandrov

Russian state agrarian University – MTAA named after K.A. Timiryazev, Moscow

Urban agriculture is becoming more widespread nowadays, but this trend is associated with a number of environmental risks. This paper presents the results of monitoring studies of soil cover at the Ecological station of the RSAU-MTAA (4 ha). Was discovered soils with buried humus horizon, sapotaceae one of the sites, the maximum content of heavy metals was not detected.

Keywords: urbanization, intra-field variation, agroecological assessment.

УДК 631.10

# ХАРАКТЕРИСТИКА АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ ВЫСОКОЙ ПОЙМЫ р. БЕЛОЙ (ПРИАНГАРЬЕ)

А.В. Васильева, С.Л. Куклина

Иркутский государственный университет

В работе дана характеристика аллювиальных почв, расположенных на прирусловых валах, центральной и притеррасной частях высокой поймы р. Белой. Рассматриваемые почвы имеют ряд общих свойств и особенностей. Все профили почв имеют слоистое строение и нейтральную рН в верхней части профилей и слабощелочную в нижних. Различия свойств почв обусловлены разным характером поемного процесса: вблизи русла гранулометрический состав более легкий, чем в притеррасной части. Самые гумусированные почвы формируются в центральной части поймы.

Ключевые слова: аллювиальные почвы, высокая пойма, свойства почв, Приангарье.

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Долины рек являлись центрами зарождения цивилизаций и до сих пор остаются одними из наиболее используемых человеком территорий.

Долина реки Белой активно используется человеком в различной народнохозяйственной деятельности, в том числе в сельском хозяйстве. Нерациональное использование аллювиальных почв р. Белой приводит к их деградации. Одной из причин неправильного использования пойменных земель является плохая изученность их свойств.

Целью данного исследования явилась характеристика свойств аллювиальных почв, сформировавшихся на прирусловой, центральной и притеррасной частях высокой поймы р. Белой.

Река Белая является одним из крупных левых притоков реки Ангары и административно расположена в республике Бурятия и Иркутской области. Свое начало река берет в горах Восточного Саяна (реки Большая и Малая Белая) и имеет горный характер, после слияния двух рек и выхода на Иркутско-Черемховскую равнину (рис. 1) она имеет равнинный характер, но скорость ее течения все равно остается высокой (3–4 км/ч).

Климатические особенности района исследования, в большой степени определяются расчлененным рельефом. Теплообеспеченность повышается от верховий р. Белой (район Восточного Саяна) до ее выхода на Иркутско-Черемховскую равнину. Обеспеченность осадками имеет обратную направленность. Самым холодным месяцем является январь (температуры в Восточном Саяне –16.2... –17.9 °C и в районе Иркутско-Черемховской равнины – 21.5...–23.4 °C), самым теплым – июль (температуры в горной части составляют +13.3...+15.9 °C и в пределах равнины +18.2...+18.6 °C). Высота снежного покрова в районе истока рек Большая и Малая Белая составляет 60–80 см, в районе равнины – 20–40 см [1].

© А.В. Васильева, С.Л. Куклина, 2020

Основное таяние снежного покрова происходит в июне, а максимальное количество жидких осадков выпадает в августе, поэтому к этим месяцам приурочен максимальный подъем воды в реке (до 8 м). Частота и высота подъема воды определили высотные отметки разноуровневых пойм р. Белой.

К высоким поймам реки Белой относятся выположенные поверхности с относительными отметками 5–8 метров над урезом реки и затапливаемые только во время высоких и катастрофических паводков (примерно раз в 10–15 лет).

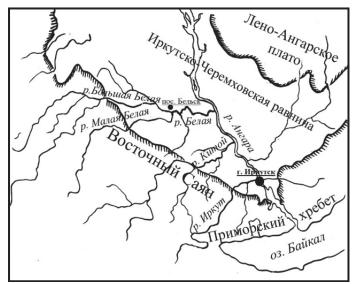


Рисунок 1. Карта-схема Южного Приангарья с элементами орографии и гидрографии [2].

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Осенью 2018 г. нами были заложены четыре разреза на высокой пойме реки Белой в районе с. Холмушино. В разрезах проведено морфологическое описание генетических горизонтов и взяты образцы почв. Описания проведены по классификации почв России 2004 года [4].

При лабораторных исследованиях применялись следующие методы: определение содержание общего гумуса по методу Тюрина в модификации Цыпленкова; рН водной суспензии потенциометрическим методом; определение гранулометрического состава седиментационным методом; мезоморфологические исследование с помощью бинокуляра.

# РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Общее состояние растительного покрова на высокой пойме, в основном, угнетенное изза неконтролируемого выпаса скота.

Разрезы 1, 2 (рис. 2) заложены на прирусловом валу (относительная высота около 7 м от уреза воды). Почвы представлены аллювиальным серогумусовым типом с профилем  $AY-C^{\sim}$ . Верхняя часть представлена серогумусовым горизонтом AY мощностью до 35 см, ниже идет слоистый горизонт  $C^{\sim}$ , который представлен чередованием погребенных гумусированных и негумусированных слоев. Почвы на прирусловых валах поймы р. Белой характеризуются ярко выраженной слоистостью профиля.

Гумусированность верхних горизонтов почв от средней до сильной (4.1-5.29% общего гумуса). В нижней части профиля колеблется от 1.02 до 2.7% в светлых, и от 3.9 до 4.2% в темноокрашенных слоях (рис. 3).

рН водной суспензии (рис. 4) колеблется от 7.44 до 8.52 и увеличивается вниз по профилю. Высокие значения рН связаны с влиянием горных пород, представленных доломитами нижнего кембрия (CaMg(CO $_3$ ) $_2$ ), в которые врезана большая часть долины реки Белая. Более щелочной рН в верхних горизонтах разреза 2, можно объяснить присутствием рядом открытых обнажений доломитов на склоне, пыль и мелкие обломки которых попадают на поверхность на этом участке поймы.

Гранулометрический состав супесчано-легкосуглинистый с преобладанием фракции среднего песка (48–61 %) и крупной пыли (16–28 %). Содержание ила незначительное. В целом, для почв прирусловых валов характерен легкий гранулометрический состав и содержание большого количества крупных частиц в составе отложений. Содержание карбонатов отмечается только в нижней части профиля почв.

При мезоморфологическом исследовании наблюдается обилие отмытых зерен минералов, что является характерным для аллювиальных почв, встречаются неразложившиеся растительные остатки, мелкие угли, следы жизнедеятельности энтомофауны (рис. 6).



Рисунок 2. Фото разрезов, заложенных на высокой пойме р. Белой.

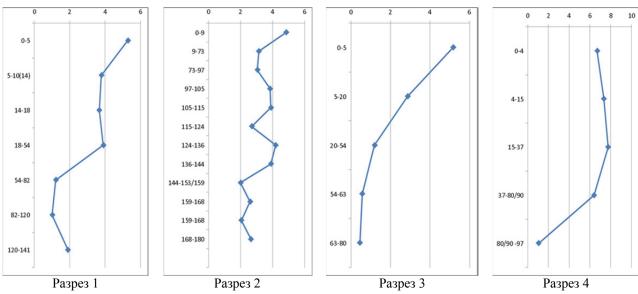


Рисунок 3. Распределение содержания общего гумуса (в %) в аллювиальных почвах высокой поймы р. Белая.

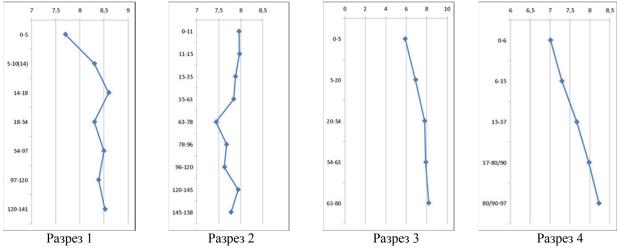


Рисунок 4. Распределения значений рН водной суспензии в аллювиальных почвах высокой поймы р. Белая.

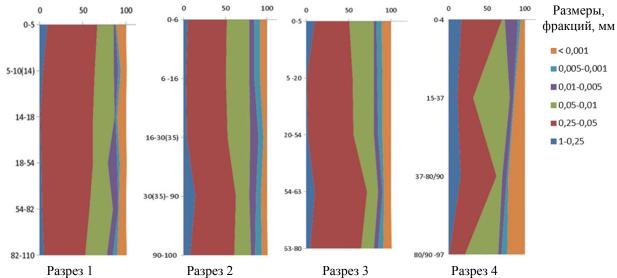


Рисунок 5. Распределение гранулометрических фракций в аллювиальных почвах высокой поймы р. Белой.



Рисунок 6. Включение корней травянистых растений и углей (слева) и пор-камер энтомофауны (справа) в верхних горизонтах разрезов 1 и 2 р. Белая.

Разрез 3 (рис. 2) заложен на центральной пойме (относительная высота около 6.5 м). Участок поймы представлен залежью (значительные площади центральных частей высокой поймы р. Белой в советское время были распаханы, но в 90-е годы XX века были заброшены).

Гумусированность верхних горизонтов средняя и составляет от 2.86 до 5.17 % (рис. 3), постепенно уменьшается вниз по профилю.

рН водной суспензии колеблется от 5.90 до 8.30 (слабо кислый в верхних горизонтах и слабощелочной в нижней части профиля). Слабое вскипание от 10% HCl наблюдается с глубины 63 см.

Гранулометрический состав легкосуглинистый в верхней части профиля с преобладанием фракции среднего песка (41–62 %) и крупной пыли (13–29 %), содержание ила незначительное (8–10 %). Содержание карбонатов в нижней части вскрытой толщи невысокое.

Разрез 4 (рис. 2) заложен в притеррасной части поймы (относительная высота около 5.9 м), которая ранее была заболочена.

Верхние горизонты почвы высокогумусированые (6.70–7.75 %) (рис. 3), нижняя оглеенная часть содержит 1.10 % гумуса.

рН водной суспензии (рис. 4) от нейтрального в верхнем до слабощелочного в нижнем горизонте. Карбонаты здесь залегают значительно выше, чем в других почвах, наблюдается бурное вскипание от 10 % HCl с глубины 43 см. Вероятно, это связано с близким залеганием жестких грунтовых вод.

Гранулометрический состав (рис. 5) от супесей до среднего суглинка с преобладанием фракции среднего песка (21–54 %) и ила (до 23 %).

При мезоморфологическом исследовании видно слоистое сложение в средней части профиля с распадающейся на чешуйки структурой (рис. 7).



Рисунок 7. Мезоморфологическое строение горизонта АУ (15–37 см) разреза 4 в почве на притеррасной части высокой поймы р. Белой. Слоистое сложение (слева) и мелкочешуйчатая структура (справа).

# ВЫВОДЫ

На прирусловой части исследуемого участка поймы р. Белой формируются аллювиальные серогумусовые типичные, на центральной части — агросерогумусовая типичная, на притеррасной части — темногумусовая глееватая почвы. В настоящее время почвы высокой поймы на рассматриваемом участке используются под пастбища, но выпас скота не регулируется, вследствие чего наблюдается деградация растительного покрова и изменение свойств аллювиальных почв [3].

Исследования показали, что почвы прирусловой, притеррасной и центральной частей высокой поймы реки Белой имеют общие свойства, которые связаны с генезисом аллювиальных почв и особенностями территории. Общим для данных почв является: нейтральный и слабощелочной рН, достаточно высокая гумусированность по сравнению с почвами водоразделов, присутствие карбонатов в нижней части профилей почв, легкий гранулометрический состав за счет высокой скорости водного потока реки Белая.

Различия в свойствах почв обусловлены разным характером поемного процесса на разных участках поймы. Вблизи русла реки откладываются более легкие отложения, характерна хорошо выраженная слоистость и меньшая гумусированность по сравнению с другими почвами высокой поймы р. Белая.

Почвы центральной части поймы характерна хорошо проработаны корнями растений и энтомофауной в верхней части профиля, слоистость неясно выражена. Почвы этих участков пойм часто антропогенно преобразованы (были распаханы).

Почвы притеррасной части поймы самые гумусированные, имеют более тяжелый гранулометрический состав.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Беркин Н.С. и др.* Иркутская область (природные условия административных районов) / под. ред. А.Г. Золотарев. Иркутск: Изд-во Иркут. ун-та, 1993. 300 с.
- 2. *Куклина С.Л.* Строение аллювия разных уровней поймы реки Белой (Приангарье) и свойства формирующихся на них почв // Известия Иркутского госуниверситета. Серия. Биология. Экология. 2017, Т. 21. Иркутск, Изд-во ИГУ, 2017 72–84.
- 3. *Куклина С.Л.* Изменение свойств пойменных почв при антропогенном использовании (долина реки Белой, Прибайкалье) // Экосистемы Центральной Азии в современных условиях социально-экономического развития: Материалы Международной конференции. Том. 1. Улан-Батор (Монголия), 8–11 сентября 2015 г. Улан-Батор, 2015. С. 203–208.
- 4. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

# CHARACTERISTIC OF ALLUVIAL SOILS OF HIGH FLOODPLAIN OF BELAYA RIVER (PRIANGARJE)

A.V. Vasilyeva, S.L. Kuklina Irkutsk State University

In the paper characterizes alluvial soils of high floodplain of the Belaya River. Soils located on different parts of the high floodplain. These soils have similar properties and differences. All soil's profiles have a layered structure and a neutral pH at the top of the profiles and slightly alkaline at the bottom. The differences of soil properties due to the different nature of alluvial process: near the river soil's particles are larger than in areas remote from the river. The most humus soils are formed in the Central part of the floodplain.

УДК 631.416.4

# ФОРМЫ СОЕДИНЕНИЙ КАЛИЯ РИЗОСФЕРЫ КЛЕНА ОСТРОЛИСТНОГО В ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

И.В. Данилин

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

В работе изучалось содержание подвижных соединений калия во фракциях >1, 1–5, <5 мкм и неразделённой на фракции почве в ризосфере клена остролистного и вмещающей палево-подзолистой почве. Показано, что содержание обменного (неразделенная на фракции почва) и трудногридролизуемого калия (фракция <5 мкм) в ризосфере достоверно больше по сравнению с вмещающей почвой, что может быть связано с накоплением органического вещества и плохо окристаллизованных иллитов в ризосфере.

Ключевые слова: калийное состояние почв, ризосфера, клен остролистный, глинистые минералы

#### ВВЕДЕНИЕ

Калий является важным элементом минерального питания растений, основным его источником для растений служат К-содержащие почвенные минералы в ризосфере [7]. В различных исследованиях установлено относительное обеднение ризосферы калием вследствие вовлечения этого элемента в биологический круговорот [9], но доступность калия в ризосфере при этом может возрастать [17]. В некоторых исследованиях выявлена обратная закономерность: содержание подвижных соединений калия в ризосфере увеличивается по сравнению с вмещающей почвой [9, 17].

Глинистые минералы являются естественным механизмом запасания калия в ризосфере [9]. Повышение концентрации калия в почвенном растворе ризосферы приводит к его фиксации в обменной и необменной форме в межслоях лабильных глинистых минералов; необменная фиксация сопровождается увеличением содержания иллито-подобных минералов

<sup>©</sup> И.В. Данилин, 2020

вследствие протекания процесса иллитизации. При уменьшении концентрации калия в почвенном растворе (например, при интенсивном поглощении калия растениями), биота поглощает этот элемент сначала из обменной, а потом – из необменной форм, и этот процесс приводит к увеличению количества лабильных структур [8, 15, 16, 18]. Указанные процессы в одной и той же почве могут сменять друг друга в годовом цикле. Разные минералы имеют разную устойчивость под влиянием агентов выветривания в биосфере: так, биотит сравнительно легко трансформируется в вермикулит или смешаннослойный биотит-вермикулит вследствие перехода калия из межслоя в почвенный раствор; напротив, мусковит сравнительно устойчив и имеет тенденцию к относительному накоплению в ризосфере [6].

В ряде работ показано, что эктомикоризные грибы оказывают значительное влияние на доступность калия, способствуя выветриванию слюд и калиевых полевых шпатов в ризосфере [7, 10, 12]. В других работах показано, что калиевые полевые шпаты являются весьма устойчивыми минералами в условиях ризосферы, что делает эктомикоризные грибы основными поставщиками доступного калия для растений. Более того, эктомикоризные грибы создают пул элементов питания, в т.ч. и калия, поскольку после отмирания сети гиф калий переход в доступную для растений форму [11].

Среди глинистых минералов основную роль в обеспечении растений калием играют иллиты [16]. В долгосрочных полевых опытах при внесении калия было обнаружено увеличение доли иллитов в почве, а при истощении почвы по калию — снижение доли иллита и его превращение в смешаннослойные иллит-смектитовые минералы.

Большая часть экспериментальных исследований относится к содержанию калия в обменной форме и к концентрации калия в растворе в ризосфере двух древесных культур — *Picea abies* и *Pseudotsuga menziesii*. Сведения о менее подвижных соединениях калия и о соединениях калия в ризосфере других видов деревьев немногочисленны, с чем и связана актуальность темы.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОЛЫ

Объектами исследования являются образцы горизонта (AO)EL из ризосферы клена остролистного (*Acer platanoides* L.) и из вмещающей палево-подзолистой почвы, отобранные на территории Центрально-лесного государственного природного биосферного заповедника (ЦЛГПБЗ).

На одном из участков с высокой долей клена остролистного (Acer platanoides L.) в древесном ярусе была выбрана площадка размером около  $50 \, \mathrm{m}^2$ , в пределах которой из горизонта (AO)EL были отобраны образцы из ризосферы клена и из вмещающей почвы в пятикратной повторности. На той же площадке был заложен разрез, из которого были взяты образцы по генетическим горизонтам L, F, (AOEL), ELf, ELBD и BD.

Выделение илистой и тонкопылеватой фракций проводили методом отмучивания [1] без предварительной химической обработки. Суспензии коагулировали раствором 1M  $CaCl_2$  и отмывали от избытка хлорид-иона диализом против дистиллированной воды.

Содержание разных форм соединений калия определялось методом пламенной фотометрии [3] в следующих вытяжках: обменный калий – в вытяжке 1М СН<sub>3</sub>СООNН<sub>4</sub> [2], легкогидролизуемый калий – в вытяжке 2 н. НС1 по Пчелкину [4], трудногидролизуемый калий – по Гедройцу, в вытяжке 10 % НС1 с нагреванием [4]. Остальные химические анализы проводили общепринятыми методам [3].

Статистическая обработка данных проводилась в программной среде R. Для сравнения пар выборок применялся критерий Вилкоксона; различия считались достоверными при  $p \le 0.05$ .

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание трудногидролизуемого калия (рис. 1) как в ризосфере, так и во вмещающей почве закономерно уменьшается при переходе от илистой к крупнопылеватой фракции и далее к крупной фракции (>5 мкм), что можно объяснить уменьшением площади удельной поверхности и уменьшением содержания иллитов с увеличением размера частиц, слагающих фракцию. Количество трудногидролизуемого калия, выделенного из почвы в целом, занимает промежуточное положение между фракциями 1–5 мкм и >5 мкм, т.к. она содержит в себе все частицы всех размеров. Наличие трудногидролизуемого калия в составе фракции >5 мкм можно объяснить неполным отделением фракций ила и мелкой пыли из образцов по методу Айдиняна (1960).

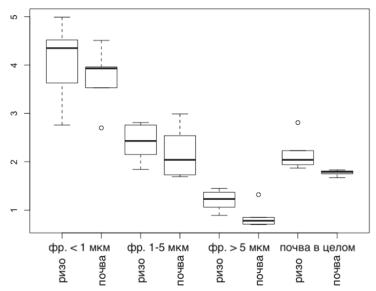


Рисунок 1. Диаграммы размаха содержания трудногидролизуемого калия в ризосфере и во вмещающей почве во фракциях <1 мкм, 1–5 мкм, >5 мкм и почве в целом, ммоль-экв/100 г.

Достоверные различия между содержанием трудногидролизуемого калия в ризосфере и вмещающей почве выявлены только для фракции >5 мкм и почвы в целом, но во всех случаях наблюдается тенденция к накоплению трудногидролизуемого калия в ризосфере по сравнению с вмещающей почвой.

В отношении распределения легкогидролизуемого калия по фракциям наблюдается та же закономерность, что в отношении трудногидролизуемого калия (рис. 2).

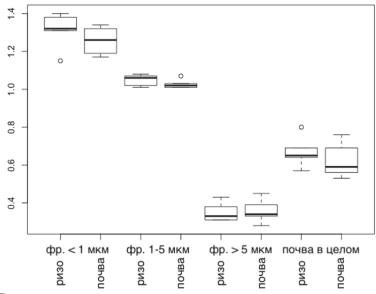


Рисунок 2. Диаграммы размаха содержания легкогидролизуемого калия в ризосфере и во вмещающей почве во фракциях <1 мкм, 1-5 мкм, >5 мкм и почве в целом, ммоль-экв/100 г.

Достоверные различия между содержанием легкогидролизуемого калия в ризосфере и вмещающей почве не выявлены, хотя для фракций < 1 мкм и 1-5 мкм, а также почвы в целом наблюдается тенденция к накоплению легкогидролизуемого калия в ризосфере по сравнению с вмещающей почвой.

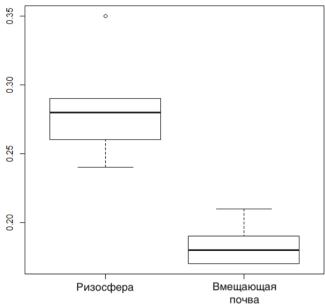


Рисунок 3. Диаграммы размаха содержания обменного калия в ризосфере и во вмещающей почве, ммоль-экв/100 г (почва, неразделенная на фракции).

Для почвы в целом выявлено достоверно большее содержание обменного калия в ризосфере по сравнению с вмещающей почвой (рис. 3). Во фракциях разного размера обменный калий не определяли, поскольку суспензии тонких фракций коагулировали  $CaCl_2$ , что должно было привести к вытеснению кальцием значительной части обменного калия.

Сопоставляя полученные данные по содержанию обменного калия с существующими градациями обеспеченности древесных культур этим элементом питания [5], можно заключить, что почва ризосферы относится к почвам с повышенной обеспеченностью, а вмещающая почва – к среднеобеспеченным калием.

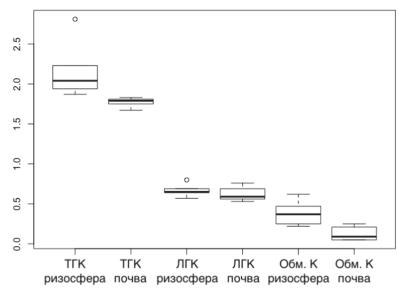


Рисунок 4. Диаграммы размаха содержания трудно-, легкогидролизуемого и обменного калия в ризосфере и во вмещающей почве, ммоль-экв/100 г (почва, неразделенная на фракции).

Во всех случаях содержание в образце трудногидролизуемого калия превышает содержание легкогидролизуемого калия, а содержание легкогидролизуемого калия превышает содержание обменного калия. Таким образом, количество калия, переходящего в вытяжку, до-

стоверно возрастает по мере увеличения агрессивности реагентов (максимально в жесткой вытяжке Гедройца, снижается в 2–3 раза в более мягкой вытяжке Пчелкина и почти на порядок снижается в вытяжке Масловой).

По полученным данным была рассчитана разность между содержанием трудногидролизуемого калия в вытяжке Гедройца и легкогидролизуемого калия в вытяжке Пчелкина (табл. 1). Полученную разность можно рассматривать как содержание наиболее прочно связанных с твердой фазой подвижных соединений калия. Из табл. 1 видно, что во всех фракциях и в почве в целом трудногидролизуемый калий на 50–70 % представлен именно такими наиболее прочно связанными соединениями, как в ризосфере, так и во вмещающей почве.

Таблица 1. Содержание наиболее прочно связанных с твердой фазой подвижных соединений калия во фракциях разного размера и в почве в целом в ризосфере и во внеризосферном пространстве, медианные значения, в скобках — средние значения (n = 5) и доля этих соединений от содержания

трудногидролизуемого калия (%).

Поморожани	Фракция < 1 мкм		Фракция 1–5 мкм		Фракция > 5 мкм		Почва		
Показатель	Ризо-	Вмещ.	Ризо-	Вмещ.	Ризо-	Вмещ.	Ризо-	Вмещ.	
	сфера	почва	сфера	почва	сфера	почва	сфера	почва	
Содержание,	3.03	2.62	1.42	1.03	0.80	0.45	1.25	1.25	
смоль(экв)/кг	(2.74)	(2.47)	(1.35)	(1.17)	(0.85)	(0.51)	(1.32)	(1.51)	
% от ТГ калия	69	66	58	50	71	58	68	70	

В рамках этого исследования было показано, что ризосфера клена содержит достоверно больше  $C_{OP\Gamma}$  по сравнению с вмещающей почвой (средние значения составили соответственно 4.98 % и 3.90 %). Предположительно, увеличение числа обменных позиций в ризосфере за счет накопления  $C_{OP\Gamma}$  приводит к увеличению содержания обменного калия. Это предположение подтверждается высоким ранговым коэффициентом корреляции Спирмена (0.95, значим при P=0.99) между содержанием обменного калия и  $C_{OP\Gamma}$ .

Источником трудногидролизуемого калия в тонких фракциях почв являются минералы группы истинных слюд и иллитов. Растворение иллитов интенсифицируется при увеличении температуры [14] и активности протона в растворе [13], вследствие чего в агрессивной вытяжке Гедройца концентрация калия больше, чем в вытяжке Пчёлкина. Однако расчёты с применением справочных данных по содержанию калия в иллитах и данных по минералогическому составу палево-подзолистых почв ЦЛГПБЗ показывают, что в вытяжке Гедройца растворяется лишь небольшая часть иллитов, представленных самыми тонкодисперсными и плохо окристаллизованными кристаллитами.

Накопление тонкодисперсных и плохо окристаллизованных иллитовых минералов в составе илистой фракции ризосферы может быть связано с усилением в ризосфере процессов физического дробления слюд и иллитов, заключенных в составе более крупных фракций под влиянием механического давления растущих корней на минеральные частицы [6]. Еще одной причиной аккумуляции иллитов в илистой фракции ризосферы может быть интенсификация процесса иллитизации, особенно в отдельные сезоны года [18].

Причины слабого проявления ризосферного эффекта на содержание легкогидролизуемого калия пока не ясны, и решение этого вопроса требует дополнительных исследований.

#### ВЫВОДЫ

- 1. Почва ризосферы клена отличается от вмещающей почвы более высоким содержанием обменного калия за счет накопления органического вещества. В соответствии с существующими градациями для лесных культур, вмещающая почва относится к среднеобеспеченным калием, а почва ризосферы к почвам с повышенной обеспеченностью калием.
- 2. Почва ризосферы клена содержит больше трудногидролизуемого калия по сравнению с вмещающей почвой, что можно объяснить переходом калия в кислотную вытяжку из наиболее тонкодисперсных и плохо окристаллизованных слюд и иллитов, накапливающихся

в ризосфере; трудногидролизуемый калий на 50-70 % представлен наиболее прочно связанными с твердой фазой соединениями.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Айдинян Р.Х. Извлечение ила из почв: Краткая инструкция. М., 1960. 10 с.
- 2. *Воробьева Л.А.* Химический анализ ночв. М., 1998. 272 с.
- 3. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М., 1970. 487 с.
- 4. *Методические подходы* к определению параметров калийного режима пахотных почв при длительных опытах. М., 2011. 45 с.
- 5. Наставление по системам применения удобрений в лесном хозяйстве на европейской территории СССР. Государственный комитет СССР по лесу, 1991. 83 с.
- 6. *April R., Keller D.* Mineralogy of the rizosphere in forest soils of the eastern United States // Biogeochemistry. 1990. Vol. 9. P. 1–18.
- 7. Arocena J.M., Glowa K.R., Massicotte H.B., Lavkulich L. Chemical and mineral composition of ectomycorrhizosphere soils of subalpine fir (Abies lasiocarpa (Hook) Nutt.) in the E horizon of a luvisol // Canadian Journal of Soil Science. 1999. Vol. 79. P. 25–35.
- 8. *Bourbia S.M., Barré P., Kaci M.B.N. et al.* Potassium status in bulk and rhizospheric soils of olive groves in North Algeria // Geoderma. 2013. Vol. 197–198. P. 161–168.
- 9. *Barre P., Velde B., Abbadie L.* Dynamic role of «illite-like» clay minerals in temperate soils: facts and hypotheses // Biogeochemistry. 2007. Vol. 82. P. 77–88.
- 10. Calvaruso C., Collignon C., Kies A., Turpault M.-P. Seasonal evolution of the rhizosphere effect on major and trace elements in soil solutions of Norway spruce (Picea abies) and Beech (Fagus sylvatica) in an acidic forest soil // Open Journal of Soil Science. 2014. Vol. 4. P. 323–336.
- 11. *Gobran G.R.*, *Clegg S.*, *Courchesne F.* Rhizosphere processes influencing the biogeochemistry of forest ecosystems // Biogeochemistry. 1998. Vol. 42. P. 107–120.
- 12. *Griffits R.P., Baham J.E., Caldwell B.A.* Soil solution chemistry of ectomycorrhizal mats in forest soil // Soil Biol. Biochem. 1994. Vol. 26. P. 331–337.
- 13. *Kalinowski B.E., Schweda P.* Kinetics of muscovite, phlogopite, and biotite dissolution at pH 1–4, room temperature // Geochimica et Cosmochimica Acta. 1996. Vol. 60. P. 367–385.
- 14. Köhler S.J., Dufaud F., Oelkers E.H. An experimental study of illite dissolution kineticks as a function of pH from 1.4 to 12.4 and temperature from 5 to 500 °C // Geochimica et Cosmochimica Acta. 2003. Vol. 67. P. 3584–3594.
- 15. *Nielsen J.D., Möberg J.P.* The influence of K depletion on mineralogical changes in pedons from two field experiments and in soils from four pot experiments // Acta Agric. Scandinav. 1984. Vol. 34. P. 391–399.
- 16. *Tributh H., Boguslavski E., Lieres A et al.* Effect of potassium removal by crops on transformation of illitic clay minerals // Soil Science. 1987. Vol.143, N 6. P. 404–409.
- 17. *Turpault M.-P.*, *Utérano C.*, *Boudot J.-P.*, *Ranger J.* Influence of mature Douglas fir roots on the solid soil phase of the rhizosphere and its solution chemistry // Plant and Soil. 2005. Vol. 275. P. 327–336.
- 18. *Turpault M.-P.*, *Righi D.*, *Utérano C.* Clay minerals: precise markers of the spatial and temporal variability of the biogeochemical soil environment // Geoderma. 2008. Vol. 147. P. 108–115.

Работа рекомендована д.б.н., проф. Т.А. Соколовой.

## UDC 631.416.4

# POTASSIUM COMPOUNDS IN THE RHIZOSPHERE OF MAPLE IN PODZOLIC SOIL

#### I.V. Danilin

# Moscow State University

Potassium status in rhizospheric soil of maple and other broadleaf trees is still a matter of discuss due to lack of experimental data. This research was conducted with rhizospheric and bulk (podzolic) soil samples collected in Tver region and >1, 1-5, <5  $\mu$ m fractions of this soil. The amount of exchangeable (1M CH<sub>3</sub>COONa extraction, unfractionated soil) and non-excangeable (10 % HCl extraction, <5 mm fraction and unfractionated soil) K was systematically higher in the rhizosphere compared to the bulk soil. There was no significant difference in amount of non-exchangeable K extracted with 0.1M HCl. This differences between rhizosphere and bulk soil can be explained by accumulation of organic matter and poor-crystallized illites in the rhizosphere.

УДК: 504.53.052

# АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ПОЛИЦИКЛИЧЕСКИХ АРОМАТИЧЕСКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ В РАЗЛИЧНЫХ ТИПАХ ПОЧВ ИМПАКТНОЙ ЗОНЫ НОВОЧЕРКАССКОЙ ГРЭС

Т.С. Дудникова, С.Н. Сушкова, Т.М. Минкина, Е.М. Антоненко, А.И. Барбашев, Я.А. Попилешко, И.П. Лобзенко

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

Было проведено исследование содержания шестнадцати приоритетных ПАУ в почвах зоны влияния энергогенерирующего промышленного предприятия. Установлено, что содержание ПАУ в почвах мониторинговых площадок зоны влияния предприятия превышено по сравнению с содержанием ПАУ в почвах фоновых районов. Выявлено, что по линии преобладающего направления розы ветров ПАУ накапливаются в почвах за счет интенсивности воздействия источника эмиссии. В зоне диффузионного перераспределения выбросов суммарное содержание ПАУ в почве ниже, чем в почвах мониторинговых площадок, расположенных по линии преобладающих ветров, где содержание ПАУ в почвах во многом обусловлено свойствами почв.

Ключевые слова: накопление ПАУ, мониторинг, факторы накопления ПАУ в почвах, БаП, состав ПАУ.

# ВВЕДЕНИЕ

Полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) – группа органических соединений, имеющих в своём составе два и более сконденсированных ароматических кольца. В воде почти нерастворимы, имеют высокую температуру плавления. Группа ПАУ представлена несколькими сотнями различных соединений. Многие ПАУ обладают канцерогенной и мутагенной активностью [6; 7]. Из всех ПАУ в России нормирован только бенз(а)пирен (БаП). Предельно допустимые концентрация (ПДК) БаП в России составляет 20 нг/г (ГН 2.1.7.2041-06). Прежде всего, ПАУ образуются при сжигании органогенного топлива в условиях недостатка кислорода [4; 5; 8]. Могут образовываться как в результате антропогенной деятельности, так и в результате естественных природных процессов. Большая часть ПАУ принадлежит к пирогенным источникам. Их можно условно разделить на природные (вулканические) и антропогенные (сжигание нефти, угля, торфа, древесины, травянистой растительности) [4]. Угольная энергогенерация является мощным источником эмиссии ПАУ в окружающую среду [3].

Работа выполнена при поддержке Базовой части госзадания Министерства образования и науки РФ № 6.6222.2017/8.9, гранта Президента РФ № MK-2973.2019.4.

Е.М. Антоненко, А.И. Барбашев, Я.А. Попилешко, И.П. Лобзенко, 2020

<sup>©</sup> Т.С. Дудникова, С.Н. Сушкова, Т.М. Минкина,

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОЛЫ

Объектом исследования данной работы являлись почвы территорий, прилегающих к ПАО «Вторая генерирующая компания оптового рынка электроэнергии» (ПАО ОГК-2) Новочеркасская ГРЭС (НчГРЭС) — предприятию первого класса опасности (СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03). НчГРЭС — предприятие с мощностью  $\approx$  19 ГВт. За 2017 г. выработка компании составила  $\approx$  7 % (63.5 млрд кВт·ч) от всероссийского производства электроэнергии. НчГРЭС занимает второе место (в пределах Российской федерации) по выработке электроэнергии.

Мониторинговые площадки расположены по линии преобладающего направления ветра (СЗ) (генеральное направление: №4, 8, 9, 10) на расстоянии до 20 км и вокруг предприятия в зоне предполагаемого диффузионного перераспределения выбросов (площадки № 1–3, 5–7, 11).

Методы исследования. Отбор почв проб проводили на глубину основного корнеобитаемого слоя (0–20 см) в 2018. Экстракцию ПАУ из почвенных образцов проводили методом омыления. Концентрацию ПАУ в экстракте определяли методом высокоэффективной жидкостной хроматографии (РД 52.10.556-95). Полученные результаты обрабатывали методами математической статистики.

В настоящей работе количественно определяли содержание следующих индивидуальных приоритетных ПАУ: 1) двухкольчатые: нафталин (Наф), бифенил (Биф); 2) трехкольчатые: флуорен (Флу), фенантрен (Фен), антрацен (Ант), аценафтилен (Ацлн), аценафтен (Ацфн); 3) четырехкольчатые: флуорантен (Флн), Пирен (Пир), бенз(а)антрацен (БаА), хризен (Хри); 4) пятикольчатые: бенз(b)флуорантен (БbФ), бенз(k)флуорантен (БkФ), БаП, дибенз(а)антрацен (ДБА); 5) шестикольчатые: бенз(g,h,i)перилен (БghiП).

В почвенном покрове исследуемой территории преобладают черноземы обыкновенные (ЧО), но также встречаются аллювиальные (АЛ) и лугово-черноземные (ЛЧ) почвы (табл. 1).

# РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Результаты количественного анализа суммарного содержания приоритетных ПАУ в почвах зоны мониторинга показали существенное превышение суммарного содержания ПАУ в почвах зоны влияния НчГРЭС, по сравнению с фоновыми концентрациями [1; 2]. Максимальное содержание суммы ПАУ в почвах наблюдали по линии преобладающего направления розы ветров от источника эмиссии на местности. Максимальную техногенную нагрузку испытывала почва площадки №4 расположенная в СЗ направлении от источника на расстоянии 1.6 км. Сумма приоритетных ПАУ в почве площадки №4 составила 3697±148 нг/г. Далее, по мере удаления от источника эмиссии, содержание суммы ПАУ в почвах мониторинговых площадок снизилось и достигло минимального значения для зоны генерального направления в почвах площадки №10, расположенной в 20 км от источника (СЗ) (1157±52 нг/г). В зоне диффузионного переноса выбросов сумма всех исследуемых ПАУ варьировала от 716±30 нг/г (площадка № 7) до 1083±48 нг/г (площадка №1). В почвах мониторинговых площадок зоны диффузионного переноса в среднем сумма ПАУ была ниже в 2—3 раза по сравнению с почвами мониторинговых площадок зоны генерального направления.

При детальном изучении, накопление индивидуальных ПАУ по линии преобладающего ветра, в целом имело аналогичные тенденции, по сравнению с суммарным накоплением ПАУ, за исключением: Наф, Хри, Флу, и Флн, содержание которых в почвах мониторинговых площадок, расположенных по линии преобладающих ветров не зависело от расстояния по отношению к НчГРЭС (рис. 1).

В почве площадки №4 содержание приоритетных ПАУ превышено по сравнению с другими, расположенными далее от предприятия по линии преобладающего направления розы ветров. Содержание всех представленных ПАУ в почвах площадки № 4 было в 2.0—3.5 раза больше, чем на следующих по отдаленности. Однако, содержание ДБА, Наф и Флу превышало уровни в площадках №8, 9, 10 не более, чем в 1.2 раза, что может свидетельствовать об достаточно быстрой деградации данных соединений и неустойчивости в почвенной среде (в случае с Наф и Флу). В почвах мониторинговых площадок № 8, 9, 10, расположенных далее от предприятия по линии преобладающего направления розы ветров, прилегаю-

щей к предприятию, преобладали 4-х кольчатые ПАУ, а так же 3-х кольчатый Фен и 5-ти кольчатые БаП и БbФ. ПДК БаП превышено для почв всех площадок и убывало по мере удаления от источника эмиссии в следующем хронологическом порядке: №4 (1.6 км CB) - 17.4 > № 8 (5 км CB) - 4.5 > № 9 (10 км CB) - 3.8 > № 10 (20 км CB) - 3.4.

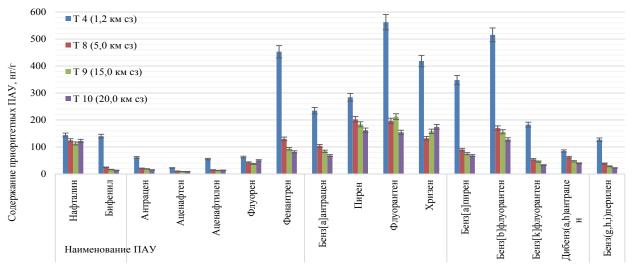


Рисунок 1. Содержание отдельных ПАУ в почвах площадок генерального направления.

При исследовании содержания отдельных приоритетных ПАУ в почвах зоны диффузионного (рис. 2) переноса, установлено, что в их составе количественно преобладали: 4 - x кольчатые (кроме БаА); 3-х кольчатый Фен; 5-ти кольчатый БbФ. Похожие количественные показатели были получены при изучении содержания индивидуальных ПАУ в почвах площадок, расположенных по линии преобладающего направления розы ветров. Отличительной особенностью почв зоны диффузионного переноса явилось высокое содержание БghiП, по сравнению с почвами мониторинговых площадок, расположенных по линии преобладающего направления розы ветров.

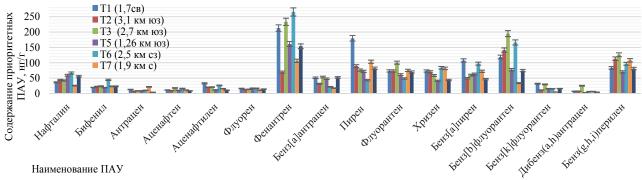


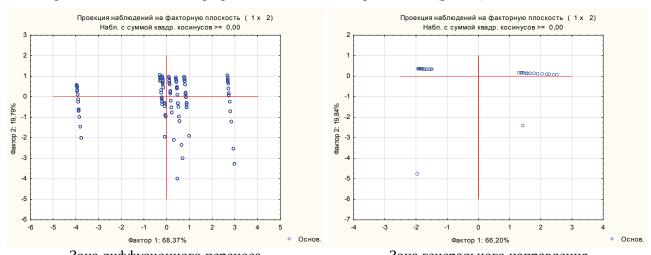
Рисунок 2. Содержание отдельных ПАУ в почвах зоны диффузионного переноса выбросов.

Статистический анализ. В почвах изучаемой территории для проведения статистического анализа было применено 17 переменных, потенциально влияющих на накопление ПАУ в почве (и предположительно на друг друга): номер площадки, направление от источника эмиссии, тип почвы, название ПАУ, количество колец в ПАУ, содержание: физической глины, ила, гумуса, аммонийного азота, подвижного фосфора, катионов Ca<sup>2+</sup> и Mg<sup>2+</sup>, уреазная и дегидрогеназная активность почвы, рН почвы, ЕКО, расстояние от ГРЭС, концентрация ПАУ (табл. 1). Для решения поставленной задачи использовали модуль программы «STATISTICA»: «Бустинг деревьев классификации». Всего было доступно 17 переменных, но работа с таким большим числом факторов являлась избыточной. Лишние переменные зашумляли истинную зависимость и затрудняли ее обнаружение. Для решения задачи отсеивания признаков были использованы графики значимости признаков, где для зоны генерального направления наиболее важными переменными оказались: концентрация ПАУ, рН и ЕКО почвы, а также содержание катионов кальция и магния в почве. Для зоны диффузионного переноса наиболее значимыми перемен-

ными выступили: ЕКО почвы, содержание в почве катионов кальция и магния, содержание физической глины и уровень дегидрогеназной активности (переменные для обеих зон расставлены в порядке убывания). Далее во всех других видах статистического анализа принимали участие только переменные, которые оказались наиболее значимыми. В ходе непосредственного анализа «Бустинг деревьев классификации» было получено 32 графика, каждый из которых отражал зависимость накопления отдельного ПАУ от того или иного фактора (табл. 2), определенного нами ранее при помощи графика значимости факторов.

Для оценки адекватности полученных результатов — факторов, влияющих на накопление ПАУ, были использованы методы дисперсионного анализа. В зоне генерального направления критерий Фишера соответствовал 10.10, при уровне значимости 0.0006 и коэффициенте детерминации 0.69, что характеризовало полученные результаты, как высоко значимые, при делении ПАУ на классы. Для зоны диффузионного переноса критерий Фишера 6.18, при уровне значимости 0.0004, и коэффициенте детерминации, равном 0.33, свидетельствовал о неоднозначности модели и недостаточности знания только данных признаков.

Для более наглядного представления данных был использован многомерный разведочный анализ (анализ главных компонент). Как правило, метод главных компонент используют в качестве предварительного статистического анализа. Данный метод выделяет в процентном соотношении тот или иной фактор, в зависимости от его влияния на исследуемые переменные. Однако, при представлении данных, программа не предоставляет информацию о влиянии конкретных переменных, а подписывает их как «фактор 1», «фактор 2» и т.д. Полученные ранее данные позволяют нам предполагать, что влияние на накопление ПАУ в почвах импактной зоны НчГРЭС, в наибольшей степени оказывают шесть переменных (для обеих разделенных нами групп). Номер фактора проекции наблюдений на факторную плоскость соответствовал значимости факторов, полученных в ходе анализа модулем Бустинг деревьев классификации с помощью графиков значимости переменных (рис. 3).



Зона диффузионного переноса Зона генерального направления Рисунок 3. Расположение ПАУ на плоскости в зависимости от фактора 1 и 2.

Из графика следует, что точки для зоны диффузионного переноса разделены на 3 группы. Точки, находящиеся в диапазоне 2–3 по оси «х», соответствуют отдельным ПАУ, принадлежащим ЛЧ почве, в исходной таблице (табл. 1). Точки, находящиеся в диапазоне от –4 до –3.5 по оси «х», соответствуют отдельным ПАУ, принадлежащим АЛ почве, в исходной таблице. Между точками, принадлежащими АЛ почве и точками, принадлежащими ЛЧ почве, находится зона, соответствующая отдельным ПАУ, принадлежащим ЧО в исходной таблице. Для зоны генерального направления установлено, что относительно оси «х» точки разбиты на две группы: со знаком плюс – соответствуют табличным значениям концентрации ПАУ площадки 4, а со знаком минус – табличным значениям содержания ПАУ в почвах площадок 8, 9 и 10. Две точки, выбившиеся из общих групп, принадлежат к содержанию нафталина в изученных почвах, т.к. содержание нафталина не имеет положительных корреляций с уровнем техногенной нагрузки.

Таблица 1. Свойства почв мониторинговых площадок импактной зоны НчГРЭС.

и рас-         Почва физ. глина, %         Ил, %         Гумус, %         рН         СаСОз, %         N-NH4         P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O         Са <sup>2</sup> +Mg <sup>2+</sup> EKO         уР, мкг N-NH4/г/ч         мкг N-NH4/г/г         мкг N-NH4/г/г         мкг N-NH4/г         мкг N-NH4/г         мкг N-NH4/г         мкг N-NH4/г         мкг N-NH4/г														
Направление и расстояние (км) от $\frac{1}{1}$		Ш	мкг ТФФ/г/ч	44.3	59.1	21.1	24.8	64.5	49.6	57.2	42.1	ı	ı	29.1
Направление и растростия (км) от Груст         Почва физ. глина, % Гумус, % рН СаСО3, % Гумус, % рН Гумус		dΛ	$\begin{array}{c} \mathrm{yP,} \\ \mathrm{MK} \mathrm{r} \ \mathrm{N-NH_4/r/4} \end{array}$		4.8	9.1	9.1	35.9	14.1	14.2	8.1	_	_	2.7.2
Направление и расстояние (км) от ГрЭС         Почва физ. глина, % Ил, % Гумус, % рН СаСОз, %         PH СаСОз, % мг/кт         N-NH4 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> K <sub>2</sub> O Ca <sup>2</sup> гояние (км) от ГрЭС         40         52.0         27.0         4.3         7.6         0.5         27.0         37.1         413.2         20.2           зюз         АЛ         7.0         3.0         3.1         7.5         0.4         26.7         17.2         209.2           1.6сз         ЧО         55.0         29.0         4.6         7.3         0.2         21.0         42.2         348.1         40.7           1.2в         ЧО         55.0         29.0         4.6         7.5         0.7         30.2         39.4         319.3           1.2в         ЧО         55.0         30.0         4.1         7.7         0.8         36.5         37.1         374.7           2c         ЛЧ         60.0         32.0         4.1         7.6         0.7         28.1         29.0         486.0           5c3         ЧО         55.0         30.0         4.1         7.6         0.7         28.1         29.0         46.4         46.0         7.4         0.4         22.3         45.4         45.6			+)/KT	35.0	10.9	44.8	31.2	32.9	32.4	31.3	47.6	31.4	36.0	33.7
Направление и расстояние (км) от ГРЭС       Почва физ. глина, % Ил, % Гум ГРЭС       Ил, % Гум Гум ГРЭС         1 св зюз АЛ 7.0 3.0 3.0 2.7 гоз 1.6 гоз 4О 55.0 30.5 гоз 1.2 гоз 4О 55.0 30.5 гоз 1.5 гоз 1.5 гоз 4О 51.0 27.0 гоз 1.5 гоз 1.4 гоз 1.5 гоз 1.7 гоз		$\Im a^{2+} + Mg^{2+}$	смоль(-	31.6	11.1	40.3	30.4	30.8	29.9	31.3	44.1	31.7	34.0	31.9
Направление и расстояние (км) от ГРЭС       Почва физ. глина, % Ил, % Гум ГРЭС       Ил, % Гум Гум ГРЭС         1 св зюз АЛ 7.0 3.0 3.0 2.7 гоз 1.6 гоз 4О 55.0 30.5 гоз 1.2 гоз 4О 55.0 30.5 гоз 1.5 гоз 1.5 гоз 4О 51.0 27.0 гоз 1.5 гоз 1.4 гоз 1.5 гоз 1.7 гоз	11011			413.2	209.2	348.1	319.3	490.7	374.7		353.6	338.1	403.1	459.6
Направление и расстояние (км) от ГРЭС       Почва физ. глина, % Ил, % Гум ГРЭС       Ил, % Гум Гум ГрэС         1 св зюз АЛ       4O       52.0       27.0       27.0         3 коз АЛ       АЛ       7.0       3.0       3.0       3.0         2.7 коз Лу АЛ       4O       55.0       29.0       29.0       2.0         1.2в ЧО       55.0       30.5       2.0       2.	don min	$P_2O_5$	MT/KT	37.1	17.2	42.2	39.4	34	37.1	29.0	45.4	39.3	38.6	33.6
Направление и расстояние (км) от ГРЭС       Почва физ. глина, % Ил, % Гум ГРЭС       Ил, % Гум Гум ГРЭС         1 св зюз АЛ 7.0 3.0 3.0 2.7 гоз 1.6 гоз 4О 55.0 30.5 гоз 1.2 гоз 4О 55.0 30.5 гоз 1.5 гоз 1.5 гоз 4О 51.0 27.0 гоз 1.5 гоз 1.4 гоз 1.5 гоз 1.7 гоз				27.0	26.7	21.0	30.2	32.7	36.5	28.1	22.3	23.0	37.2	31.5
Направление и расстояние (км) от ГРЭС       Почва физ. глина, % Ил, % Гум ГРЭС       Ил, % Гум Гум ГрэС         1 св зюз АЛ       4O       52.0       27.0       27.0         3 коз АЛ       АЛ       7.0       3.0       3.0       3.0         2.7 коз Лу АЛ       4O       55.0       29.0       29.0       2.0         1.2в ЧО       55.0       30.5       2.0       2.	ייייין כ		$CaCO_3, \%$	0.5	0.4	0.2	0.7	8.0	8.0	0.7	0.4	9.0	0.5	8.0
Направление и расстояние (км) от ГРЭС       Почва физ. глина, % Ил, % Гум ГРЭС       Ил, % Гум Гум ГрэС         1 св зюз АЛ       4O       52.0       27.0       27.0         3 коз АЛ       АЛ       7.0       3.0       3.0       3.0         2.7 коз Лу АЛ       4O       55.0       29.0       29.0       2.0         1.2в ЧО       55.0       30.5       2.0       2.	11111		Hd	9.7	2.7	7.3	2.7	7.4	7.7	9.7	7.4	9.7	9.7	9.7
Направление и рас- стояние (км) от ГРЭС 1св 3юз 2.7юз 1.6сз 1.2в 2с 1.5с 5сз 5сз 5сз 1.5с 5сз 1.5с 5сз			Гумус, %	4.3	3.1	4.6	4.6	4.0	4.1	4.1	5.0	4.2	4.6	3.5
Направление и рас- стояние (км) от ГРЭС 1св 3юз 2.7юз 1.6сз 1.2в 2с 1.5с 5сз 5сз 5сз 1.5с 5сз 1.5с 5сз			Ил, %]	27.0	3.0	37.0	29.0	30.5	30.0	27.0	32.0	30.0	28.0	29.5
Направление и рас- стояние (км) от ГРЭС 1св 3юз 2.7юз 1.6сз 1.2в 2с 1.5с 5сз 5сз 5сз 1.5с 5сз 1.5с 5сз	1 2000000		<b>Љиз. глина,</b> %	52.0	7.0	67.0	55.0	52.0	55.0	51.0	0.09	52.0	53.0	53.2
			Почва	Oh	ΑЛ	hГ	Oh	Oh	НΙ	Oh	НΙ	Oh	Oh	Oh
		Направление и рас-	стояние (км) от ГРЭС	1cB	3103	2.7 <sub>F03</sub>	1.6c3	1.2 <sub>B</sub>	2c	1.5c	5c3	15c3	20c3	1.7103
		]	ğ	1	2	3	4	5	9	7	8	6	10	11

Таблица 2. Главные факторы накопление различных ПАУ в почве импактной зоны НчГРЭС.

				1						1	
		6-ти коль- чатые	Пі,А,8А	Γ		Д					
		e	АДД		Γ	П					
	0	5-и кольчатые	РКФ			L			Д		
	ыдны	-и кол	РРФ	Γ			Д				
	олекул	3	БаП	Γ			Д				
	Высокомолекулярные		иdх	Γ		П					
	I	4-х кольчатые	нпФ	Г					Д		
		4-х кол	dи∐	Γ			П				
ПАУ			Aßd	ľ					П		
	Низкомолекулярные		нэФ			Д, Г					
		ые	γιΦ			Л			П		
		3-х кольчатые	нфлА	Γ				Д			
		молекул	молекул	3-x	нцлА	Γ		Д			
	Низко		тнА	Γ			П				
		2-х кольчатые	риф	ľ					П		
		2-х кол	фвН	Г					П		
		<b></b>	Конц. ПАУ	Hd	EKO	$Ca^{2+} + Mg^{2+}$	Физ. глина	ДГ	ļ		

Примечание: г – генеральное направление, д – зона диффузионного переноса.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе исследования обнаружено высокое содержание суммы ПАУ в почвах импактной зоны НчГРЭС по сравнению с содержанием ПАУ в фоновых районах. Максимальную техногенную нагрузку испытывали почвы мониторинговой площадки №4 (ближайшая от источника эмиссии мониторинговая площадка, расположенная по линии преобладающего ветра (СЗ)). Далее, с удалением от НчГРЭС в СЗ направлении сумма ПАУ снижалась. Содержание ПАУ в почвах мониторинговых площадок расположенных в зоне диффузионного переноса было ниже, чем в почвах зоны генерального направления, а именно в 1.5–2.5 раза. В составе ПАУ для обеих зон преобладали 4-х кольчатые ПАУ, 3-х кольчатый Фен, 5-кольчатые БаП и БкФ. В зоне диффузионного переноса, в дополнение ко всем выше перечисленным ПАУ, был обнаружен БghiП, Превышение ПДК БаП зафиксировано для почв всех мониторинговых площадок и составило до 17 в почвах мониторинговой площадки №4.

Определены возможные факторы накопления отдельных ПАУ в почвах зоны влияния НчГРЭС. Установлено, что в зоне более усиленного воздействия (генеральное направление) ПАУ накапливались в почвах в зависимости от интенсивности влияния самого источника (за исключением Флу, Фен, БкФ, ДБА), а для зоны диффузионного переноса из представленных факторов наиболее значимыми в накоплении отдельных ПАУ в почвах установлены: ЕКО, ДГ и содержание катионов кальция и магния в почве, что, в целом, свидетельствовало о преимущественном влиянии почвенных свойств на накопление ПАУ в почвах. Так, анализ главных компонент для почв зоны диффузионного переноса сгруппировал точки (концентрации отдельных ПАУ) относительно их принадлежности к различным почвенным типам (ЧО, ЛЧ, АЛ). Для зоны генерального направления анализ главных компонент объединил на факторной плоскости отдельные ПАУ в две группы, где одна из них – это точки (концентрации отдельных ПАУ), принадлежащие к почвам площадки № 4, а другая – точки принадлежащие к площадкам №8, 9 и 10. Поскольку почвы мониторинговой площадки №4 испытывали максимальную техногенную нагрузку, и на факторной плоскости концентрации отдельных ПАУ объединены в обособленную группу, то можно выделить эту мониторинговую площадку, как область максимального воздействия от источника загрязнения.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И., Смирнова М.А., Жидкин А.П., Ковач Р.Г.* Углеводородное состояние почв фоновых таежных ландшафтов (юго-западная часть Устьянского плато) //Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2016. №. 3. С. 90–97.
- 2. Геннадиев А.Н., Пиковский Ю.И., Смирнова М.А. Углеводородное состояние почв в ландшафтах: генезис, типизация // Вестник Московского университета. Серия 5. География. -2019. -№. 6. С. 3-9.
- 3. *Лазарев Г.Е., Шаповалов А.Б.* Образование доминирующих выбросов при энергогенерации // Экологические и природоохранные проблемы современного общества и пути их решения. 2017. С. 53–66.
- 4. *Цибарт А.С., Геннадиев А.Н.* Полициклические ароматические углеводороды в почвах: источники, поведение, индикационное значение (обзор) // Почвоведение. 2013. №. 7. С. 788–802.
- 5. *Яковлева Е.В., Габов Д.Н.* Накопление полициклических ароматических углеводородов в растениях тундры в зоне влияния теплоэлектростанции в окрестностях города Воркуты. Арктика: экология и экономика № 2 (30). 2018. С. 18–30.
- 6. *Chunhui Wang., Shaohua Wu., Shenglu Zhou., Yaxing Shi, Jing Song.* Characteristics and source identification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban soils: a review // Pedosphere. −2017. − T. 27. − №. 1. − C. 17–26.
- 7. Gauthier P.T., Norwood W.P., Prepas E.E., Pyle, G.G. Metal-PAH mixtures in the aquatic environment: a review of co-toxic mechanisms leading to more-than-additive outcomes // Aquatic toxicology. 2014. T. 154. C. 253–269.

8. Hernández-Vega J.C., Cady B., Kayanja G., Mauriello A., Cervantes N., Gillespie A., Colón-Carmona A. Detoxification of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in Arabidopsis thaliana involves a putative flavonol synthase //Journal of hazardous materials. – 2017. – T. 321. – C. 268–280.

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

# STUDY OF THE CONTENT OF POLYCYCLIC AROMATIC HYDROCARBONS IN VARIOUS TYPES OF SOILS OF THE IMPACT ZONE OF THE NOVOCHERKASSK HYDROELECTRIC **STATION**

T.S. Dudnikova, S.N. Sushkova, T.M. Minkina, E.M. Antonenko, A.I. Barbashev, Ya.A. Popileshko, I.P. Lobzenko

Southern Federal University, Academy of Biology and Biotechnology

A study was conducted on the contents of sixteen priority PAHs in the soils of the zone of influence of an energy generating industrial enterprise. It has been established that the content of the amount of PAHs in the soils of the monitoring sites of the impact zone of the enterprise is exceeded in comparison with the content of PAHs in the soils of background areas. The most possible factors of PAH accumulation in the soils of the study area were determined. It is revealed that along the line of the prevailing wind PAHs accumulate in the soils directly due to the intensity of the impact of the emission source. In the zone of diffusion dispersion, the sum of PAHs is lower than in the zone of intense impact of the source, and here the content of PAHs in soils is largely due to the properties of the soil.

Keywords: PAH accumulation, monitoring, PAH accumulation factors in soils, BAP, PAH composition.

# УДК 631.445.9:631.412:631.423:504.53

# ФУНКЦИОНАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОЗДАВАЕМЫХ КОНСТРУКТОЗЕМОВ ДЛЯ ГАЗОННЫХ ЭКОСИСТЕМ

В.А. Едемская, А.В. Степанов РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва

Работа посвящена оценке эколого-функциональных показателей состояния модельных почвенных конструкций с учетом влияния качественного и количественного состава почвогрунта и травосмеси разных видов растений на их свойства

Ключевые слова: конструктозем, почвенная конструкция, почвогрунт, торфопесчаная смесь, урбоэкосистема.

## ВВЕДЕНИЕ

Городское озеленение основывается на использовании почвенных конструкций различного типа. Во многих субъектах Российской Федерации, в том числе и столичном регионе, довольно распространено использование торфопесчаных грунтов в качестве основы для газонных участков (несмотря на Постановление 743-ПП для г. Москва [1]). Вследствие неправильного ухода за газонным покрытием, данные участки являются крайне неустойчивыми. Тем не менее, данный тип почвенных конструкций представляет наибольший интерес с точки зрения его технологичности, а также экономических затрат на его создание.

Помимо этого, измененные почвы и искусственно создаваемые почвенные конструкции вступают во взаимодействие с окружающей средой, играют роль в биохимической трансформации веществ. Городские почвы могут пагубно влиять на экологическое состояние города. Устойчивость урбаноземов снижается в результате выделения повышенного количества СО2, так как с потерей углерода из почвогрунта ухудшаются почвенные характеристики конструкции.

<sup>©</sup> В.А. Едемская, А.В. Степанов, 2020

Модельная почвенная конструкция с органогенным горизонтом именно из торфопесчаной смеси мощностью 5 см позволяет обеспечить оптимальное функционирование газонной урбоэкосистемы [3].

# ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования выступают почвенные конструкции 5×2 м, верхний горизонт которых представлен торфопесчаной смесью с соотношением песка к торфу 1:3 и 2:3. В отдельные конструкции дополнительно была внесена местная дерново-подзолистая почва. Был произведён высев 3 разных травосмесей зарубежного и отечественного производства («Парк» – Дания, «Русские травы» – Россия, «Универсальная» – Россия). Описание составов почвенных конструкций и травяных смесей отражено в таблице 1.

Местоположение исследования: экологический стационар РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева (г. Москва).

Таблица 1. Состав почвенных конструкций

№ почвенной конструкции	Состав (П:Т)	Травяная смесь, название и производитель	Состав травяной смеси
1	1:3	«Парк», Дания	овсяница красная 50 %, райграс пастбищный 40 %,
2	2:3	«Парк», Дания	мятлик луговой 5 %, овсяница красная жесткая 5 %
3	1:3	«Русские травы», Россия	тимофеевка луговая 20 %, овсяница 20 %,
4	2:3	«Русские травы», Россия	райграс многолетний 20 %, райграс однолетний 20 %, ежа сборная 20 %
5	1:3	«Парк», Дания	овсяница красная 50 %, райграс пастбищный 40 %,
6	2:3	«Парк», Дания	мятлик луговой 5 %, овсяница красная жесткая 5 %
7	1:3	«Русские травы», Россия	тимофеевка луговая 20 %, овсяница 20 %,
8	2:3	«Русские травы», Россия	райграс многолетний 20 %, райграс однолетний 20 %, ежа сборная 20 %
9	Т+П+дерново -подзолистая (1:1:1)	«Универсальная», Россия	райграс пастбищный 20 %, райграс однолетний 20 %,
10	Т+П+дерново -подзолистая (1:1:1)	«Универсальная», Россия	тимофеевка луговая 20 %, овсяница луговая 20 %, овсяница тростниковидная 20 %

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Закладывались модельные почвенные конструкции с органогенным горизонтом из торфопесчаной (торфо-почво-песчаной) смеси мощностью 5 см. Проводилось наблюдение за состоянием почвенной конструкции во временной динамике. Отбор почвенных проб для последующего анализа осуществлялся методом «конверта». Измерение высоты снежного покрова, определение его плотности — инструментальные полевые методы исследования. Отбор снеговых проб проводился с помощью снегозаборника, измерение высоты и веса — с помощью снегомерной рейки и весов-безмена соответственно. Съемка — встроенная камера смартфонов Apple 6 и Honor 8.

Подготовка и анализ почвенных проб и проб талого снега осуществлялась в лаборатории LAMP (Лаборатория агроэкологического мониторинга, моделирования и прогнозирования экосистем). Проведение агрохимического анализа – в соответствии с методиками ГОСТ:

- $-\Gamma OCT~26483-85~$  «Приготовление солевой вытяжки и определение её pH по методу ЦИНАО»;
  - ГОСТ 26213-84 «Определение гумуса по методу Тюрина в модификации ЦИНАО»;
  - ГОСТ 26489-85 «Определение обменного аммония по методу ЦИНАО»;
  - ГОСТ 26488-85 «Определение нитратов по методу ЦИНАО».

Химический анализ талой воды – по методикам:

- Методика измерений суммарной массовой концентрации аммонийного азота в пробах природных, питьевых и сточных вод фотометрическим методом в диапазоне от 0.02 до  $1 \text{ мг/дм}^3$  (в пересчете на азот) с применением спектрофотметра PCSpectro;
- Методика измерений суммарной массовой концентрации нитрит-ионов в пробах природных, питьевых и сточных вод фотометрическим методом в диапазоне от 0.01 до  $0.5~{\rm MF/дm}^3$  (в пересчете на азот) с применением спектрофотметра PCSpectro;
- Методика измерений суммарной массовой концентрации хлоридов в пробах природных, питьевых и сточных вод методом турбидиметрии в диапазоне от 0.5 до 25 мг/дм $^3$  с применением спектрофотметра PCSpectro;
- Методика измерений суммарной массовой концентрации общей меди в пробах природных, питьевых и сточных вод фотометрическим методом в диапазоне от 0.05 до 5 мг/дм $^3$  с применением спектрофотметра PCSpectro;
- Методика измерения общего содержания железа в пробах природных, питьевых и сточных вод фотометрическим методом в диапазоне от 0.01 до  $1~{\rm Mr/дm^3}$  с применением спектрофотметра PCSpectro;
- Методика измерений суммарной массовой концентрации сульфатов в пробах природных, питьевых и сточных вод методом турбидиметрии в диапазоне от 2 до 100 мг/дм $^3$  с применением спектрофотметра PCSpectro.

Плотность снега определяется путем измерения высоты и массы снежной пробы. Плотность — это отношение массы снега в граммах к его объему. Масса снега будет равна 5n, где n — число делений по шкале линейки, а объем составит 50h см $^3$ , где h — число делений по шкале цилиндра. Плотность снега измеряется при высоте снежного покрова не менее 5 см. Рассчитывается по формуле:

$$\rho = 5n/50h = n/10h$$
.

По высоте и плотности можно вычислить запас воды в снежном покрове, т.е. высоту слоя воды, который образуется при таянии снега. Он рассчитывается по формуле:

$$a = 10 \cdot h \cdot \rho$$

где a — запас воды в снеге; h — высота пробы снега;  $\rho$  — плотность; 10 — множитель для перевода сантиметров в миллиметры. Запас воды в снежном покрове (в тоннах на гектар) составит A = 10a.

# РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Приводится характеристика агрохимических параметров исследуемого урбанозема. Показатель обменной кислотности почвогрунтов варьируется в пределах от 6.08 до 6.91 (реакция среды - нейтральная, что соответствует значениям фоновой дерново-подзолистой почвы).

Потенциально возможная эмиссия  $CO_2$  из почвогрунтов в атмосферу в среднем в 1.6 раз (8.5 % против 14 %) выше в тех почвенных конструкциях, где высеяна трава «Парк» датского производителя DLF Trifolium. Данный вывод основан на показателях содержания углерода органических соединений.

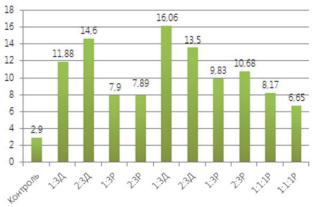


Рисунок 1. Содержание углерода органических соединений в почвенных конструкциях, %.



Рисунок 2. Содержание углерода органических соединений в почвенных конструкциях по повторностям, %

Вероятно, данная тенденция связана с составом травяной смеси: овсяница красная 50 %, райграс пастбищный 40 %, мятлик луговой 5 %, овсяница красная жесткая 5 %. Тогда как овсяница и райграс в травосмесях российского производства представлены в 20 % соотношениях (табл. 1). Предполагается, что преобладающие виды способны сильнее удерживать углерод корневой биомассой.

Подвижные формы азота (нитраты и обменный аммоний) являются основным источником азота, обеспечивающим питание растений. Содержание аммония в опытных урбанозёмах ниже, чем в фоновой почве. На срок взятия проб (октябрь 2018) количество нитратов в почве отличалось неоднородностью. Их содержание резко (в 3.89 раз) выше в почвогрунте с добавлением местной почвы (33:33:33), отобранной вблизи шоссе.



Рисунок 3. Содержание нитратного азота в почвенных конструкциях.

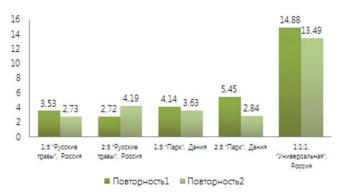


Рисунок 4. Содержание нитратного азота в почвенных конструкциях по повторностям, %.

Первичное внесение удобрений (ФЕРТИКА осеннее) было реализовано 12 октября. Спустя 3 недели проводился замер высоты газонной травы. Высота и плотность травянистого покрова на удобряемой части конструкции увеличилась в 1.5 раза, отмечено повышение густоты газона (рис. 5).



Рисунок 5. Модельные почвенные конструкции с травосмесями различного состава (Экологический стационар РГАУ-МСХА, 02.11. 2018 г.).

Пробы снега были взяты в конце снежного периода текущего года — 16 марта 2019 года. Выявление загрязнений путем таяния снега и фильтрования воды не показал значительных результатов. Анализ налёта с фильтровальной бумаги осуществить не удалось ввиду малой массы осевших загрязнителей. Ниже (табл. 2) приведены данные по концентрации различных ионов в пробах талого снега.

Таблица 2. Химический анализ проб талого снега.

Ионы	Концентрация, мг/дм <sup>3</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0.6±0.1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	<0.020±0.006
Cl <sup>-</sup>	4.3±0.77
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	<2.0±0.3
Fe <sub>общ</sub>	<0.10±0.02
Сиобщ	<0.5±0.1

Плотность снежного покрова составила в среднем  $0.032 \text{ г/см}^3$ . Средний показатель волозапаса —  $71.2 \text{ м}^3$ /га.

В перспективе исследования предполагается проведение расширенного анализа конструктозема на содержание питательных элементов во временной динамике в период вегетации газонной травы, анализ потоков парниковых газов из почвогрунтов в атмосферу, выявление и исследование дополнительных свойств и факторов, которые могут оказывать влияние на качество растущей травы и состояния почвенных конструкций.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного исследования были заложены 10 почвенных конструкций экспериментального модельного опыта с различным соотношением торфа и песка, разным составом травяной смеси. Результат агрохимического анализа показал, что захват органического углерода зависит от состава смеси высеянных газонных трав (выше при преобладании овсяницы красной 50 % и райграса 40 %), что требует дополнительных исследований. Использование местной придорожной дерново-подзолистой почвы в составе модельной конструкции резко повысило содержание нитратов в газонной экосистеме, следовательно, нарушен естественный баланс элементов питания растений. Таким образом, можно судить о том, что большинство растений открытых участков города Москва претерпевают сильный урон из-за сильного загрязнения грунта по причине близости к потенциальным загрязнителям среды.

В качестве рекомендации для города Москва предлагается проведение мелиоративных мероприятий на газонных участках: стрижка, полив и внесение сезонных удобрений. Данные действия благоприятно сказываются на росте газонной травы, что отразится на эстетическом виде от ухода за покрытием. Также это оказывает влияние на общее состояние почвенной конструкции и, соответственно, на общем экологическом состоянии города.

# ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Постановление Правительства Москвы* «Об утверждении Правил создания, содержания и охраны зеленых насаждений и природных сообществ города Москвы» [Принято ПМ 10 сентября 2002 года, с изменениями и дополнениями по состоянию на 24 июля 2018 года] // Вестник Мэра и Правительства Москвы. − 2002. − №743-ПП.
- 2. *Васенев В.И.* Методология функционально-экологического мониторинга объектов озеленения и благоустройства г. Москвы / В.И. Васенев, И.И. Васенев, В. Риккардо и др. // Вестник РУДН. Серия: Агрономия и животноводство. − 2013. − № 5 2013. − С. 17–29.
- 3. Щепелева А.С. Оценка экологических функций газонных урбоэкосистем в северной части мегаполиса Москвы на основе анализа потоков и запасов углерода: диссертация ... кандидата биологических наук: 03.02.08 / Щепелева Анна Сергеевна; [Место защиты: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный аграрный университет МСХА имени К.А. Тимирязева»]. Москва, 2015. 139 с.

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

# THE FUNCTIONAL-ECOLOGICAL ASSESSMENT OF CREATED CONSTRUCTOZEMS FOR LAWN ECOSYSTEMS

V.A. Edemskaya, A.V. Stepanov

RSAU – MAA named after K.A. Timiryazev

Created soil constructions with peat and sand consist with different proportions of components have been studied. The significance of artificial soils in urban areas and their composite is described. The values of the parameters of agrochemical analysis of constructozems are given in comparison to zonal soil cover. In article issues to reduce the loss of carbon and nutrients from lawn ecosystems are discussed.

Keywords: constructozem, peat-sand mixture, soil construction, urboecosystem.

# УДК 630.1

# ПЕРВЫЕ ДАННЫЕ О ПОВЕДЕНИИ Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, Zn, Zr В СИСТЕМЕ «ПОЧВА – РАСТЕНИЯ» КАТЕНЫ В ЦЕНТРАЛЬНО-ЛЕСНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ

П.Р. Енчилик, И.Н. Семенков, А.Д. Иовчева, Е.Н. Асеева, Е.В. Терская, О.А. Самонова Географический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва

Для изучения миграции в системе «почва – растения» определено общее содержание Со, Сг, Сu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, Zn и Zr в 70 образцах 19 видов растений и 31 образце почв, отобранных в пределах ландшафтно-геохимической катены на покровных суглинках, залегающих на карбонатной морене в южной части ядра Центрально-Лесного заповедника. Основную роль по включению в БИК биофильных микроэлементов (Mn, Zn, Co) в лесных сообществах выполняет древесный ярус, а элементов с низкой биофильностью (Fe, Ti, Cr, Zr, Pb) – сфагнум и травянистые растения. В нижней части катены при увеличении гидроморфизма ландшафтов и изменении структуры фитоценозов создаются условия для накопления элементов в составе органического вещества торфянистого и перегнойного горизонтов почв.

Ключевые слова: дерново-подзолистые почвы, тяжелые металлы, катена, биогеохимическая специализация.

### ВВЕДЕНИЕ

Биогеохимический круговорот тяжелых металлов является важной составляющей общего механизма функционирования наземных экосистем биосферы. В международных программах по окружающей среде UNESCO и UNEP оценке фонового состояния ландшафтов, в связи с усилением техногенной нагрузки, уделяют особое внимание. Исследования эталонных природных систем все более актуальны, поскольку в них можно проследить естественный обмен микроэлементами между живыми и биокосными компонентами ландшафта.

В лесных ландшафтах центра Восточно-Европейской равнины, расположенных вне зоны техногенных воздействий, определена видовая геохимическая специализация некоторых древесных растений смешанных лесов и оценена интенсивность поглощения Cu, Zn, Pb, Fe, Mn из почв растениями разных ярусов. Выявлено, что доступными для растений элементами вне зависимости от типа леса являются Mn, Zn и Cu, а наиболее активное накопление элементов характерно для рябины обыкновенной, отличающейся максимальным содержанием Fe и Pb [4]. В древесных растениях активно переходит в надземные органы Zn, а Cd-в корни, в коре гумидокатных и ариданитных видов аккумулируется избыток поглощенных Zn и Cd соответственно, а также барьерная функция древесины в отношении Cd обусловлена его преимущественным ксилемным транспортом в форме свободного иона  $Cd^{2+}$  [3]. Подвижность Zn, Cu, Mn и Fe в верхних горизонтах почв увеличивается с ростом концентраций  $C_{BOB}$  и уменьшается с ростом pH [5].

Целью работы является анализ поведения микроэлементов с разной степенью биофильности – Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, Zn и Zr – в системе «растения – органогенные горизонты почв – минеральные горизонты».

# ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Биогеохимические особенности лесных ландшафтов заповедника изучены с использованием катенарного подхода. Объектом исследования является ландшафтно-геохимическая катена в ядре Центрально-Лесного заповедника, протяженностью около 200 м с перепадом высот 3 м, сложенная покровными суглинками, подстилаемыми моренными карбонатными отложениями. В пределах катены четко выделяются автономные и подчиненные ландшафты, несмотря на небольшие уклоны (около  $1-2^{\circ}$ ) и малую протяженность.

Исследование выполнено в рамках проекта № 04/2018/РГО-РФФИ под руководством Н.С. Касимова.

<sup>©</sup> П.Р. Енчилик, И.Н. Семенков, А.Д. Иовчева,

Е.Н. Асеева, Е.В. Терская, О.А. Самонова, 2020

В автономном (А) ландшафте в относительно хорошо дренируемых позиций сформировались грубогумусированные палево-глубокоподзолистые почвы под липово-еловым лещиново-кисличным растительным сообществом с кленом остролистным Acer platanoides L. и вязом шершавым Ulmus glabra Huds. В трансэлювиальном (ТЭ) ландшафте выпуклого склона формируются маломощные дерново-палево-глубокоподзолистые почвы под еловошироколиственным лесом. В трансэлювиально-супераквальном ландшафте подножья склона на мелкоторфянисто-перегнойных глубокоподзолистых профильно-оглеенных почвах произрастает чернично-сфагновый ельник с подростом из липы сердцевидной и клена остролистного. В трансэлювиально-супераквальном ландшафте (ТЭС) на мелкоторфянистых глубокоподзолистых профильно-оглеенных почвах — кислично-сфагновый ельник с ивой козьей Salix caprea L. [2].

В почвах автономного и трансэлювиального ландшафтов лесная подстилка состоит из трех горизонтов. Верхний горизонт (OLn) представляет собой свежие лиственные и древесные остатки, исходная форма которых видна невооруженным глазом. Горизонт ОF состоит из лиственных остатков, измельченных, но узнаваемыми невооруженным глазом, в различной степени смешанным с тонкодисперсным органическим веществом. Нижний горизонт ОН состоит из тонкодисперсного органического вещества. В трансэлювиально-супераквальном ландшафте формируются торфяной (T) и перегнойный горизонты (H).

Опробовано 19 видов растений (n=70), свежий опад (n=12), лесные подстилки (n=24) и почвы по генетическим горизонтам (n=31). В растениях и почвах определяли общее содержание макро- и микроэлементов во Всероссийском научно-исследовательском институте минерального сырья им. Н.И. Федоровского (ВИМС) методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре «Elan-6100».

Для выявления специфических черт химического состава различных растений использован коэффициент ОСВР (относительное содержание химических элементов в видах растений), показывающий степень отличия конкретного вида от эталонного, произрастающего в том же элементарном ландшафте [6]:

$$OCBP = CI/CT$$
,

где CI – содержание элемента в изучаемом виде, а CT – в эталонном.

7.2

6.2

0.7

5.6

3.8

106

140

983

1685

За эталон сравнения во всех исследуемых ландшафтах приняты листья липы сердцевидной (табл. 1).

Зольность,				Mı	икроэлем	иенты, м	иг/кг в зо	оле			
%	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sr	Ti	Zn	Zr
				Автоно	омный л	андшаф	T				
6.2	1.3	16.3	114	1017	11539	34.1	1.4	404	40	299	6.3
			Транс	элювиал	пьный л	андшаф	т склона	l			
7.4	1.0	6.6	126	723	7697	21.0	1.4	394	34	343	1.0
		Tj	рансэлю	виально	-супера	квальны	ій ланди	ıафт		•	•

Таблица 1. Зольность и элементный состав листьев липы сердцевидной в ландшафтах катены.

Для анализа распределения химических элементов по органам растений рассчитан показатель OCOP – относительное содержание элементов в золе различных органов растений относительно эталонного органа [6] – крупных веток в нашей работе.

2909

8513

14.7

21.5

1.7

348

251

1.3

Степень изменения концентраций элементов в детрите разной стадии разложенности оценена при помощи коэффициента трансформации элементного состава органического вещества, Кт — отношения средних содержаний элемента в свежем опаде к частично разложившемуся опаду прошлых лет.

Интенсивность биологического поглощения оценена с помощью коэффициента Ax – отношения количества элемента в золе растений к его количеству в почвообразующей породе [7]. По коэффициенту Ax определены микроэлементы, вовлеченные в биологический круговорот и группы растений, наиболее активно участвующие в их поглощении из почвы.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

На всех участках катены максимальный уровень биогеохимической дифференциации растений по видам, не выходит за пределы умеренного концентрирования (ОСВР=4-25) или деконцентрирования (0.25-0.04) элементов (за исключением сфагнума  $Pb_{55}Ti_{38}Zr_{26}Cr_{19}$ Fe<sub>6</sub>Co<sub>3</sub>Cd<sub>3</sub>Ni<sub>2</sub>). В древесном ярусе относительно эталона сравнения наибольшее число элементов концентрируется в хвое ели обыкновенной и листьях клена остролистного. При этом, в автономном и трансэлювиальном ландшафтах хвоя ели обыкновенной обогащена Рb<sub>3-8</sub>Co<sub>5-</sub>  $_{6}$ М $_{14-5}$ , а листья клена остролистного —  $Cd_{5-7}Pb_{5}$ . С увеличением гидроморфизма ландшафтов в нижней части склона в хвое ели обыкновенной отмечается относительное концентрирование Pb<sub>4</sub> в переходном ландшафте и Co<sub>5</sub> – в переувлажненном, а также Mn<sub>5/4</sub>Cd<sub>8/3</sub> и Zn<sub>3/5</sub> – у клена/ели соответственно в переувлажненном ландшафте. По сравнению с липой сердцевидной и кленом остролистным, ель обыкновенная слабее накапливает  $Cu_{0.4-0.7}$  и  $Zr_{0.5-1}$ , с увеличением увлажненности почв хвоя ели обыкновенной деконцентрирует Сио4. Травянистый ярус в ландшафтах катены представлен как неморальными, так и бореальными видами. Большинство растений травянистого яруса относительно эталонного вида являются деконцентраторами химических элементов ( $Cr_{0.2-2}Ni_{0.2-1.2}Cu_{0.02-0.8}Sr_{0.2-1.3}$ ). Травянистые растения элементы  $Ti_{2-38}Zr_{1-26}$ , малоподвижные а также  $Fe_{1-6}Cd_{1-1}Cr_{\pi o_1 9}$ . В травянистом ярусе кислица обыкновенная характеризуется наиболее пониженными концентрациями Cd<sub>0.2</sub>Ti<sub>4</sub>. Концентратором наибольшего числа элементов является плюризональный орляк обыкновенный  $Ti_{12}Fe_5CrZr_4CdCoPb_3$  и сфагновый мох  $Pb_{55}Ti_{38}Zr_{26}$ Cr<sub>18</sub>ZnFe<sub>6</sub>Co<sub>3</sub>NiCd<sub>2</sub>.

В старых и малоактивных органах растений (крупные ветки, кора) накапливаются  $Zn_{до3}Cu_{до1.4}Pb_{до3}$ . Наши данные согласуются с результатами О.С. Железновой и др. [3], свидетельствующими об аккумуляции Cd и Zn в ветвях ели обыкновенной, и повышенной аккумуляции Cu в древесине, что связанно с важной ролью этого элемента в лигнификации ксилемы и высоким сродством к материалу клеточных стенок. Накопление Cd, Zn, Pb в старых иглах ели обыкновенной показано в работе [9]. Pb малоподвижен в растениях, поэтому он больше накапливается в древесине.

Вегетативные органы растений (хвоя, листья, молодые ветки) накапливают  $Mn_{до8}$  из-за его ведущей роли в фотосинтезе и создании окислительно-восстановительных условий в клетках. Листья липы сердцевидной интенсивно накапливают по сравнению с другими органами растения  $Mn_{2-8}$ ,  $Ti_{1-6}$ ,  $Cu_{1-2.2}$ ,  $Zr_{0.6-3}$  и  $Fe_{1.2-5}$ .

В распределении металлов по надземным органам древесных растений прослеживается разная специализация: в широколиственных породах максимальна концентрация в фотосинтезирующих органах, а в хвойных (ели обыкновенной) – ветках и коре.

С помощью опадо-подстилочного коэффициента [8] показано, что усиление увлажненности почв вниз по катене по значениям ОПК снижает скорость разложения органического вещества в подчиненных ландшафтах по сравнению с автономными в 6 раз, что приводит к увеличению запасов детрита с 10 т/га в автономном ландшафте до 25 т/га в полугидроморфном.

От стадии разложения детритовых горизонтов зависят уровни содержания элементов. Так, в наиболее ферментированном горизонте ОН почв автономного ландшафта и в торфянистом горизонте трансэлювиально-супераквального ландшафта концентрации следующих элементов выше, чем в свежем опаде Ті в 6 раз – в ТЭС, 24 – в A, Fe 3–7, Cr 1.4–6, Ni 2–2.5, Cu 1.1–1.7, Pb 3–15, Zn 1.5–4, Zr в 8–29 раз.

В автономном и трансэлювиальном ландшафтах в процессе разложения подстилок очень интенсивно накапливаются Ti и Pb (KT =10–16), умеренно – Cd, Fe, Co (KT=4–10) и слабо – Mn, Ni, Cu (KT=2–4). В условиях периодического переувлажнения почв замедляется разложение органического вещества: в конечном звене катены при трансформации опада в торфяной массе интенсивно накапливается только  $Pb_{15.3}$ , умеренно –  $Ti_{4.7}$  и  $Fe_{3.3}$ , слабо –  $Cu_{1.4}$  и  $Zn_{1.5}$ . Свежий опад и частично преобразованный практически не отличаются по содержанию Mn, Co, Ni (KT<2).

Растения древесного яруса имеют более высокие значения коэффициента Ax, чем травянистые. Растения древесного яруса интенсивнее (Ax>10) поглощают из почв Mn, Zn, Cd, которые в соответствии с рядами A.И. Перельмана и H.C. Касимова [7] относятся к элементам энергичного накопления. Причем липа активнее вовлекает в биологический круговорот  $Cd_{4-6}$  и  $Zn_{5-7}$ , а ель  $-Mn_{18-126}$ .

К элементам сильного накопления с коэффициентами Ax=1-10 во всех ландшафтах относятся  $Sr_{до8}$  NiPb<sub>до7</sub> Co<sub>до4</sub>, при этом, Co и Sr накапливаются в ветках. Менее интенсивно вовлекаются в биологический круговорот элементы с Ax < 1: Pb, Cu, Cr и Fe, интенсивность накопления которых видоспецифична, например, Fe наиболее биологически активно в травянистых растениях, чем древесных. Слабее всего участвуют в биологическом круговороте  $Zr_{до0.3}$  и  $Ti_{до0.2}$ . Полученные данные хорошо согласуются с результатами радиального геохимического анализа валового состава почв: биологическая аккумуляция приводит к поверхностно-аккумулятивному распределению Mn (R для горизонта OH = 3–7), Zn (1.6–2), Cd (1–5) в почвах автономного и трансэлювиального ландшафтов. А в условиях переувлажнения в трансэлювиально-супераквального ландшафта эта связь прослеживается гораздо слабее.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В южно-таежных сообществах Центрально-Лесного заповедника большинство древесных пород в листьях накапливают Mn, Zn, Co и Cd, а травы и кустарнички относительно деревьев концентрируют элементы с низкой биофильностью (Ti, Fe, Zr), а также Cd и Cr. Сфагнум при низкой зольности и содержании элементов (особенно K, P, S) умеренно концентрирует широкий спектр элементов с относительно низкой биофильностью – Fe, Ti, Cr, Co, Zr и Pb.

В распределении металлов по надземным органам древесных растений выделено два типа специализации: в широколиственных породах максимальна концентрация в фотосинтезирующих органах, а в хвойных (ели обыкновенной) – ветках и коре.

Скорость разложения мортмассы и мощность органогенных горизонтов почв зависят от состава разлагающихся остатков. В автономном и трансэлювиальном ландшафте формируются лесные подстилки, в которых при ферментации опада накапливаются Ti, Pb, Cd, Fe, Co, Mn, Ni и Cu. В трансэлювиально-супераквальном ландшафте при трансформации опада в торфяной массе интенсивно накапливается только Pb, умеренно – Ti и Fe, слабо – Cu и Zn.

Благодаря поступлению с отмершими растительными остатками элементов энергичного накопления по А.И. Перельману, Mn, Zn и Cd имеют поверхностно-аккумулятивное распределение в почвах. К элементам сильного накопления с Ax=1-10 во всех ландшафтах относятся Ni, Co, Sr, при этом, Co и Sr накапливаются преимущественно в ветках. К менее интенсивно вовлекаемым в биологический круговорот с Ax<1 принадлежат Pb, Cu, которые пассивно поглощаются растениями, а также Cr и Fe, интенсивность накопления которых видоспецифична. Слабее всего участвуют в биологическом круговороте Zr и Ti.

# ЛИТЕРАТУРА

- 1. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР М.: Высшая школа, 1988. 328 с.
- 2. *Енчилик П.Р.*, *Асеева Е.Н.*, *Семенков И.Н.* Биологическое поглощение и биогеохимическая подвижность микроэлементов в лесных ландшафтах Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника // Проблемы региональной экологии. 2018. N = 4 c. 93 98.
- 3. Железнова О.С., Черных Н.А., Тобратов С.А. Цинк и кадмий в фитомассе древесных растений лесных экосистем: закономерности транслокации, аккумуляции и барьерных механизмов // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2017. Т. 25. № 2. С. 253–270.
- 4. *Исаченкова Л.Б., Тарзаева М.В.* Сравнительная биогеохимическая характеристика лесных экосистем // Экосистемы широколиственно-хвойных лесов южного Подмосковья. М.: Географический факультете МГУ, 2006. с. 84–97.

- 5. *Караванова Е.И., Белянина Л.А., Шапиро А.Д., Степанов А.А.* Влияние подстилок на подвижность соединений Zn, Cu, Mn, Fe в верхних горизонтах подзолистых почв//Почвоведение. -2006. N = 1 c. 43 51.
- 6. *Ковалевский А.Л.* Основные закономерности формирования химического состава растений // Биогеохимия растений: тр. Бурят. ин-та ест. наук. Улан-Удэ, 1969. с. 6–28.
- 7. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрея-2000, 1999. 768 с.
- 8. *Родин Л.Е., Ремезов Н.П., Базилевич Н.И.* Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 143 с.
- 9. *Gandois L., Probst A.* Localisation and mobility of trace metal in silver fir needles // Chemosphere, 2012. Vol. 87. P. 204–210.
- 10. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants, Fourth Edition. CRC Press, 2011. 548 p.

Работа рекомендована академиком Н.С. Касимовым.

# THE FIRST DATA ON THE MIGRATION OF Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, Zn, Zr IN THE «SOIL – PLANTS» SYSTEM AT THE CATENA OF THE CENTRAL FOREST RESERVE

P.R. Enchilik, I.N. Semenkov, A.D. Iovcheva, E.N. Aseyeva, E.V. Terskaya, O.A. Samonova Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University, Moscow

In the study of chemical elements migration in the «sols – plants» system in plants (70 samples, 19 species) and soils (31 samples), the total concentration of Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, Zn μ Zr was determined. The study object is a forested landscape-geochemical catena formed on uniform loamy lithology and located in the southern part of the core area in the Central Forest Nature Reserve (Tver' region, NW Russia). The obtained results indicate that in the analyzed reference forest communities tree species play the major role in the uptake and turnover of biophilic microelements (Mn, Zn, Co) while sphagnum moss and grassy covers mostly absorb the elements with low biophilicity (Fe, Ti, Cr, Zr, Pb). In the lower part of the catena hydromorphism of landscapes increases and the structure of phytocenoses changes. It leads to the favourable conditions for the conservation of trace elements in the composition of the organic matter of detrital soil horizons: peaty and humus.

Keywords: Retisols, heavy metals, catena, biogeochemical specialization.

# УДК 631.4

# ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ

#### П.И. Ильичева

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

В статье рассматривается интегральная оценка окислительно-восстановительного состояния почв. *Ключевые слова*: плодородие, буферная емкость почв, растения, антиоксиданты, биофильные элементы.

# ВВЕДЕНИЕ

Интегральная оценка окислительно-восстановительного состояния почв включает анализ окислительно-восстановительных свойств почв и растений, протекающих в них процессов, и определение оптимального окислительно-восстановительного состояния для компонентов экосистемы (почв, растений, микроорганизмов, водной и воздушной среды).

Окислительно-восстановительное состояние почв является важным индикатором, протекающих в почвах процессов, плодородия и деградации почв. По оценке этого состояния проведены фундаментальные исследования ряда авторов, однако увеличения интенсификации сельскохозяйственного производства требует более углубленной оценки этого показателя.

\_

<sup>©</sup> П.И. Ильичева, 2020

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объекты исследования:

Дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы на покровных отложениях разной степени увлажнения и обыкновенный мощный слабогумусный карбонатный глинистый чернозем на лессовидных карбонатных суглинках Московской области.

Дерново-подзолистые почвы, в которых влага, поступающая из атмосферы, просачивается до уровня грунтовых вод, относятся к почвам с промывным режимом.

Чернозем обыкновенный имеет непромывной режим, в котором мощный слой с постоянно низкой влажностью надежно изолирует почву от влияния грунтовых вод.

# МЕТОДЫ

Методика исследования состояла в интегральной оценке агрохимических и физикохимических свойств почв общепринятыми методами, а также в постановке модельного опыта по оценке окислительно-восстановительного потенциала при изменении свойств почв в условиях избыточного увлажнения. Окислительно-восстановительный потенциал, рН, электропроводность и температура были измерены на приборе РНТ-028. Прибор оснащен выносными профессиональными рН электродом, ОВП электродом, платиновым электродом для измерения удельной электропроводности, совмещенным с датчиком температуры, выполненном в виде нержавеющего щупа.

# РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В статье предлагается уточнение методов оценки окислительно-восстановительного состояния почв:

- 1. Оценка Ећ и параметров с ним взаимосвязанных для почв, почвенных растворов, поверхностных вод, прикорневой зоны растений, для продуктов испарения из почв и транспирации из растений.
- 2. Математическая оценка буферной емкости почв в окислительно-восстановительном интервале.
- 3. Математическая оценка данных потенциостатической кулонометрии почв и почвенных компонентов.
- 4. Оценка в почвах, почвенных растворах, растений антиоксидантов, антирадикальной активности.
- 5. Уточнение агроэкологической оценки окислительно-восстановительного состояния почв с учетом комплексообразования.

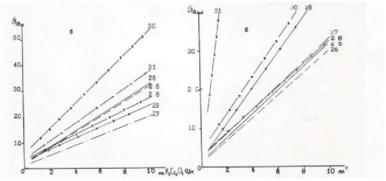


Рисунок 1. Графики окислительно-восстановительной буферной емкости разных типов почв. 25, 26 – солонец; 27 – солонец солончаковый; 28 – солодь; 29, 30 – солончак 0–2 см и 9–20 см, соответственно; 31 – серозем, Ап. (Савич В.И., Кауричев И.С., Шишов Л.Л. и др., 1999).

На рис. 1 представлены графики окислительно-восстановительной буферной емкости разных типов почв. Мы считаем целесообразным указание дополнительно угла наклона кривых более точно характеризующих данный параметр и это необходимо для растворов по регулированию окислительно-восстановительного состояния. Оценка показателей должна рассчитываться с переводом из стандартного масштаба по оси абсцисс и ординат.

Таблица 1. Результаты комплексного исследования.

Место	Почва (гор.)	Увлажнение	рН	ОВП, мВ	Электро- проводность (EC)	t, °C
	Апах	нормальное	4.79	304	200	22.7
	Апах	избыточное	5.62	161	140	23.0
Дерново-	A2	нормальное	4.26	331	300	22.3
подзолистые	A2	избыточное	4.62	148	120	23.0
	A2B	нормальное	4.00	351	220	21.7
	A2B	избыточное	4.84	245	60	22.5
	1/2	нормальное	7.78	195	680	21.1
	1/2	избыточное	7.72	189	780	22.5
Чернозем	2/2	нормальное	7.68	215	660	22.8
обыкновенный	2/2	избыточное	7.72	205	720	22.3
	3/2	нормальное	7.78	223	640	22.3
	3/2	избыточное	7.76	213	680	22.3

По полученным результатам, которые представлены в табл. 1, видно, что показатели рН дерново-подзолистой почвы и чернозема обыкновенного находятся в норме. Кислотность почвы дерново-подзолистой сильно- и среднекислая при оптимальном увлажнении (рН 4.00–4.79), при избыточном увлажнении средне- и слабокислая (рН 4.62–5.62). Кислотность чернозема обыкновенного мало колебалась среднее значение рН составило 7.74.

Показатели электропроводности ниже в образцах с дерново-подзолистой почвой, а в образцах с черноземом обыкновенным значительно выше, из чего можно сделать вывод, что во второй группе исследуемых почв указанному току проще проходить через почву посредством более высокой концентрацией соли. Благодаря измерению электропроводности видно, что на территории с черноземом обыкновенным необходимо проводить мелиоративные работы, а также тщательно подбирать сельскохозяйственные культуры, для получения более высоких урожаев.

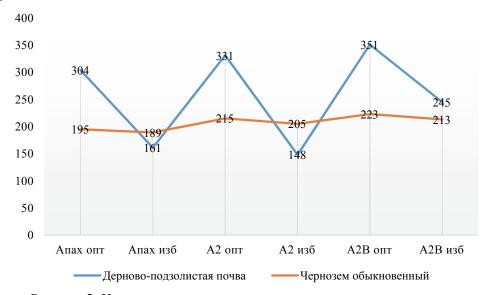


Рисунок 2. Изменение окислительно-восстановительного потенциала.

По данным дерново-подзолистых почв можно проследить, что на переувлажненных почвах происходит резкое падение ОВП, в некоторых случаях почти в два раза. На черноземах ОВП практически не изменяется (в среднем 210 мВ) (рис. 2). Общей тенденцией для этих почв в условиях оптимального увлажнения являются несколько более высокие показатели Еh в горизонтах В по сравнению с гумусовым горизонтом (на 20–50 мВ). Но в периоды избыточной влажности потенциал этих почв, особенно их гумусовых горизонтов, может снизиться. Установлено, что снижение Eh до 350–450 мВ служит обычно показателем среды, в

которой окислительные условия меняются на восстановительные [1]. ОВП порядка 200 мВ и ниже свидетельствуют об интенсивном развитии в почвах восстановительных процессов с типичными признаками глееобразования.

Приведены потенциостатические вольтамперные кривые основных типов почв (рис. 3). В проводимых исследованиях приводится их описание математическими зависимостями (титрование током исключает влияние химического состава титрантов из окисления и восстановления субстрата).

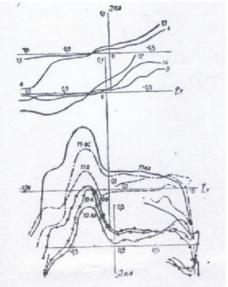


Рисунок 3. Потенциостатические вольтамперные кривые основных типов почв. 4 — черноземно-луговая почва, P-4; 9 — выщелоченный чернозем, P-9; 10 — чернозем обыкновенный: Ап 0–27 см,  $A_1$  27–51 см, B 51–70 см; 11 — серозем: 0–30, 30–70, 75–100 см; 12 — ферралитная почва, P-12; 13 — дерновоподзолистая почва, P-13; 14 — краснозем, P-14; (Савич В.И., Кауричев И.С., Шишов Л.Л. и др., 1999).

Окислительно-восстановительное состояние почв в значительной степени определяет подвижность биофильных элементов и токсикантов в почвах (рис. 4).

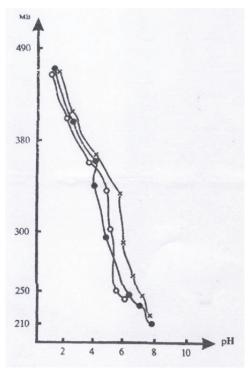


Рисунок 4. Графики зависимости Eh=f(pH) по данным потенциометрического титрования суспензии дерново-подзолистой почвы (Савич В.И., Кауричев И.С., Шишов Л.Л. и др., 1999).

#### ВЫВОДЫ

- 1. Была выявлена взаимосвязь окислительно-восстановительного потенциала с дополнительными параметрами: электропроводностью, pH, радиацией, концентрацией  $CO_2$  и  $NO_3$  и температурой, и необходимость контролировать данные показатели для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Также были обоснованы изменения окислительно-восстановительного состояния почв при разной степени увлажнения.
- 2. Были определены особенности структуры интегральной оценки окислительновосстановительного потенциала почв для оптимизации экологического состояния.
- 3. Для агроэкологической характеристики почв предлагается оценка OB состояния по величинам  $\Delta Eh/(\Delta W \cdot \Delta t)$ , определяющим скорость изменения Eh при затоплении.
- 4. Предлагается оценка  $\Delta$ Fe/ $\Delta$ Eh;  $\Delta$ Mn/ $\Delta$ Eh;  $\Delta$ Al/ $\Delta$ Eh;  $\Delta$ NO<sub>3</sub>/ $\Delta$ Eh, определяющая возможность выращивания на анализируемых почвах отдельных культур.
- 5. Доказывается необходимость составления картограмм ОВП почв, величин  $\Delta Eh/(\Delta W \cdot \Delta t)$ ;  $\Delta X/\Delta Eh$  для корректировки особенностей систем земледелия для почв разной степени гидроморфности.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Духанин Ю.А., Савич В.И., Батанов Б.Н., Савич К.В. Информационная оценка плодородия почв // Издательство ФГНУ «Росинформагротех», Москва. 2006 г, 476 с.
- 2. Седых В.А., Савич В.И., Балабко П.Н. Почвенно-экологический мониторинг // Издательство ВНИИА, Москва, 2013 г, 584 с.
- 3. *Почва*. [Электронный ресурс] URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/Почва (дата обращения 14.02.2019).

Работу рекомендована д.с.-х.н., профессором В.И. Савич.

# INTEGRAL ESTIMATION OF REDUCTIVE-OXIDATIVE SOIL CONSTITUTION P.I. Ilicheva

Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy

The article discusses integral estimation of reductive-oxidative soil constitution. This factor is one of the most important in researching the soil fertility, surge capacity of the soil and plants. It is necessary to analyze this effect on different plants in order to give an integral assessment to the best conditions of each element in ecosystem. This article shows special aspects of reductive-oxidative soil constitution in sod-podzol and typical chernozem soils in overmoisturizing conditions. We analyze this factor and others (pH, conductivity and temperature) which are bright indicators of changes in plants and soil structure. It is necessary to take this point of view into account because due to this features harvest will be increased.

*Keywords*: reductive-oxidative soil constitution, soil fertility, surge capacity of the soil, plants, antioxidants, biophile elements.

# ВЛИЯНИЕ БИОУГЛЯ И РАСТИТЕЛЬНЫХ ОСТАТКОВ НА МИНЕРАЛИЗАЦИЮ АЗОТСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ ИЗБЫТКЕ КАДМИЯ В ПОЧВЕ

# Ю.Р. Искандирова

# Санкт-Петербургский государственный университет

В модельном лабораторном эксперименте на агродерново-подзолистой супесчаной почве изучено действие биоугля и растительных остатков на минерализацию азотсодержащих органических соединений, определяемых по содержанию нитрата и аммония, в процессе трехнедельного компостирования почвы. Установлено, что внесение биоугля и растительных остатков повышало интенсивность аммонификации и нитрификации почвы в условии стресса, вызванного кадмием. Совместное применение биоугля и растительных остатков полностью снимало токсичное действие кадмия на накопление аммония и нитрата в почве. При оценке фитотоксичности почвы растительные остатки элиминировали ингибирующее действие кадмия на длину проростков ячменя.

Ключевые слова: аммонификация, нитрификация, фитотоксичность, проростки ячменя.

#### ВВЕДЕНИЕ

Многими исследователями, изучающими симптомы проявления токсичности тяжелых металлов у сельскохозяйственных культур, было замечено, что кадмий в 2–20 раз токсичнее для растений по сравнению с другими тяжелыми металлами в равных дозах [1, 10]. В Ленинградской области лишь 18.4 % пашни относится к категории чистых почв, остальные 81.6 % пахотных угодий в различной степени загрязнены тяжёлыми металлами. Кадмий поступает в окружающую среду и непосредственно в почву как в виде отходов горнодобывающей промышленности, так и с выхлопными газами автомобилей, а также при внесении удобрений [9]. Действие кадмия в больших количествах различно: он оказывает денатурирующее действие на метаболически важные белки, блокирует ферментные системы и фотосинтетический аппарат растений, разрушает целостность клеточных стенок, клеточный обмен и иногда вызывает гибель клеток [8]. К внешним симптомам токсичного действия кадмия на растения относятся: торможение роста, хлороз и некроз [6]. Концентрация кадмия возрастает в каждом последующем звене пищевой цепи, что делает его особенно опасным для высших организмов, в частности для человека.

Ключевое положение, занимаемое почвой в наземных экосистемах, делает необходимыми разработку и внедрение в производство приёмов по уменьшению токсичного действия кадмия на растения.

Наибольшая корреляция наблюдалась между поступлением тяжелых металлов в растение и содержанием их в водной вытяжке из почв. Для кадмия экологически допустимое количество ежегодного поступления в агродерново-подзолистую супесчаную почву -0.5 кг/га.

Механизмы устойчивости растений к токсическому действию тяжёлых металлов делятся на два типа: внутренние и внешние. Внутренние механизмы включают в себя иммобилизацию ионов в клеточной стенке, детоксикацию поступившего в растение тяжёлого металла с помощью его хелатирования фитохелатинами и органическими кислотами, белками (фитоалексинами, металлотионинами), компартментации в вакуоли, появления устойчивых к тяжёлым металлам ферментов и замене чувствительных к тяжёлым металлам метаболических цепей на более устойчивые [1].

К внешним механизмам можно отнести процессы, препятствующие поступлению тяжелого металла в растение. Эти механизмы реализуются как за счет корневых выделений растений и специальных приёмов, разрабатываемых агрохимической наукой (известкование почв, внесение органических и минеральных удобрений, поддержание оптимального соотношения макро- и микроэлементов в почве), так и за счёт микроорганизмов [2].

Корни растений и микроорганизмы способны выделять хелатирующие лиганды (органические кислоты, сахара, аминокислоты, пептиды, фенолы и т.п.) и ионы, которые предотвращают поступление тяжёлых металлов в растение.

© Ю.Р. Искандирова, 2020

Особую роль в ослаблении токсического действия тяжёлых металлов играют органические удобрения, в частности, растительные остатки как источник гуминовых веществ в почве. Гуминовые вещества способны сорбировать ионы тяжёлых металлов, что приводит к снижению поступления их в растения. Обладая аналогичными, но более сильными сорбционными свойствами биоуголь получил широкое распространение в качестве почвенного мелиоранта. Однако растительные остатки являются не только источником гуминовых веществ. При их минерализации образуется целый ряд простых органических соединений, которые способны связывать и выводить тяжелые металлы из биологического круговорота. Кроме того растительные остатки являются основным субстратом для почвенных микроорганизмов [5].

Микроорганизмы при взаимодействии с тяжёлыми металлами, в частности кадмием, способны не только адаптироваться к ним, но изменять состояние металлов в почве: их формы, валентность, подвижность, а, следовательно, и токсичность. Подвижность металлов существенно снижается за счёт сорбции и закрепления их микроорганизмами. Бактерии могут аккумулировать ионы металлов внутри клеток [7], а также на поверхности клеток, образуя комплексы с полимерами [4] или обменивая ионы тяжёлых металлов с ионами клеточной стенки. До 10 % кадмия, внесённого в почву, может связываться микроорганизмами.

Внесение растительных остатков увеличивает биомассу бактерий, выработку ими мета-болитов, способных связывать ионы кадмия в недоступные для растений комплексные соединения (хелаты). Биоуголь может значительно уменьшить содержание кадмия в почве, сорбируя его. Мы предположили, что совместное внесение в почву растительных остатков и биоугля значительно снизит токсичное действие кадмия на процессы аммонификации и нитрификации.

Цель исследования — изучить влияние биоугля и растительных остатков на интенсивность процессов минерализации азотсодержащих соединений при избытке кадмия в почве.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования – агродерново-подзолистая супесчаная почва, отобранная в Ленинградской области (посёлок Меньково, база Агрофизического института).

В качестве действующих веществ применяли биоуголь, бобово-злаковые растительные остатки и кадмий (CdCl<sub>2</sub>). Опыт включал 8 вариантов: контроль – почва (П); почва + биоуголь (П+БУ); почва + растительные остатки (П+РО); а также совместное внесение биоугля с растительными остатками (П+БУ+РО) на фоне кадмия и без него. Компостирование проводили в оптимальных гидротермических условиях в 3-кратной повторности.

Биоуголь и бобово-злаковые растительные остатки, состоявшие из клевера и тимофеевки в равных отношениях, внесены в сосуды из расчета 3 г/кг сухой почвы.

Кадмий внесен в почву в дозе 50 мг/кг, что выше ПДК в 10 раз. Время компостирования почвы – 3 недели.

Для определения фитотоксичности кадмия использовали 7-дневные проростки ячменя финского сорта Потра 2016 года репродукции. Определение концентрации в почве аммония и нитрата проведено общепринятыми колориметрическими методами [3]. Математическая обработка проведена в программе IBM SPSS.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В таблице 1 показано влияние биоугля и растительных остатков на накопление аммония в почве, загрязненной кадмием. Установлено, что первый процесс минерализации азотсодержащих органических соединений, определяемый по накоплению аммония в почве, в наибольшей степени ингибировался кадмием (–74 %) в контрольной почве без применения биопрепаратов. Биоуголь снизил токсичность кадмия в два раза, а растительные остатки – в 4 раза. Совместное применение биоугля и растительных остатков полностью элиминировало ингибирование кадмием накопления N-NH<sub>4</sub> в почве.

Таблица 1. Влияние биоугля и растительных остатков на ингибирование кадмием накопления N-NH<sub>4</sub> в почве (в %).

Вариант	без Cd, мг/кг	c Cd, мг/кг	% ингибирования
Почва (П)	7.47 b	1.82 a	74
П+БУ	6.67 ab	4.65 ab	35
П+РО	8.89 b	6.47 ab	18
П+БУ+РО	6.46 ab	9.50 b	0

В таблице 2 показано влияние биоугля и растительных остатков на ингибирование кадмием процесса окисления аммония до нитрата. Наибольший процент ингибирования кадмием накопления N-NO<sub>3</sub> (30 %) установлен для контрольной почвы. Применение биоугля снизило токсичность кадмия на 7 %, а применение растительных остатков — в 7 раз. Совместное применение биоугля и растительных остатков снизило процент ингибирования кадмием накопления N-NO<sub>3</sub> в почве почти в 2 раза. Таким образом, растительные остатки оказали наибольшее влияние на снижение токсичности кадмия в почве.

Таблица 2. Влияние биоугля и растительных остатков на накопление нитрата в почве, загрязненной кадмием.

Вариант	без Cd, мг/кг	c Cd, мг/кг	% ингибирования
Почва (П)	61.09 e	42.76 c	30
П+БУ	49.08 d	37.41 b	23
П+РО	22.64 a	21.61 a	4
П+БУ+РО	48.79 d	40.98 bc	16

Токсичное действие кадмия на нитрифицирующую способность почвы было наибольшим в варианте без применения биопрепаратов (31 %). При внесении биоугля токсичность кадмия снизилась в 2 раза по сравнению с фоном, а при внесении растительных остатков и совместном внесении биоугля и растительных остатков токсичность кадмия не проявлялась в отношении нитрифицирующей способности почвы.

Проведена оценка фитотоксичности кадмия в отношении 7-дневных проростков ячменя сорта Потра (рис. 1). Фитотоксичность кадмия была наибольшей в почве без биопрепаратов. При добавлении в почву растительных остатков, а также при их совместном применении с биоуглем, кадмий не оказывал токсичного действия на длину проростков. В варианте с биоуглем (как с кадмием, так и без него) длина 7-дневных проростков ячменя была наименьшей, по-видимому, из-за токсичности биоугля.

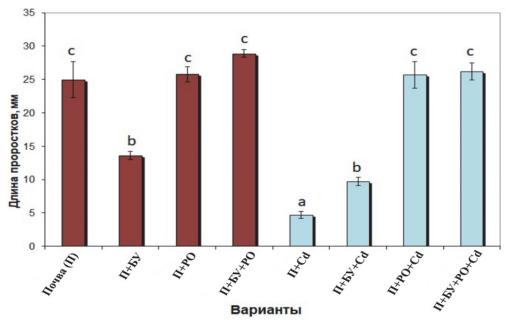


Рисунок 1. Влияние биоугля и растительных остатков на длину 7-дневных проростков ячменя в почве, загрязненной кадмием, мм.

#### ВЫВОДЫ

- 1. Совместное применение биоугля и растительных остатков полностью элиминировало ингибирование кадмием накопление аммония в почве.
- 2. Биоуголь снизил ингибирование кадмием накопление нитрата в почве на 7 %, а растительные остатки в 7 раз.
- 3. При определении фитотоксичности растительные остатки снимали ингибирующее действие кадмия на длину проростков ячменя.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Гаральчук Ж.3*. Механизмы устойчивости растений к тяжелым металлам. Физиология и биохимия культурных растений, 1994. Т. 26. № 2. С. 111–112.
- 2. Добровольский Г.В., Гришина Л.А. Охрана почв. М., 1985. 224 с.
- 3. Крейер К.Г., Банкина Т.А., Орлова Н.Е., Юрьева Г.М. Практикум по агрохимическому анализу почв. Издательство Санкт-Петербургского университета, 2005. С. 53–66.
- 4. Руэце К., Кыстя С. Борьба с загрязнением почвы. М.: Агропромиздат, 1986. 221 с.
- 5. *Садовникова Л.К.*, *Зырин Н.Г.* Показатели загрязнения почв тяжелыми металлами почвенном химическом мониторинге. Почвоведение, 1985. № 10. 84 с.
- 6. *Химия тяжелых металлов*, мышьяка и молибдена в почвах (ред. Зырин Н.Г. и Садовникова Л.К.). Издательство Московского университета, 1985. 206 с.
- 7. Belimov A.A., Safronova V.I., Sergeyeva T.A., Egorova T.N., Matveyeva V.A., Tsyganov V.E., Borisov A.Y., Tikhonovich I.A., Kluge C., Preisfeld A., Dietz K.J., Stepanok V.V. Characterization of plant grows promoting rhizobacteria isolated from polluted soils and contaning 1-aminocyclopropane-1-carboxylate deaminase. Microbiology, 2001. V. 47. P. 642–652.
- 8. Chen Q., Lu X., Guo X., Pan Y., Yu B., Tang Z., Guo Q., Differential responses to Cd stress induced by exogenous application of Cu, Zn or Ca in the medicinal plant *Catharanthus roseus*. Ecotoxicology and Environmental Safety, Vol. 157, 2018, p. 266–275.
- 9. Gallego S.M., Pena L.B., Barcia R.A., Azpilicueta, C.E., Iannone M.F., Rosales, E.P., Zawoznik M.S., Groppa M.D., Benavides M.P., Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: insight into regulatory mechanisms. Environ. Exp. Bot. 83, 2012, p. 33–46.
- 10. Hu L., Wan J., Zeng G., Chen A., Chen G., Huang Z., He K., Comprehensive evaluation of the cytotoxicity of CdSe/ZnS quantum dots in *Phanerochaete chrysosporium* by cellular uptake and oxidative stress, Environ. Sci. Vol. 4, 2017, p. 10.

Работа рекомендована к.б.н., старшим преподавателем Т.А. Банкиной.

# THE EFFECT OF BIOCHAR AND PLANT RESIDUES ON THE MINERALIZATION OF NITROGEN-CONTAINING COMPOUNDS WITH AN EXCESS OF CADMIUM IN THE SOIL

#### Y.R. Iskandirova

# St. Petersburg State University

The objectives of the model laboratory experiment was to study the effect of biochar and plant residues on the formation of nitrogen compounds available to plants in the process of three-week soil composting.

It has been established that the application of biochar and plant residues increases the intensity of ammonification and nitrification of the soil under stress caused by cadmium.

The combined use of biochar and plant residues completely eliminated the toxic effect of cadmium on the accumulation of ammonia and the nitrifying ability of the soil.

Plant residues removed the inhibitory effect of cadmium on the length of barley seedlings.

*Keywords:* ammonification, nitrification, phytotoxicity, barley seedlings.

# УДК 631.4

# ЭМИССИЯ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ ИЗ ПОЧВ И ТЕХНОГЕННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ СЕЛИТЕБНОЙ ЗОНЫ ГОРОДА (НА ПРИМЕРЕ ПОСЕЛКА КОММУНАРКА ГОРОДА МОСКВЫ)

# А.В. Коваленко

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

В статье рассмотрены закономерности эмиссии метана и углекислого газа из почв и техногенных поверхностных образований в селитебной зоне интенсивно застраиваемого района города. Показано уменьшение эмиссии метана с увеличением возрастом застройки при одновременном снижении концентрации этого газа в профиле почв и активности его бактериального образования. Выделение углекислого газа в атмосферу также снижается с увеличением возраста жилых районов и трансформацией молодых рекультивационных горизонтов в серогумусовые.

Ключевые слова: метан, углекислый газ, городские почвы, выделение газов из почв

#### Введение

Метан и углекислый газ – парниковые газы, при этом вклад метана в парниковый эффект в 25 раз выше, чем у углекислого газа. С парниковым эффектом связывают повышение глобальной температуры нашей планеты. Количество метана и углекислого газа в атмосфере неуклонно растет. По сравнению с доиндустриальной эпохой содержание метана удвоилось, углекислого газа – выросло на 40 % [9]. Еще одна опасность – это образование биогаза в газогенерирующих грунтах и возможность его накопления до пожаровзрывоопасных концентраций. В связи с вышесказанным тема исследования, как никогда, актуальна, особенно из-за высоких темпов строительства в городах.

Цель – оценка эмиссии метана и углекислого из почв и ТПО селитебной зоны города в зависимости от возраста застройки и положения в рельефе.

#### Задачи:

- Выявить особенности образования, содержания, окисления и эмиссии СН<sub>4</sub> из почв и ТПО разного времени образования и увлажнения;
- Установить закономерности содержания и эмиссии CO<sub>2</sub> из почв и ТПО разного времени образования и увлажнения;
- Оценить опасность разных типов почв и ТПО как источников парниковых газов в атмосферу.

# ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Коммунарка – один из интенсивно застраиваемых районов Новой Москвы, находится в юго-западной части города, в 4-х км от Московской кольцевой автодороги. До 60-х годов прошлого века на территории исследуемого района, изрезанной оврагами, располагался совхоз. В начале 60-х годов были построены первые жилые дома. К 2003 году были построены еще несколько домов. После 2009 года началась активная застройка территории современными жилыми кварталами. Большое количество домов построено к 2014 году. На территории поселка в июле 2018 года исследованы участки 1960-х гг. застройки, 2003, 2009 и 2014 годов.

При строительстве создается много насыпных грунтов, содержащих строительный и бытовой мусор, который, разлагаясь, делает эти грунты источником метана и углекислого газа на долгое время. Застройка пойм рек, засыпание оврагов сопровождается погребением строительного мусора и природного органического материала, что может так же стать причиной увеличения интенсивности образования парниковых газов. При благоустройстве селитебных зон создаются рекультивационные торфокомпостные горизонты. Трансформация органического вещества в них влияет на образование и выделение метана и углекислого газа.

<sup>©</sup> А.В. Коваленко, 2020

Эмиссия газов с поверхности почвы определялась статическим камерным методом, в 5 повторностях на 1 м² у каждого разреза [8], концентрация газов – путем размещения пробоотборников в скважины, соответствующие глубинам горизонтов, и последующим анализом воздушных проб на газовом хроматографе Кристаллюкс 4000М. Биологические параметры, такие как активность бактериального окисления и образования метана были определены кинетическим методом с инкубированием в закрытых флаконах (по поглощению и выделению метана, соответственно). На стенках разрезов в 5 повторностях в каждом горизонте измерялся окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) прибором НІ 8314 (рН/mV/°C, Hanna Instruments). Потенциометрическим методом определен рН водной суспензии, фотометрическим – содержание углерода органического вещества почв [2].

# РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Почвенный покров района исследования

Почвенный покров селитебной зоны был представлен реплантоземами (техногенными поверхностными образованиями (ТПО)) и серогумусовыми техногенными почвами (названия по Прокофьевой Т.В. и др., 2014 г., [6])

Реплантоземы — это ТПО, образованные двумя типами горизонтов: техногенными (ТСН) и рекультивационными гумуссированными горизонтами на их поверхности (RAT). Техногенные горизонты представляют собой неоднородный по гранулометрическому составу, переуплотненный (до  $1.7-1.8~\text{г/cm}^3$ ), содержащий включения строительного мусора (древесина, кирпич, щебень и т.д.) субстрат, характеризующийся небольшим количеством органического углерода (0.1-0.9~%), р $H_{\rm H2O}$  до 7.7 и окислительными условиями (ОВП от 460 до 500 мВ). Поверхностные горизонты отличались по содержанию органического углерода: в группе 2014 года опесчаненные торфо-компостные смеси имели больше 10 % органического углерода, в 2009 году — его содержание уменьшалось до 7 %, в 2003 и старше — до 1-2~%. р $H_{\rm H2O}$  6.3–7.7, ОВП 460–520 мВ.

Профиль серогумусовых техногенных почв так же состоит из 2 типов горизонтов – техногенных и поверхностных серогумусовых (АҮ). Техногенные горизонты по свойствам не отличаются от реплантоземов. Серогумусовые горизонты, в отличие от RAT, лучше оструктурены и характеризуются невысоким содержанием органического углерода (до 1.8%),  $pH_{H2O}$  6.6–7.1, OBП 480–510 мВ.

В качестве фона для сравнения техногенных горизонтов почв селитебной зоны выступал иллювиальный горизонт серой почвы парка (названа по Классификации и диагностике почв России, 2004), с типичными для него свойствами: слабокислой реакцией среды (р $H_{\rm H2O}$ 5.8) и содержанием органического углерода 0.1 %. Парк ранее не застраивался.

По увлажнению выделяется территория поймы реки Малая Сосенка, где обнаружены техно-перегнойно-глеевая и перегнойно-глеевая почвы. Эти почвы объединяют низкие значения ОВП в глеевых переувлажненных частях профиля (124–202 мВ) и р $H_{\rm H2O}$  6.4–7.0. Отличие первой почвы от второй в ее нарушенности, наличии техногенного фрагмента с повышенным рН 7.3 и включений бытового мусора.

#### Образование метана

Интенсивность образования метана в реплантоземах падает с увеличением возраста застройки (рис. 1). Максимальной она была в торфокомпостных горизонтах молодых реплантоземов с содержанием органического углерода больше  $10\,\%$ . При снижении количества органического углерода до  $1{\text -}2\,\%$  скорость образования падает на  $1{\text -}2$  порядка.

В ТПО старше 2003 года и серогумусовых почвах активность образования метана приближена к природным величинам серой почвы парка. Высокие скорости метаногенеза характерны для перегнойных и глеевых горизонтов переувлажненных почв поймы реки Малая Сосенка.

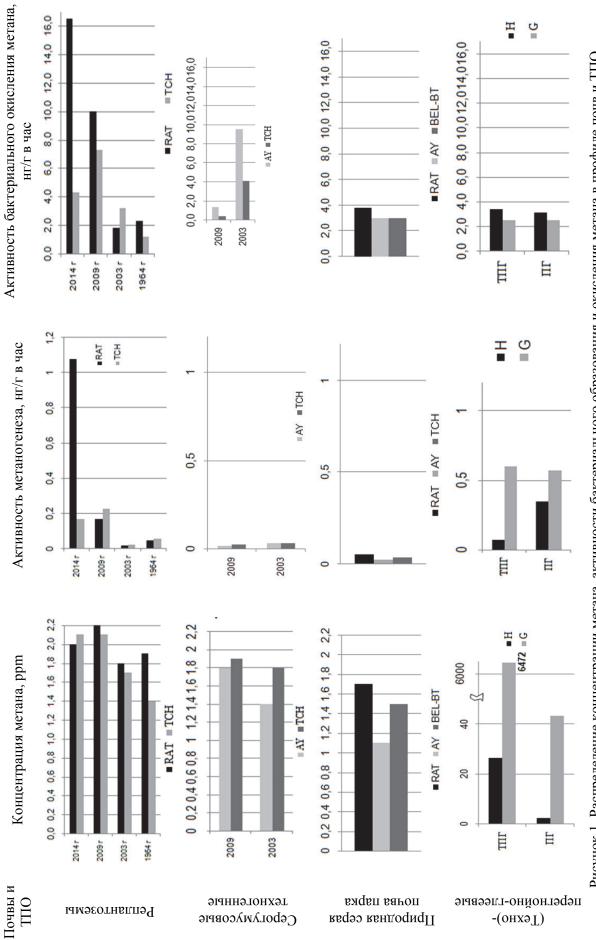


Рисунок 1. Распределение концентрации метана, активности бактериального образования и окисления метана в профиле почв и ТПО. ТПГ – техно-перегнойно глеевые; ПГ – перегнойно-глеевые.

#### Концентрация метана

Распределение концентрации метана по профилю почв сходно с распределением метаногенеза (рис. 1). В техногенных горизонтах реплантоземов концентрация метана падает с увеличением возраста застройки от 2.2 до 1.4 ppm. В серогумусовых почвах она ниже, чем в реплантоземах того же возраста. Только в техногенных горизонтах 1964 года создания концентрация метана опускается до природных величин. Максимальное содержание СН<sub>4</sub> наблюдается в глеевых горизонтах техно-перегнойно-глеевых почв — 6472 ppm. Эта величина по строительным нормативам (СП 47.13330.2012) является потенциально опасной. Концентрация метана в поверхностных горизонтах здесь понижается до 26.3 ppm.

#### Окисление метана

Активность бактериального окисления метана в реплантоземах падает с увеличением возраста застройки при уменьшении концентраций и интенсивности образования метана (рис. 1). В верхних горизонтах она падает от 10.0–16.5 нг/г в час в 2014 г до 2 нг/г в час в 1964 г., в техногенных горизонтах – от 5–6 нг/г в час (2014 год) до 3–4 нг/г в час в 2003 году и до 1 нг/г в час в 1964 г. Таким образом, в ТПО старше 2003 года и серогумусовых почвах она приближена к природным величинам почвы парка.

Несмотря на большие концентрации метана в перегнойно-глеевых почвах, скорость метаноокисления в них невысокая (2.5–3.5 нг/г в час), что связано с дефицитом кислорода.

Из всех исследованных ТПО выделялись реплантоземы в двух ключевых участках. В отличие от остальных ТПО в них наблюдалось повышение бактериального окисления и концентрации метана вниз по профилю. При этом скорость образования метана там падала. Исходя из этого, можно предположить наличие глубинных источников аллохтонного метана. Ими могут быть погребенные газогенерирующие насыпные грунты.

#### Эмиссия метана

По медианным значениям эмиссия метана в атмосферу из реплантоземов и серогумусовых почв отсутствовала или была крайне низкой — до  $0.01 \, \mathrm{mr} \, \mathrm{CH_4/m^2} \, \mathrm{g}$  час (табл. 1). Однако практически везде отмечались локальные проявления эмиссии. В зависимости от возраста застройки территории отличалась частота встречаемости и максимумы эмиссий метана в атмосферу. Так, наиболее часто — в 30– $60 \, \%$  случаев, эмиссия метана отмечалась из реплантоземов  $2014 \, \mathrm{u} \, 2009 \, \mathrm{roga} \, \mathrm{coздания}.$  Максимум эмиссии приурочен к реплантозему  $2014 \, \mathrm{roga} \, \mathrm{u} \, \mathrm{coставляет} \, 5.25 \, \mathrm{mr} \, \mathrm{CH_4/m^2} \, \mathrm{g} \, \mathrm{vac}.$  Из почв и ТПО более зрелого возраста максимумы эмиссии не превышали  $0.02 \, \mathrm{mr} \, \mathrm{CH_4/m^2} \, \mathrm{g} \, \mathrm{vac}.$  Эмиссия метана из природной серой почвы парка не проявлялась, наоборот, происходило поглощение метана из атмосферы с интенсивностью  $0.02 \, \mathrm{mr/m^2} \, \mathrm{g} \, \mathrm{vac}.$  Это согласуется с литературными данными для лесопарковых территорий Москвы [1].

Таблица 1. Эмиссия метана (мг CH<sub>4</sub>/м<sup>2</sup> в час).

Стат.		Реплаг	нтоземы			иусовые генные	Серая почва парка	Техно- перегнойно- глеевая	Перегнойно- глеевая
110Ku3u103111	2014	2009	2003	1964	2009	2003			
Медиана	-0.01	0.01	-0.01	0.00	0.00	0.00	-0.02	0.12	0.01
Максимум	5.25	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.30	0.03
Частота встречаемости эмиссии, %	30	60	0	20	0	20	0	100	35

Только из переувлажненных почв поймы реки Малая Сосенка наблюдалась эмиссия метана в атмосферу из всех точек опробования. Наибольшая интенсивность характерна для техно-перегнойно-глеевой почвы с максимальной скоростью метаногенеза и концентрацией метана. Здесь эмиссия достигает 57.15 мг  ${\rm CH_4/m^2}$  в час. Это высокие показатели, соответствующие болотным почвам [5]. Эмиссия  ${\rm CH_4}$  из ТПО строительных площадок Москвы варьировала в пределах 0.01-2.9 мг/м² в час [3], а на полигонах ТБО, не использовавшихся 15 лет, максимально составляла 150 мг/м² в час [4].

На исследованных нами участках в местах локальных максимумов эмиссии из реплантоземов 2014 года отмечалось повышение содержания метана в атмосфере до 5 ppm. Это в 2.7 раз выше фоновой среднепланетарной концентрации метана в атмосфере [9]. Над техноперегнойно-глеевыми почвами концентрации метана в атмосфере повышались до 36 ppm. Эти величины достигают половины показателя ОБУВ для метана в воздухе населенных мест (ГН 2.1.6.2309-07).

# Концентрация углекислого газа

В реплантоземах и серогумусовых техногенных почвах концентрация углекислого газа почти всегда была выше в техногенных горизонтах. При этом она уменьшалась от реплантоземов 2014 года, где составляла в среднем 6645 ppm, к реплантоземам более раннего года создания — до 2800—4500 ppm. В серогумусовых техногенных почвах отмечалась такая же тенденция. В горизонтах ТСН 2014 и 2009 года создания содержание  $CO_2$  нередко превышает уровни природных иллювиальных горизонтов серых почв парка, при этом содержание органического углерода в них сопоставимо низкое. Повышение  $CO_2$  мы связываем с разложением локальных включений органогенного материала в молодых почвах и ТПО (кусков древесины, остатков ткани и др.). Содержание углекислого газа в верхних горизонтах варьирует не сильно и соответствует средним значениям, известным по литературе для автоморфных почв (0.25 %, [8]). Возможно, накопления  $CO_2$  здесь не происходит из-за его интенсивного выделения в атмосферу.

#### Эмиссия углекислого газа

Наибольшая эмиссия углекислого газа наблюдалась в самых молодых реплантоземах (2014 г.) и серогумусовых почвах 2009 г. (табл. 2), что коррелировало с высокой концентрацией этого газа в их техногенных горизонтах. При уменьшении количества органического углерода в рекультивационных горизонтах ТПО 2003 и 1964 гг. и уменьшении  $CO_2$  в техногенных горизонтах эмиссия снижалась в 1.2–2.0 раза, соответственно. Для серогумусовых техногенных почв отмечена такая же тенденция: эмиссия снижалась из почв 2003 года по сравнению с 2009. Можно сказать, что эмиссия из почв и ТПО 2003 г. соответствовала величинам взятой нами за фон серой почвы парка. Не превышали этих значений и медианные значения переувлажненных перегнойно-глеевых почв, за исключением локального максимума, отмеченного в техно-перегнойно-глеевой почве. В других работах на эту же тему [7] получены схожие результаты — превышение эмиссии из селитебных зон города на 30 % по сравнению с фоновыми значениями. Эмиссия  $CO_2$  из почв городских газонов по литературным данным составляет 700-960 мг  $CO_2/M^2$  в ч [10].

Таблица 2. Эмиссия углекислого газа (мг  $CO_2/M^2$  в час).

Стат. пока-		Реплан	тоземы			мусовые генные	Серая почва парка	Техногенно- перегнойно- глеевая	Перегнойно- глеевая
затели	2014	2009	2003	1964	2009	2003			
Медиана	1015	275	833	527	932	783	736	494	836
Максимум	2591	204	140	125	479	420	385	1297	50

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эмиссия метана в атмосферу наблюдается из молодых реплантоземов, созданных в 2014 году и раньше, а также из техно-перегнойно-глеевых почв.

Для реплантоземов эмиссия связана с повышенной активностью образования метана в рекультивационных горизонтах. Активности бактериального окисления метана в поверхностных горизонтах не всегда достаточно для полной утилизации образующегося метана. Тогда как глубинные потоки метана в автоморфных реплантоземах окисляются полностью. Интенсивность образования метана в реплантоземах падает с увеличением возраста застройки. В ТПО старше 2003 года и серогумусовых почвах она уже приближена к природным величинам. Поэтому эмиссии метана в атмосферу здесь не происходит.

Эмиссия метана из техно-перегнойно-глеевых почв обусловлена низкой метанокисляющей активностью в восстановительных условиях и максимальна среди всех исследованных почв.

Источником углекислого газа в атмосферу, более мощным, чем природные почвы, могут быть молодые реплантоземы, созданные раньше 2014 года. Эмиссия углекислого газа из ТПО 1964 года создания снижалась в 2 раза.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Визирская М.М., Тихонова М.В., Щепелева А.С. и др. Экологическая оценка функции регулирования состава атмосферного воздуха подзолистых почв лесных экосистем в условиях московского мегаполиса (на примере ЛОД РГАУ-МСХА) // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук, 2015. № 9-2, С. 1–9.
- 2. *Воробьева Л.А.*, 1998. Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ. 272 с.
- 3. *Лебедь-Шарлевич Я.И*. Оценка и прогноз газогеохимического состояния и экологических функций почв на техногенных грунтах (на примере г. Москвы). Дис. ... канд. биол. наук. МГУ им. Ломоносова, 2017. с. 1–176.
- 4. *Каллистова А.Ю., Глаголев М.В., Шнырев Н.А. и др.* Эмиссия метана с поверхности полигона захоронения бытовых отходов в зависимости от возраста полигона и от времени года // Экологическая химия, 2006. Т. 15. Вып. 1. с. 13–21.
- 5. Паников Н.С., Зеленев В.В. Эмиссия CO<sub>2</sub> и CH<sub>4</sub> из северных болот в атмосферу: динамика, влияние экотопических факторов и возможные механизмы регуляции // Материалы I Межд. конф. «Криопедология» (Криогенные почвы: влияние криогенеза на процессы и особенности почвообразования). Пущино. 1992. С. 174–181.
- 6. *Прокофьева Т. В., Герасимова М.И., Безуглова О.С. и др.* Введение почв и почвоподобных образований городских территорий в классификацию почв России//Почвоведение, 2014. № 10. С. 1155–1164.
- 7. *Саржанов Д.И., Васенев В.И., Сотникова Ю.Л. и др.* Краткосрочная динамика и пространственная неоднородность эмиссии СО<sub>2</sub> почвами естественных и городских систем центрального черноземного региона // Почвоведение, 2015, №4, с. 469–478.
- 8. Смагин А.В., 2005. Газовая фаза почв. М.: Изд-во МГУ. 301 с.
- 9. Carbon and other biogeochemical cycles // IPCC, 2013. Climate Change 2013. The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds. Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner et al. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Press C.U., 2013. PP. 465–570.
- 10. *Decina S.*, 2016. Soil respiration contributes substantially to urban carbon fluxes in the greater Boston area / S.M. Decina [et al.] // Environmental Pollution / ed. by B.V. Elsevler. No. 212. P. 433–439.

Работа рекомендована к.б.н., с.н.с. С.А. Кулачковой.

# EMISSION OF GREENHOUSE GASES FROM THE SOIL AND TECHNOGENIC SURFACE FORMATIONS OF THE RESIDENTIAL ZONE OF THE CITY (FOR EXAMPLE, THE VILLAGE KOMMUNARKA OF MOSCOW)

# A.V. Kovalenko

The article discusses the patterns of methane and carbon dioxide emissions from soils and technogenic surface formations in the residential area of the intensively built up area of the city. It is shown that methane emissions decrease with increasing building age while reducing the concentration of this gas in the soil profile and the activity of its bacterial formation. The emission of carbon dioxide into the atmosphere also decreases with increasing age of residential areas and the transformation of young reclamation horizons in gray-humic horizons.

Keywords: methane, carbon dioxide, urban soils, gas efflux from soils.

# ПОВЕДЕНИЕ ВОДО- И КИСЛОТОРАСТВОРИМЫХ ФОРМ КРЕМНИЯ В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ДИАТОМИТА

#### А.В. Козлов

# Нижегородский государственный педагогический университет

В микрополевом опыте, заложенном на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, изучали влияние высоких доз диатомовой породы на подвижность кремниевых соединений. Установлено, что за счет внесения в почву от 3 до 12 т/га диатомита содержание водорастворимой фракции кремния в виде монокремниевых кислот увеличивается на 21–56 мг/кг, содержание кислоторастворимых фракций, наиболее связанных с коллоидной матрицей почвы — на 146–388 мг/кг. Данные результаты показывают возможность пополнения почвенного раствора и коллоидной части дерново-подзолистой почвы значительным количеством растворимых форм элемента за счет применения диатомовой породы.

Ключевые слова: растворимые соединения кремния, диатомит, дерново-подзолистая почва.

Растворимые соединения кремния являются неотъемлемыми компонентами почвенного раствора и принимают активное участие в формировании различных свойств почвы. В частности, полимеризованные формы кремниевых кислот способны к формированию коллоидных частиц и оструктуренности микроагрегатов [1, 10, 11]. Мономеры растворимых силикатов участвуют в замещении фосфат-аниона их нерастворимых ортофосфатов кальция, железа и алюминия. Последний подвергается связыванию за счет образования труднорастворимых алюмосиликатов при взаимодействии с монокремниевой кислотой [2, 9]. Растения усваивают обе формы элемента, которые принимают участие в образовании кремнецеллюлозной мембраны в клеточных стенках [9, 12]. За счет данного процесса растительный организм приобретает устойчивость к неблагоприятным погодным условиям, а также к атакам насекомых-вредителей и возбудителей болезней [2, 3, 13].

В последние годы отдельное внимание кремнийсодержащим компонентам в почвах уделяется не столько с позиции изучения их формирующей минеральную матрицу функции, но также с позиции формирования запаса лабильных компонентов, участвующих в ионообменных процессах системы «коллоидная матрица – почвенный раствор» [4, 6, 8].

По современным представлениям сведений о влиянии высококремнистых материалов на формирование вышеуказанной подвижно-коллоидной системы крайне недостаточно. В связи с этим целью наших исследований явилось изучение действия высоких доз ( $\mathcal{I}_1=3$  т/га,  $\mathcal{I}_2=6$  т/га и  $\mathcal{I}_3=12$  т/га) диатомита Инзенского месторождения (г. Инза, Ульяновская область) на содержание в дерново-подзолистой легкосуглинистой почве наиболее лабильных кремниевых веществ.

Микрополевой эксперимент проводили в течение 3-х лет (2015—2017 гг.) в условиях Борского района Нижегородской области на одном из полей картофелеводческого предприятия ООО «Элитхоз». Диатомит вносили в пахотный горизонт (15 см) однократно в летний период 2014 г., после чего в 2015 году выращивали озимую пшеницу (*Московская 39*), в 2016 году – ячмень (*Велес*) и в 2017 году – горох посевной (*Чишминский 95*), повторность в опыте – четырехкратная [5]. Почву с делянок (1 м²) отбирали непосредственно после уборки урожая сельскохозяйственных культур, после чего анализировали на базе Эколого-аналитической лаборатории мониторинга и защиты окружающей среды Мининского университета. В образцах определяли содержание подвижных соединений кремния из водной (актуальная форма) и солянокислой (потенциальная форма) вытяжек спектрофотометрическим методом по Матыченкову [7].

Данные рисунка 1 показывают изменения наиболее подвижных фракций кремния в почве, произошедшие под действием диатомовой породы. Было установлено, что на фоне внесения 3 т/га материала содержание водорастворимых соединений кремния в 2015 году увеличивалось на 13 мг/кг, в 2016 году – на 22 мг/кг, в 2017 году – на 29 мг/кг.

<sup>©</sup> А.В. Козлов, 2020

Кроме того, чем выше доза породы, тем мера увеличения рассматриваемой формы элемента в почве оказывалась сильнее (на фоне 6–12 т/га диатомита увеличение показателя по отношению к контролю достигало 20–81 мг/кг и 18–77 мг/кг почвы соответственно).

В среднем за годы исследования на вариантах  $Д_2$  и  $Д_3$  было выявлено наибольшее количество водорастворимой фракции кремнезема — 70—66 мг/кг почвы. Применение диатомита способствовало не только поддержанию уровня концентрации легкоподвижной формы элемента, но и пролонгированно влияло на темпы увеличения данного показателя. Доза в 12 т/га не способствовала еще большему содержанию водорастворимого кремния в почве по отношению к дозе в 6 т/га.

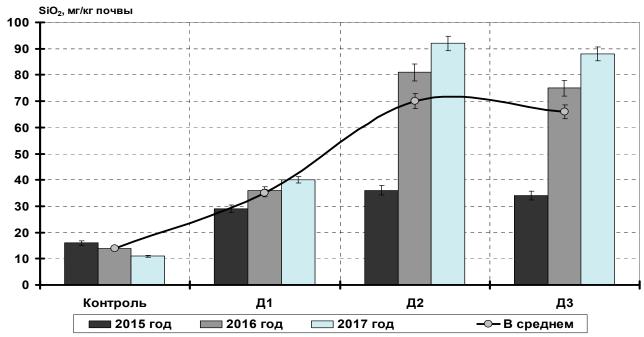


Рисунок 1. Динамика содержания водорастворимых соединений кремния в дерново-подзолистой почве под действием диатомита, 2015—2017 гг. ( $\Pi_1 = 3 \text{ T/ra}$ ,  $\Pi_2 = 6 \text{ T/ra}$  и  $\Pi_3 = 12 \text{ T/ra}$ )

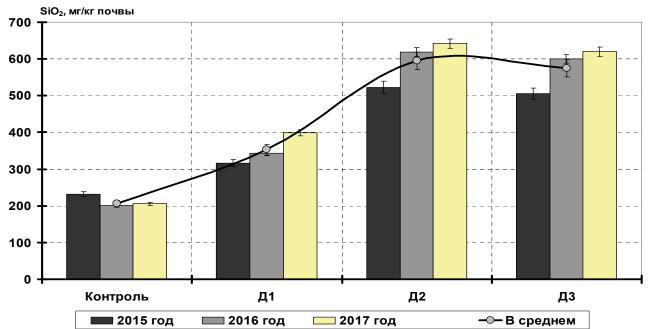


Рисунок 2. Динамика содержания кислоторастворимых соединений кремния в дерново-подзолистой почве под действием диатомита, 2015–2017 гг. (Д $_1$  = 3 т/га, Д $_2$  = 6 т/га и Д $_3$  = 12 т/га).

Накопление в почве кислоторастворимых соединений кремния, переходящих в солянокислую вытяжку, под действием высоких доз диатомита проявляло себя сходным образом (рис. 2). В опыте установлен эффект увеличения содержания рассматриваемой формы элемента в почве от 1-го года к 3-му на всех вариантах: от 104 мг/кг до 173 мг/кг на варианте  $Д_1$ , от 310 мг/кг до 436 мг/кг на варианте  $Z_2$  и от 293 мг/кг до 414 мг/кг на варианте  $Z_3$ . При этом, как видно, вариант  $Z_3$  характеризовался наибольшим влиянием породы на рассматриваемый показатель.

В среднем за три года исследования содержание кислоторастворимой фракции кремния в почве варьировало от 353 мг/кг до 575 мг/кг в зависимости от дозы породы, что в 1.7—2.8 раза оказалось выше контрольного значения.

Таким образом, полученные результаты определенно дают представление о значительном положительном влиянии вещества диатомовой породы на содержание в почвенном растворе и в коллоидной части дерново-подзолистой почвы подвижных форм кремния.

# ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Боброва Е.К.* Биогенный кремний почв сложного генезиса: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 1995. 18 с.
- 2. Бочарникова Е.А., Матыченков В.В., Матыченков И.В. Кремниевые удобрения и мелиоранты: история изучения, теория и практика применения // Агрохимия. 2011. № 7. С. 84–96.
- 3. *Гольева А.А.* Фитолиты и их информационная роль в изучении природных и археологических объектов. М.; Сыктывкар; Элиста, 2001. 120 с.
- 4. *Гребенщикова Е.А., Юст Н.А., Пыхтеева М.А.* Влияние химической мелиорации путем внесения золошлаковых отходов на физико-химические свойства почвы // Вестник Крас-ГАУ. 2016. № 6 (117). С. 3–8.
- 5. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: ИД Альянс, 2011. 352 с.
- 6. Куликова А.Х. Кремний и высококремнистые породы в системе удобрения сельскохозяйственных культур. Ульяновск: изд-во Ульяновской ГСХА им. П.А. Столыпина, 2013. 176 с.
- 7. *Матыченков И.В., Хомяков Д.М., Пахненко Е.П., Бочарникова Е.А., Матыченков В.В.* Подвижные кремниевые соединения в системе почва—растение и методы их определения // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2016. № 3. С. 37–46.
- 8. Харитонова Г.В., Манучаров А.С., Матюшкина Л.А., Стенина А.С., Тюгай 3., Коновалова Н.С., Комарова В.С., Чижикова Н.П. Биоморфный кремнезем в луговых почвах Среднеамурской низменности // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2013. № 1. С. 37–45.
- 9. Cornelis J. T., Delvaux B., Georg R. B., Lucas Y., Ranger J., Opfergelt S. Tracing the origin of dissolved silicon transferred from various soil–plant systems towards rivers: a review // Biogeosciences. 2011. Vol. 8 (1). P. 89–112. doi:10.5194/bg-8-89-2011
- 10. *Kulikova A.Kh., Kozlov A.V., Toigildin A.L.* Influence of silicon containing preparations on agrochemical properties of sod and podzolic soil and yielding capacity of crops // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Vol. 9(2). P. 432–436.
- 11. *Matichenkov V.V., Bocharnikova E.A.* Influence of plant association on the silicon cycle in the soil-plant system // Applied Ecology and Environmental Research. 2012. V. 10 (4). P. 547–560.
- 12. *Matichenkov V.V.*, *Wei X.*, *Liu D.*, *Bocharnikova E.A.* Theory, practice and prospection of Si fertilizer // Agricultural Science Technology. 2013. V. 14. № 3. P. 498–502.
- 13. *Pirzad A., Mohammadzadeh S.* Zeolite use efficiency variation under water deficit stress in grass pea and lentil // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Биология. 2016. № 9 (3). С. 291–303. doi: 10.17516/1997-1389-2016-9-3-291-303.

# BEHAVIOUR WATER AND ACIDSOLUBLE FORMS OF SILICON IN SOD-PODSOLIC SOIL UNDER INFLUENCE OF DIATOMITE

#### A.V. Kozlov

# Minin Nizhny Novgorod State Pedagogical University

In microfield experiment put on sod-podsolic sandy loamy soil studied influence of high doses of diatomite breed on mobility of silicon connections. It is established, that due to entering into soil from 3 to 12 t/hectare of diatomite maintenance of water-soluble fraction of silicon in form of monosilicon acids increases by 21–56 mg/kg, maintenance of acidsoluble fractions, most connected with a colloidal matrix of soil – by 146–388 mg/kg. These results show possibility of replenishment of soil solution and colloidal part of sod podsolic soil significant amount of soluble forms of an element due to use of diatomite breed.

Keywords: soluble compounds of silicon, diatomite, sod-podsolic soil.

# УДК 631.42

# ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИОНОМЕТРИИ И РЕНТГЕНОФЛУОРЕСЦЕНТНОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ

# Е.И. Кравченко

# МГУ им. М.В. Ломоносова

Работа посвящена альтернативным методам оценки степени и химизма засоления почв. В данной работе проводилось сравнение результатов, полученных методом ионометрии (измерение активности ионов Na, Cl, Ca) и методом рентгенофлуоресцентного анализа (элементов Cl, S, Ca) для данных классического метода водной вытяжки (соотношение почва : вода=1:5) на примере почв ключевого участка «Червленое» Светлоярской оросительной системы, находящегося в Волгоградской области. Результаты показали, что полученные результаты сопоставимы, соответственно, применение данных альтернативных методов возможно для оценки засоления почв ключевого участка.

Ключевые слова: засоленные почвы, орошаемые почвы, степень засоления

# ВВЕДЕНИЕ

Засоленные почвы – большая группа почв разного генезиса, для которой характерно наличие в профиле легкорастворимых солей в количестве, ухудшающем плодородие почв и отрицательно влияющем на рост и развитие большинства растений [1].

Засоление почв принято оценивать классическими методами: по измерению электропроводности фильтрата из водонасыщенной пасты, по сумме токсичных солей, полученных методом экстракции водной вытяжки. У этих методов есть как положительные стороны, так и существенные недостатки. Проведем краткий обзор существующих методов анализа засоленных почв.

Метод полной водной вытяжки с соотношением почва:вода=1:5 (анионы CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>; катионы Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>; pH; сумма токсичных солей, %; плотный остаток, %). Однако при анализе водной вытяжки имеет место погрешность при различном гранулометрическом составе: вода сорбируется мелкими глинистыми и илистыми фракциями. В результате при одинаковом содержании солей в почвах тяжелого гранулометрического состава концентрация солей в экстракте водной вытяжки оказывается выше, чем в почвах легкого гранулометрического состава, за счет сорбции воды мелкими частицами. Сумма токсичных солей по водной вытяжке также дает завышенные результаты по сравнению с реальными концентрациями солей в почвенном растворе, за счет протекания реакций ионного обмена при наличии гипса в исследуемых образцах [1, 2].

Метод анализа почвенных растворов – наиболее точный из известных методов, однако к его существенным недостаткам относится большая трудоемкость [1].

© Е.И. Кравченко, 2020

Метод измерения электропроводности фильтрата водонасыщенных почвенных паст. Водонасыщенные почвенные пасты учитывают различный гранулометрический состав почв, но электропроводность не дает сведений о химическом составе солей [1, 5].

Степень засоления может также оцениваться по активности ионов Na<sup>+</sup> в водонасыщенных почвенных пастах [2].

Поскольку значительная часть почв юга России имеет сульфатный тип засоления, проблема методики определения засоления является актуальной.

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Выявление применимости методов ионоселективных электродов и рентгенофлуоресцентного анализа (РФА) для оценки степени и химизма засоления почв ключевого участка.

#### ЗАДАЧИ

- Выявить ионы, активности которых могут использоваться для диагностики степени засоления
- Сравнить результаты рентгенофлуоресцентного анализа по Ca, Cl, S с результатами водный вытяжки для соответствующих компонентов ( $Ca^{2+}$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ )
  - Выявить возможность диагностики степени засоления почв по методу РФА

Новизна нашей работы заключается в том, что впервые была сделана попытка оценить степень засоления почв с помощью анализа РФА.

- Преимущества: низкая трудоемкость, быстрота проведения анализа
- Недостатки: ограниченная чувствительность прибора к содержанию элементов, недоступность оценки некоторых элементов (Na, Mg) в связи с их низкой атомной массой

# ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования стали орошаемые почвы участка «Червленое» Светлоярской ОС (Волгоградская область). Участок занимает северные отроги возвышенности Ергени. Климат территории континентальный засушливый, с коэффициентом увлажнения 0.3. Почвообразующие породы на участке «Червленое» представлены лессовидными засоленными суглинками.

Участок располагается в сухостепной зоне. До орошения почвы были представлены светло-каштановыми солонцовыми комплексами. Солонцы засолены с 10–20 см, светло-каштановые почвы засолены начиная с глубины 50–100 см. Химизм засоления почв – хлоридно-сульфатно-натриевый и сульфатно-хлоридно-натриевый, в солонцах с участием соды [6].

По данным сотрудников Волгоградской гидролого-мелиоративной партии грунтовые воды залегают на глубине 7–8 м. Грунтовые воды имеют хлоридно-натриевый состав [6].

Полевые исследования на участке «Червленое» проводились в августе 2017 года. Было заложено 35 скважин (1 целинная почва и 34 орошаемые), отобрано 365 образцов. Были пробурены скважины до глубины 2 м с описанием морфологических свойств почвы. Образцы отбирались с шагом 10–30 см, во избежание попадания различных горизонтов в один образец.

Пробы высушивались до воздушно-сухого состояния, растирались и просеивались через сито диаметром 1 мм.

В 350 образцах была измерена активность ионов  $Ca^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$  в пастах с постоянной влажностью 40 % [3] с помощью ионоселективных электродов ЭКОМ-Nа, ЭКОМ-Cl, ЭЛИС-121 Са на регистрирующем приборе Экотест-120. В 41 образце был проведен рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) твердых образцов на Cl, S и Са и некоторые микроэлементы на портативном рентренофлуоресцентном анализаторе Olympus Vanta (погрешность 0.01–0.001 %) в 2–3 повторностях. Анализ методом водной вытяжки 1:5 в лаборатории ВГМП выполнен в 122 образцах.

Регрессионный анализ был выполнен в пакете программ Excel 2003. Значимость параметров регрессии проверялась с помощью t-критерия, достоверность уравнения проверялась с помощью F-критерия.

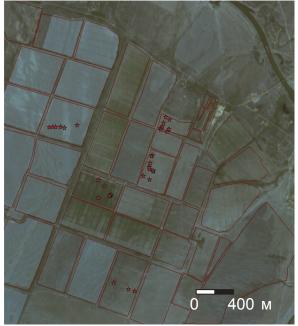


Рисунок 1. Схема точек отбора на снимке Landsat-8 за 16.06.2017.

# РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Для 122 образцов, по которым была сделана полная водная вытяжка, построено соотношение по степени засоления (рис. 2). В качестве критерия засоленности была использована сумма токсичных солей с учетом химизма образцов [2]. Практически половина всех отобранных образцов оказалась незасолена, 15 % слабозасолены, 36 % среднезасолены, лишь 2 % образцов сильно засолены, очень сильнозасоленные варианты отсутствуют.

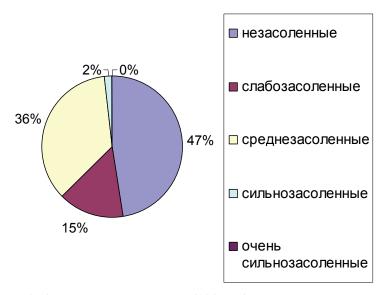


Рисунок 2. Соотношение образцов (122 шт.) по степени засоления.

Традиционный критерий оценки степени засоления — сумма токсичных солей ( $\sum$ токс). Оценивать степень засоления по одному иону допустимо, если это ион является преобладающим в почвах и коррелирует с суммой токсичных солей [4]. На рисунках 3а и 3б представлены графики регрессионных уравнений зависимости суммы токсичных солей от активности ионов Na $^+$  и Cl $^-$ . Заметно, что в случае с Na коэффициент детерминации выше, хотя с Clионом он так же достаточно высокий. Это значит, что в данных почвах допустима диагностика засоления по активности ионов Na $^+$  и Cl $^-$ , но ион Na $^+$  предпочтительнее.

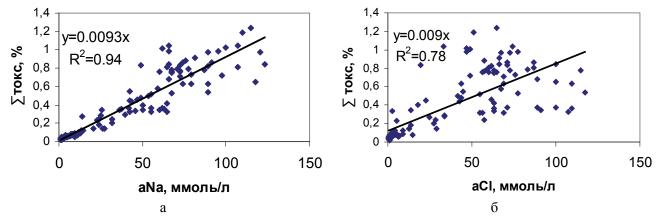


Рисунок 3. Графики зависимости суммы токсичных солей от активности ионов: a- натрия; б- хлорид-ионов.

Далее сравним результаты по сере S, полученные методом рентгенофлуоресцентного анализа, c данными  $SO_4^{2-}$  водной вытяжки (рис. 4). Коэффициент детерминации 0.8, критерий Фишера 160, t-критерий 12.6 – оба значимые. Следовательно, можно говорить о возможности определения серы, присутствующей в форме сульфатов, c помощью  $P\Phi A$  – 80 % серы, определенной этим методом, содержится в почве в форме сульфатов.

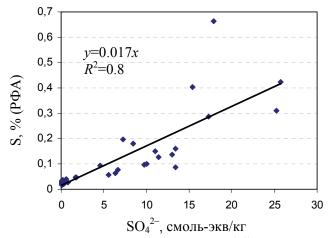


Рисунок 4. Зависимость валового содержания серы (%) от содержания сульфат-ионов.

Сравним результаты по валовому содержанию кальция (Ca), полученные методом  $P\Phi A$ , с результатами для  $Ca^{2^+}$  по водной вытяжке (рис. 5). Регрессионная модель оказалась неудачной, зато по точечной диаграмме видно, что четко выделяются 2 области:

Область 1: при значениях кальция по водной вытяжке до 1 смоль-экв/кг значения валового кальция разбросаны от 0.5 до 4% — этот кальций связан с силикатной частью почвы.

Область 2, в которой по результатам водной вытяжки кальций варьирует от 1 до 11 смоль-экв/кг, лежит в диапазоне от 2 до 3.5 % по валовому содержанию – этот кальций содержится в форме водорастворимых соединений (хлориды, сульфаты, в т.ч. гипс, и гидрокарбонаты). Таким образом, на качественном уровне можно определить образцы, а которых преобладает водорастворимый или же связанный с силикатной частью почвы кальций.

Теперь рассмотрим возможность диагностики засоления по валовому хлору, полученному методом  $P\Phi A$ . Прежде чем перейти к результатам, нужно оценить, насколько данные по измерению активности  $aNa^+$  и  $aCl^-$ , которых значительно больше, чем данных водной вытяжки, коррелируют с данными соответствующих ионов по водной вытяжке (рис. 6а и 6б). Коэффициент детерминации 0.95 и 0.98 для  $Na^+$  и  $Cl^-$  соответственно, это значит что по приведенным уравнениям (1, 2) возможен переход от активностей к единицам измерения водной вытяжки (смоль(экв)/кг). Это действие необходимо для искусственного увеличения объема выборки.

$$y = 8.5x$$
, (1)

где x – активность натрия aNa, ммоль/л; y – Na $^+$ , смоль(экв)/кг по данным водной вытяжки y = 0.054x, (2)

где x – активность натрия aCl, ммоль/л; y – Cl $^-$ , смоль(экв)/кг по данным водной вытяжки

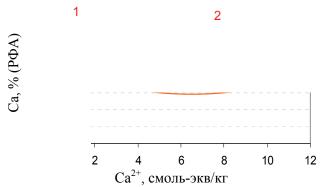


Рисунок 5. График зависимости валового кальция от содержания иона Ca<sup>2+</sup>.

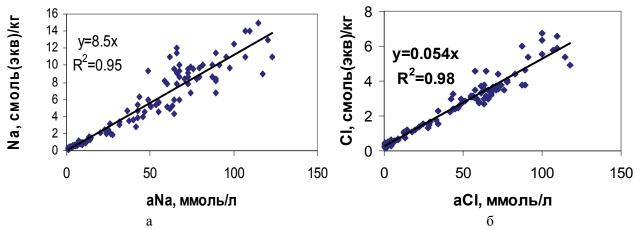


Рисунок 6. Зависимость содержания ионов от активности а – натрия, б – хлоридов.

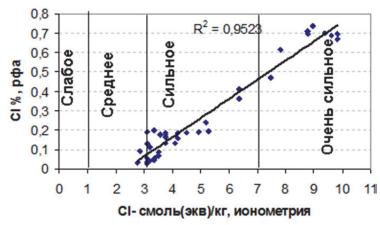


Рисунок 7. График зависимости содержания валового хлора (РФА) от содержания хлорид-ионов.

Теперь перейдем непосредственно к оценке засоления по валовому хлору (рис. 7). Прибор РФА фиксирует значения по Cl в том случае, когда хлоридов больше, чем 3 смоль-экв/кг, что соответствует сильной и более высоким степеням засоления почв. Делается допущение, что весь хлор в почве содержится в форме хлорид-ионов.

Соответственно, можно привести таблицу (табл. 1) по материалам [1; 2] с авторскими дополнениями. Жирным шрифтом выделены результаты наших исследований относительно возможности применения рентгенофлуоресцентного анализа для оценки степени засоления горизонтов.

Таблица 1. Нижние границы степеней засоления по различным показателям.

aNa, моль/л	Na, смоль(экв)/кг	Cl, смоль(экв)/кг	СІ, % (РФА)	Степень засоления
20	1	0.3	_	слабая
50	2	1	_	средняя
150	4	3	0.05	сильная
300	8	7	0.5	очень сильная

# ВЫВОДЫ

- Метод РФА валового хлора применим для диагностики сильной или очень сильной степени засоления почв при условии преобладания хлорид-иона в почвах.
- С помощью метода РФА можно определять содержание сульфатов ( $\mathrm{SO_4}^{2-}$ ) в почве, результаты сопоставимы с методом водной вытяжки. Также при сопоставлении данных РФА и водной вытяжки по кальцию (Ca) можно выделить кальций, связанный с силикатной частью почвы.
- Диагностику степени засоления в почве целесообразно проводить не только по активности ионов  $\mathrm{Na}^+$ , но и по активности Cl-ионов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Засоленные почвы России* / Отв. редакторы Л.Л. Шишов, Е.И. Панкова. М.: ИКЦ «Академкнига», 2006. 853 с.
- 2. Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России и формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивноландшафтном земледелии: Т. 1. Теоретические и методические основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий. Коллективная монография. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2013. 756 с.
- 3. *Руководство по лабораторным методам исследования* ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв / Под ред. Н.Б. Хитрова и А.А. Понизовского. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1990. 236 с.
- 4. *Сомнева Н.И*. Применение экспресс-методов для оценки почв по степени засоления (на примере почв севера Прикаспийской низменности) // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2005. № 57. С. 60–80.
- 5. *Diagnosis and improvement* of saline and alkaline soils: USDA Agriculture handbook. 1954. No. 60. 160 p.
- 6. Novikova A.F., Gepin L.O., Konyushkova M.V. The dynamics of salinization-desalination processes of the «Chervlene» site of the Svetloyar irrigation system in the irrigation and post-irrigation periods, Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva. 2009. V. 63. pp. 16–24.

Работа рекомендована к.г.н., доцентом Д.Л. Головановым.

# APPLICATION OF IONOMETRY AND X-RAY FLUORESCENT ANALYSIS METHODS FOR ESTIMATION OF SOIL SALINIZATION

#### E.I. Kravchenko

# Lomonosov Moscow State University

This paper is devoted to alternative methods for assessing the degree and chemistry of soil salinity. We compared the results obtained by the method of ionometry (measurement of the activity of Na, Cl, Ca ions) and the X-ray fluorescence analysis method (elements Cl, S, Ca) with the data of the classical water extract (1:5) method, using soil samples of the Chervlyonoye key field, a plot of Svetloyar irrigation system, which is located in the Volgograd region. The results showed that the obtained data is comparable, and the use of these alternative methods is possible to assess soil salinity of the key plot.

Keywords: saline soils, irrigated soils, level of soil salinity.

# ПОЧВЫ РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНО-ТЕРРИТОРИАЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

# М.А. Лазарева

Центральный музей почвоведения имени В.В. Докучаева – филиал ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева»

Создана цифровая почвенная карта (ЦПК) Ленинградской области масштаба 1:200 000, содержащая сведения как о почвенных выделах, так и о ландшафтных единицах. В соответствии с типологией элементарных ландшафтов тайги Северо-Запада Европейской России и масштабом ЦПК проведена типизация почв различных природно-территориальных комплексов ЛО. Выделены почвы: 7 типов местоположений со слабовыраженными точками и гранями рельефа и относительными превышениями менее 5 м; 6 типов местоположений с четко выраженными точками, линиями и гранями рельефа и превышениями более 5 м; 2 типа местоположений с нечетко выраженными точками и гранями рельефа и превышениями до 5 м.

*Ключевые слова*: цифровая почвенная карта, антропогенно-измененные почвы, почвы Ленинградской области, типология элементарных ландшафтов

#### ВВЕДЕНИЕ

На территории Ленинградской области (ЛО) за последние десятилетия произошли существенные изменения, связанные со строительством зданий и сооружений, карьеров при добыче гранитов, распашкой земель, прокладкой дорог и продуктопроводов, проведением мелиоративных мероприятий. По современным исследованиям длительное антропогенное воздействие повлекло за собой изменения микрорельефа, растительности, трансформацию почвенного профиля вплоть до коренного его преобразования и появления новых антропогенных форм и структур почвенного покрова [2, 3, 6].

Последняя обобщающая работа по почвам и почвенная карта ЛО созданы более 50 лет назад [8]. Имеются данные по методам изучения ландшафтов и их многолетней динамике под влиянием антропогенных воздействий [4]. Для решения многих научных и практических задач, стоящих перед научными, природоохранными, законодательными организациями, важно создать новый информационный ресурс, содержащий актуализированные данные о состоянии отдельных природно-территориальных комплексов ЛО, несущий информацию как о почвенных единицах, так и условиях их формирования.

# ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводилось методом комплексных описаний и среднемасштабного картографирования. Закладывались ключевые участки местности, на которых проводилось комплексное обследование, включающее описания почв и условий почвообразования (растительность, рельеф, почвообразующая порода, агроклиматический район, гидрология, антропогенная трансформация и пр.), а также отбор почвенных образцов для лабораторных исследований. В соответствии с типологией элементарных ландшафтов тайги Северо-Запада Европейской России, разработанной Г.А. Исаченко и А.И. Резниковым [4], выделялись природно-территориальные комплексы.

В результате на базе ЦМП им. В.В. Докучаева в соответствии с госзаданием № 0671-2014-0002 в геоинформационной системе QGIS была создана цифровая почвенная карта (ЦПК) Ленинградской области масштаба 1:200 000, содержащая сведения как о почвенных выделах, так и о ландшафтных единицах. Карта составлялась с применением методов традиционного (с использованием традиционно-составленных бумажных карт) и цифрового почвенного картографирования (автоматическое и полуавтоматическое дешифрирование по космическим снимкам) [1, 7, 9]. При ее создании применялись классические методы генера-

© М.А. Лазарева, 2020

лизации, экстраполяции и интерполяции. Названия почв в легенде приведены в соответствии с Классификацией и диагностикой почв России 2004 г. [5].

При картографировании использовались следующие материалы: топографические карты территории ЛО в масштабах от 1:50 000 до 1:1 000 000; векторные слои современных населенных пунктов, дорожной сети и водоемов (обновленные по данным дистанционного зондирования Земли); карта четвертичных отложений ЛО, масштаба 1:500 000 (1967 г.); почвенная карта ЛО масштаба 1:300 000 (1962–1971 гг.); финские карты территории Карельского перешейка, масштабов 1:100 000 и 1:20 000 (1930–1940 гг.); оптические спутниковые данные высокого и сверхвысокого пространственного разрешения; а также данные многолетних полевых исследований почв и почвенного покрова в различных ландшафтах ЛО [1, 2, 3, 6].

# РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В соответствии с типологией элементарных ландшафтов тайги Северо-Запада Европейской России [4] и масштабом ЦПК 1:200 000 по особенностям морфологии рельефа (выраженность вершин, гребней, склонов), степени дренированности и относительным превышениям, на территории Ленинградской области выделены почвы 4 классов местоположений. В пределах классов по формам мезорельефа и признакам субстрата (почвообразующая порода, соотношение органогенных и минеральных горизонтов, мощность и скелетность почвы) выделены почвы различных типов местоположений (табл.).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На территории Ленинградской области преобладают почвы местоположений со слабовыраженными точками и гранями рельефа и относительными превышениями менее 5 м. Выделены почвы 7 типов местоположений данного класса. Это, прежде всего: подзолы и подбуры слабоволнистых и волнистых равнин, сложенных безвалунными песками и супесями; дерново-элювиально-метаморфические и дерново-подзолистые почвы слабоволнистых пологонаклонных террасированных равнин на безвалунных глинах и суглинках, включая агродерново-элювиально-метаморфические почвы межсельговых понижений, находящиеся в залежи; почвы плоских и слабоволнистых равнин-плато на карбонатных валунных суглинках, которые по большей части распаханы — агротемногумусовые, агроземы текстурнодифференцированные остаточно-карбонатные и агроземы структурно-метаморфические.

Большую часть территории ЛО занимают почвы, относящиеся к 6 типам местоположений с невыраженными точками и гранями рельефа и относительными превышениями менее 5 м. Это, главным образом: торфяно-подзолы и торфяно-подзолисто-глеевые почвы слабоволнистых и плоских равнин; торфяно-глееземы плоских и слабовогнутых равнин на безвалунных глинах и суглинках; торфяные олиготрофные почвы плоских и слабовыпуклых равнин. В связи с условиями постоянного либо периодического избыточного увлажнения на данных территориях проводятся осущительные мероприятия, что накладывает отпечаток на процесс почвообразования и приводит к формированию окисленно-глеевых подтипов почв и торфоземов.

Выделены почвы 5 типов местоположений с четко выраженными точками, линиями, гранями рельефа и превышениями более 5 м. Это подзолы, подбуры, псаммоземы камовых холмов, дюн, озовых гряд, распространенные по всей территории ЛО; дерново-подзолистые почвы холмов, сложенных моренными суглинистыми отложениями; подбуры моренных песчано-супесчаных холмов; комбинации петроземов, подбуров и серогумусовых глеевых почв, распространенные в условиях сельгового ландшафта Карельского перешейка.

На территориях, переходных от озерно-ледникового к сельговому ландшафту с недифференцированными сельгами, выделены подбуры и подбуры оподзоленные. В условиях невысоких пологосклонных гряд территорий, переходных к холмисто-моренному ландшафту — дерново-подзолистые почвы и подзолы. Почвы данных типов местоположений выделены в классе местоположения с нечетко выраженными точками и гранями рельефа и превышениями до 5 м.

Таблица. Характеристика природно-территориальных комплексов территории Ленинградской области.

		1		
Класс местоположения	Тип местоположения	Индекс	Почвы	Административный район
Местоположения с чет-	Сельги сложнодифференцированные, с относи-	$\mathbf{S}_1$	Комбинация петроземов,	Север Выборгского,
ко выраженными точка-	тельной высотой более 15 м разнородные по		подбуров и серогумусовых	Подпорожский р-ны
ми, линиями и гранями	условиям дренажа	c	ГЛЕЕВЫХ ПОЧВ	
рельефа (вершины,		$\mathbf{S}_{2}^{7}$	Подбуры	Север Выборгского р-на,
гребни, с превышениями	тельной высотой менее 15 м, пологосклонные, в			Подпорожский р-н
более 5 м); как правило,	основном перекрытые маломощным щебни-			
хорошо дренируемые	стым элювием, делювием и супесчаной море-			
	ной, дренируемые			
	Уступы, имеющие относительную высоту более	ر ر	Абраземы структурно-	Ломоносовский р-н
	5 м и крутизну более 10°, дренированные (кро-		метаморфические	
	ме нижних частей)			
	Холмы и гряды с относительной высотой более	G <sub>_</sub>	Дерново-подзолистые почвы,	Подпорожский, Бокситогорский,
	15 м, с крутыми склонами и склонами средней		подбуры	Лужский
	крутизны (5-25°); сложенные валунными су-			
	глинками, супесями, дренируемые			
	Округлые холмы и группы холмов, с крутыми	K	Подзолы, подбуры,	Выборгский, Всеволожский,
	склонами и склонами средней крутизны (5-		псаммоземы	Тихвинский, Лодейнопольский,
	25°), сложенные с поверхности безвалунными,			Бокситогорский, Подпорожский,
	реже галечными и мелковалунными песками и			Волховский, Кировский,
	супесями (камы, дюны, озы), хорошо дрениро-			Тосненский, Лужский,
	Ванные			Спанцевский Кингисеппский
Местоположения с не-	4	$S_3$	Подбуры, подбуры	Север Выборгского р-на,
четко выраженными	породах архея и протерозоя (недифференциро-		оподзоленные, дерново-	Подпорожский р-н
точками и гранями рель-	ванные сельги) в области погружения Балтий-		подбуры	
ефа и превышениями,				
как правило, до 5 м,	мореной, дренируемые			
Местоположения с не-	Невысокие пологосклонные гряды, сложенные	$\mathbf{G}_2^2$	Дерново-подзолистые почвы,	Бокситогорский, Волховский,
четко выраженными	в основном валунами с мелкоземом разного		подзолы, дерново-подзолы	Лужский
точками и гранями рель-	механического состава (мореной), дренируемые			
ефа и превышениями,				
как правило, до 5 м,				
дренируемые				

Таблица. Продолжение.

				Таблица. Продолжение.
Класс местоположения	Тип местоположения	Индекс	Почвы	Административный район
Местоположения со слабовыраженными	Волнистые (в т.ч. террасированные) равнины на безвалунных песках; дренированные	Pf	Псаммоземы, подбуры, подзолы	Кингисеппский, Ломоносовский, Выборгский,
точками и гранями рель-				Всеволожский,
				Лодейнопольский,
превышениями менее	1	8	1	БОЛХОВСКИИ
м; дренируемые, с пери-	Слабоволнистые террасированные равнины на	Pfl	Подзолы, подбуры	Кингисеппский, Сланцевский,
одическим переувлаж-	безвалунных супесях	Pflk	Агродерново-подзолы	Лужский, Выборгский,
		Dfa	Полбата	Executororum a 11
	Болнистые равнины, сложенные мелковалунно-	FIB	ПОДОУРЫ	БОКСИТОГОРСКИИ Р-Н
	галечными (флювиогляциальными) песками, со щебнем сильной окатанности	$\mathrm{Pfg}^{\kappa}$	Агродерново-подзолы	
	Волнистые равнины на плотных щебнистых (с	$_{ m pgf}$	Подзолы, подбуры	Выборгский, Волховский
	неокатанным щебнем) песках и супесях (песча-	$\mathrm{Pgf}^{k}$	Агродерново-подзолы	
	ной морене), с валунами на поверхности			
	Волнистые и платообразные равнины (с круп-	$^{\mathrm{Pg}}$	Подзолы	Выборгский
	ными валунами) на валунных суглинках и супе-	$\mathrm{Pg}^{\mathrm{k}}$	Агродерново-подзолы, агроземы	
	сях (морене), иногда с прослоями песков; дре-		альфегумусовые	
	нируемые, с минеральными почвами			
	Плоские и слабоволнистые равнины-плато на	$\mathrm{Pc}^{\mathrm{k}}$	Агротемногумусовые почвы,	Гатчинский, Волосовский р-
	карбонатных дочетвертичных породах, пере-		агроземы структурно-	HBI
	крытые маломощным чехлом карбонатных ва-		метаморфические, агроземы	
	лунных суглинков, естественно дренируемые		текстурно-дифференцированные остаточно-карбонатные	
Местоположения со	Слабоволнистые пологонаклонные (до 5°) тер-	Pl, Pl <sup>d</sup>	Дерново-элювиально-	Север Выборгского р-на,
слабовыраженными	расированные равнины на безвалунных глинах		метаморфические, дерново-	Приозерский, Киришский,
точками и гранями рель-	и суглинках (в том числе межсельговые пони-		подзолистые, серогумусовая	Кировский р-ны
ефа и относительными	жения); естественно и искусственно дренируе-		глеевая; их окисленно-глеевые	
превышениями менее 5	мые, с периодическим переувлажнением и ми-	,	подтипы	
м; дренируемые, с пери-	неральными почвами	$Pl^k, Pl^{k,d}$	Агроземы структурно-	
одическим переувлаж-			метаморфические, агродерново-	
нением			элювиально-метаморфические,	
			агроземы текстурно-	
			дифференцированные,	
			агродерново-подзолистые почвы;	
			их окисленно-глеевые подтипы	

	a	)
	2	_
	۲	$\leq$
	۲	г.
	2	₹
	d	,
	5	4
	7	Š
	b	╛
	2	3
	ς	)
	۲	┰
		7
	ς	)
	C	5
_	۳	=
Г		_
		_
-		٦.
	_	
	2	
	CLI	_     
	CILL	Па.
		MIG.
	1	
	1	
ì		Олица.
l		$\frac{3}{2}$
l		$\frac{3}{2}$
ì		
l		$\frac{3}{2}$
l		$\frac{3}{2}$
l		$\frac{3}{2}$

				racounta: ribo Hoomiconio:
Класс местоположения	Тип местоположения	Индекс	Почвы	Административный район
Местоположения с не-	Слабоволнистые и плоские песчаные и супес-	Lf	Торфяно-подзолы, торфяно-	Тосненский, Кировский,
выраженными точками	чаные (часто с галькой и мелкими валунами)		глееземы	Всеволожский, Киришский,
и гранями рельефа и	равнины, длительно избыточно увлажненные,	Lfd	Торфяно-подзолы окисленно-	Ломоносовский р-ны
относительными пре-	торфянистый гор-т мощностью 0.2-0.5 м		глеевые, торфяно-глееземы	
вышениями менее 5 м; с			окисленные	
постоянным либо пери-	Слабоволнистые и плоские равнины на валун-	Lg	Торфяно-подзолисто-глеевые	Волховский, Лужский,
одическим избыточным	ных суглинках (реже супесях), торфянистый		почвы, торфяно-глееземы	Бокситогорский р-ны
увлажнением	гор-т мощностью 0.2-0.5 м	$\mathrm{Lg}^{\mathrm{d}}$	Торфяно-подзолистые	
			окисленно-глеевые почвы,	
			торфяно-глееземы окисленные	
	Плоские и слабовогнутые равнины на безва-	$L1, L1^d$	Торфяно-глееземы, торфяно-	Подпорожский, Кировский,
	лунных глинах и суглинках (в том числе меж-		глееземы окисленные	Киришский р-ны
	сельговые ложбины), длительно естественно			
	переувлажненные и искусственно дренируе-			
	мые, торфянистый горизонт мощностью до			
	0.5 м			
Местоположения с не-	Поймы и надпойменные террасы рек, имеют	Ą	Аллювиальные серогумусовые	Лодейнопольский,
выраженными точками	различную степень проточности, с периодиче-		типичные, глееватые и глеевые	Тихвинский, Кингисеппский
и гранями рельефа и	ским избыточным увлажнением		почвы	р-ны
относительными пре-	Современные морские и озерные террасы и	Z	Псаммоземы, подбуры, подзолы	Выборгский, Кингисеппский,
вышениями менее 5 м; с	вышениями менее 5 м; с периодически осушаемые мелководья			Ломоносовский
постоянным либо пери-	Плоские и слабовыпуклые равнины на торфя-	В	Торфяные олиготрофные,	Всеволожский, Волховский,
одическим избыточным	ных отложениях (болота, торфяники); посто-		торфяные эутрофные почвы	Бокситогорский,
увлажнением	янное естественное избыточное увлажнение;			Подпорожский, Кировский,
	мощность торфа более 0.5 м	,		Тосненский, Лужский
		Вq	Торфоземы	Всеволожский, Кировский,
				Тосненский

Примечание: использованы номенклатура классов и типов местоположений, а также индексация, принятые в типологии элементарных ландшафтов тайги Северо-Запада Европейской России, разработанной Г.А. Исаченко и А.И. Резниковым [5].

## ЛИТЕРАТУРА

- 1. Андреева Т.А., Сухачева Е.Ю., Апарин Б.Ф., Лазарева М.А., Казаков Э.Э. Цифровое среднемасштабное почвенное картографирование как основа региональной политики по рациональному природопользованию на примере Ленинградской области // Сборник материалов II Международной научно-практической конференции «Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. От идеи до внедрения». 2017. С. 262–266.
- 2. *Апарин Б.Ф., Сухачева Е.Ю*. Принципы создания почвенной карты мегаполиса (на примере Санкт-Петербурга) // Почвоведение. 2014. № 7. С. 790–802.
- 3. *Апарин Б.Ф., Сухачева, Е.Ю.* Эволюция почв и почвенного покрова мелиорированных земель. Санкт-Петербург: Изд-во Санкт-Петерб. ун-та, 2009. 265 с.
- 4. *Исаченко Г.А.* Методы полевых ландшафтных исследований и ландшафтноэкологическое картографирование: Курс лекций. Санкт-Петербург: Изд-во С.-Петербургского ун-та, 1999. 112 с.
- 5. *Классификация и диагностика почв России* / отв. ред. акад. РАН, проф. Г.В. Добровольский. 2-е изд., доп. и испр. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.
- 6. *Красная книга почв Ленинградской области* / Б.Ф. Апарин, Г.А. Касаткина, Н.Н. Матинян, Е.Ю. Сухачева. Санкт-Петербург: Аэроплан, 2007. 315 с.
- 7. *Лисицкий Д.В.* Основные принципы цифрового картографирования местности. Москва: Недра, 1988. 261 с.
- 8. Почвы Ленинградской области / под ред. канд. с.-х. наук В.К. Пестрякова. Ленинград: Лениздат, 1973. 344 с.
- 9. *Садовников И.Ф.* Почвенные исследования и составление почвенных карт. Москва: Сельхозгиз, 1953. 160 с.

## SOILS OF DIFFERENT NATURAL AND TERRITORIAL COMPLEXES OF THE LENINGRAD REGION

## M.A. Lazareva

<sup>1</sup>V.V. Dokuchaev Central Soil Museum, Saint-Petersburg <sup>2</sup>V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow

The digital medium scale soil map of the Leningrad region was made in the V.V. Dokuchaev Central Soil Museum. The soil map includes information both about soils and landscapes of the Leningrad region. Typification of soils of different natural and territorial complexes was made according to the typology of elementary landscapes of taiga zone of the North-Western part of Russia and the scale of the digital soil map. Soils of 7 types locations with poorly defined top and slopes of relief and relative elevations of less than 5 m; soils of 6 types locations with not defined top and slopes of relief and relative elevations of less than 5 m; soils of 5 types locations with clearly defined top, crests and slopes of relief and relative elevations of more than 5 m; soils of 2 types locations with poorly defined top, crests and slopes of relief and relative elevations of 5 m were determined.

*Keywords*: digital soil map, anthropogenically-changed soils, soils of the Leningrad region, typology of elementary landscapes.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА НУКУТСКОГО РАЙОНА ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ (ЮЖНОЕ ПРИАНГАРЬЕ)

Д.Д. Ломовцева, А.С. Сташкевич, Н.Д. Киселева Иркутский государственный университет

Нукутский регион входит в состав Иркутской области и занимает площадь 240 тыс. га, из них сельскохозяйственные угодья — 140077 га. Преобладающее место в почвенном покрове территории занимают дерновокарбонатные и серые лесные почвы. Меньше распространены черноземы и луговые почвы. Из сельскохозяйственных земель 93243 га занимают пашни, 3336.8 га сенокосы, 29650.6 га пастбища. На территории распространены процессы эрозии и солеотложения.

Ключевые слова: дерново-карбонатные почвы, категории назначения, физико-химические свойства почв

### **ВВЕЛЕНИЕ**

Земля – это универсальный природный продукт, так как используется во всех отраслях народного хозяйства. Почвенный покров Земли – это уникальное природное образование. Почвы Нукутского района многообразны и неоднородны, в основном благодаря природным условиям, которые, в свою очередь, способствуют формированию различных типов и подтипов почв на территории района.

В административно-территориальном устройстве Иркутская область имеет 33 района, Нукутский район относится к территориям активного сельскохозяйственного и антропогенного использования. Поэтому изучение признаков почв района имеет большое научное и прикладное значение. Свойства и характеристики почв являются основой для раскрытия генезиса, отражения процессов формирования и истории развития почв.

В соответствии с этим, целью исследования стало изучение морфологических и физико-химических свойств почв, а также использование почвенного покрова на территории Нукутского района Иркутской области [3].

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи: 1. Изучить данные, представленные в отчетах из архива «Росгипрозем» по почвенному покрову Нукутского района Иркутской области и его использованию; 2. Изучить особенности использования почвенного покрова и земель на территории исследования; 3. Проанализировать морфологические и физико-химические свойства основных типов почв района.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом выбрана территория Нукутского района, это самый используемый в сельскохозяйственном производстве район области. Выявление общих закономерностей и зональных особенностей свойств почв необходимо для определения путей направленного регулирования почвообразовательного процесса, и определения рационального природопользования.

Для решения поставленных задач, изучались отчеты из архива Иркутского отделения института «Росгипрозем» по сельскохозяйственным угодьям Нукутского района Иркутской области.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Нукутский район расположен в юго-западной части Иркутской области. Общая площадь земель района составляет 240000 га.

Земельные ресурсы характеризуются рельефом, почвенным покровом и комплексом природных условий, которые создавались тысячелетиями и сейчас являются основой живой природы и сельскохозяйственного производства.

В геологическом строении Нукутского района участвуют в основном древние осадочные породы кембрийского возраста и юры. Рельеф территории исследования довольно слож-

ный. Сильно расчленен многочисленными речными долинами, падями, ложбинами. В среднем абсолютная высота водоразделов колеблется около 600–700 м. Климат территории – резко континентальный, с умеренно-прохладным летом и суровой малоснежной зимой. Основные водные ресурсы сосредоточены в бассейнах рек Ангары и Унги. В растительном покрове преобладают лиственничные, березовые остепненные травяные леса, и галофитные луга [1, 2].

Если рассматривать земли Нукутского района по категориям назначения, то наибольшие территории заняты пахотными угодьями, что составляет 93243.1 га, а наименьшие площади заняты залежными землями -225.4 га.

Под пахотное возделывание отводятся самые удобные в плане освоения, и самые плодородные почвы. Дерново-карбонатные занимают в структуре пахотных земель площадь в 40158.1 га; самые плодородные почвы — черноземы занимают в пашнях 6375 га, серые лесные 14847 га; луговые всего 4 га (рис. 1).

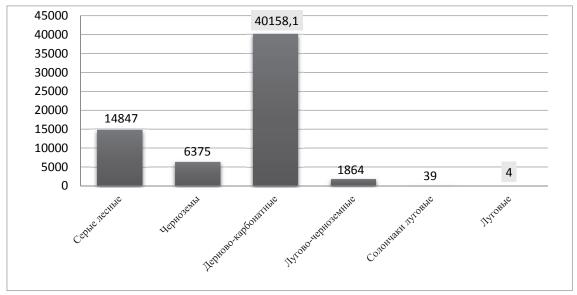


Рисунок 1. Почвы, занятые пашнями, га.

Выпас травоядных животных происходит на пастбищах, где произрастают травянистые культуры. Почвы, используемые под пастбища и их площади: наибольшие территории заняты дерново-карбонатными почвами, что составляет 17280.8 га, наименьшие площади представлены солончаками луговыми – 372.9 га (рис. 2).

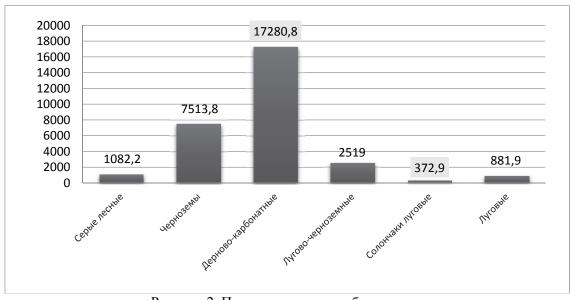


Рисунок 2. Почвы, занятые пастбищами, га.

На рисунке 3 представлены сельскохозяйственные угодья, систематически используемые под сенокошение. Наибольшие площади под сенокосами имеют луговые почвы, что составляет 3336.8 га. Самые незначительные площади — солончаки луговые 66 га.

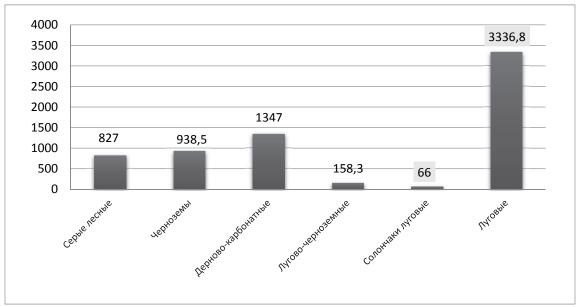


Рисунок 3. Почвы, занятые сенокосами, га.

Территории Нукутского района, относится к зоне длительного антропогенного воздействия на почвенный покров, поэтому нельзя не заметить отрицательные последствия деятельности различных отраслей сельскохозяйственного производства и добывающей промышленности. Земли сельскохозяйственного значения во всех угодьях занимают площадь 198908.8 га, из которых 46589.2 га подвержены различного рода эрозии (рис. 4) [5].

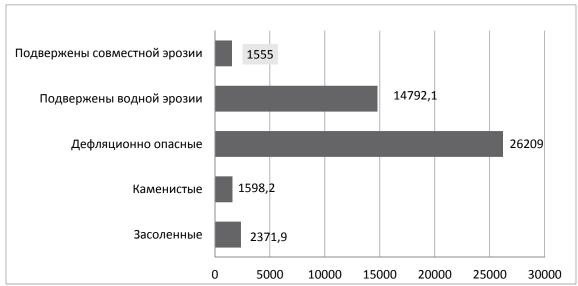


Рисунок 4. Распространение эрозии на исследуемой территории, га.

Почвы территории Нукутского района сформированы под влиянием своеобразных почвообразующих пород, которые отличаются повышенным содержанием карбонатов, доломитов и гипса, а также под влиянием резко континентального климата с низким коэффициентом увлажнения. Это находит свое отражение в почвенном покрове территории.

На территории Нукутского района наиболее распространенными типами почв являются дерново-карбонатные (102333 га), серые лесные (46106.4 га) и лугово-черноземные почвы (16328.1 га). Меньше распространены черноземы (14201.1 га) и луговые (1237.2 га) (рис. 5) [3].



Рисунок 5. Площади, занимаемые различными типами почв, га.

Рассмотрим подробнее морфологические и физико-химические свойства.

*Тип дерново-карбонатных почв*. Эти почвы приурочены к положительным формам рельефа и развиты на карбонатных верхнекембрийских отложениях. Данный тип почв, в свою очередь, делится на 2 подтипа – типичные и выщелоченные.

Почвенные профили этих почв четко разделены на горизонты. Гумусовый горизонт А ясно выражен (мощность 30–50 см; гумус – 4.7–9.5 %). В естественных условиях такой горизонт имеет хорошо выраженную комковато-зернистую структуру. Вскипание от 10 % HCl у типичных дерново-карбонатных почв начинается с поверхности, у выщелоченных – в иллювиальном горизонте и в среднем проявляется на глубине 43 см, причиной вскипания являются карбонаты, которые морфологически выделяются в форме псевдомицелия, журавчиков и белых пятен. Реакция среды от слабощелочной до щелочной (7.0–8.8). Почвы обладают высоким содержанием обменных кальция и магния (в среднем до 35 мг-экв на 100 г почвы), что говорит о прямом воздействии почвообразующих пород и некоторых других свойств на содержание этих элементов в почвах. Содержание карбонатов в дерново-карбонатных типичных почвах возрастает вниз по почвенному профилю, в среднем, от 5.5 до 10.8 %. У дерново-карбонатных выщелоченных этот показатель – от 1.7 до 8.9 %. Такое распределение карбонатов в почвах обусловлено почвообразующей породой богатой карбонатом кальция.

Серые лесные почвы. На территории обследования встречаются типичные и остаточнокарбонатные подтипы этих почв. Они приурочены к вершинам и склонам увалов различной экспозиции и формируются на элюво-делювии юрских пород карбонатного состава.

Почвенный профиль серых лесных почв четко разделен на горизонты по элювиальноиллювиальному типу. Гумусовые горизонты обычно темно-серой окраски и имеют водопрочную комковато-порошистую структуру (мощность в среднем 24–30 см; гумус – 4–5 %). Переходы к следующим горизонтам хорошо заметны по цвету и плотности. Вскипание от 10 % HCl у подтипа серых лесных типичных почв не проявляется, а у остаточнокарбонатных может обнаруживаться только в нижней части профиля на глубине в среднем 67 см, в связи с этим рН данного типа почв варьирует от нейтральной до щелочной 6.5–8.4. Также у таких почв наблюдается разделение почвенного профиля по гранулометрическому составу в следствие подзолистого процесса. Содержание физической глины в иллювиальном горизонте в среднем достигает 50 %, далее вниз по профилю содержание физической глины падает. Почвы обладают повышенным содержанием обменных кальция и магния (в среднем до 32 мг-экв на 100 г почвы), что говорит о биогенном накоплении данных элементов в почве. Содержание карбонатов у подтипа серых лесных остаточно-карбонатных почв наблюдается только в нижней части профиля в горизонтах ВС и С, и составляет в среднем от 7.7—9.0 % (максимум до 13 %). Такое содержание карбонатов обусловлено карбонатными новообразованиями, которые морфологически выделяются в виде карбонатного псевдомицелия.

*Черноземы*. Данный тип почв делится на 2 подтипа – карбонатный и выщелоченный. Черноземы формируются на равнинах и в нижних частях склонов и увалов, древней террасы р. Ангары на делювиальных лессовидных отложениях, обогащенных карбонатами кальция и магния.

Почвенный профиль черноземов отличается мощным гумусовым горизонтом темносерого цвета, мощностью в среднем от 30 до 70 см, а также повышенным содержанием общего гумуса от 7.0 до 10.5 %. Структура гумусового горизонта комковато-зернистая. Наблюдаются постепенные переходы одного горизонта в другой и затеки гумуса в виде языков в нижележащие горизонты. Выделения карбонатов имеют мучнистую форму, образуя сплошной карбонатный горизонт. Такой горизонт характеризуется окраской от буровато-желтой до желто-коричневой, и является самым «тяжелым» по гранулометрическому составу (в среднем % физической глины > 50 %).

Подтипы черноземов на территории района выделяются по степени выщелоченности карбонатов: карбонатные вскипают от 10 % HCl с поверхности, а выщелоченные в среднем на глубине 60 см. Реакция среды у черноземов выщелоченных от нейтральной до слабощелочной, а у черноземов карбонатных — щелочная по всему профилю. Сумма поглощенных оснований высокая от 40–50 мг-экв [6].

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, Нукутский район имеет выгодное географическое положение и обладает высоким природно-ресурсным потенциалом.

Самыми распространенными типами почв Нукутского района Иркутской области являются дерново-карбонатные и серые лесные почвы. Дерново-карбонатные почвы занимают почти половину (43 %) от территории исследуемого района.

Свойства почв данной территории зависят от климатических условий, а также от своеобразных карбонатных верхнекембрийских почвообразующих пород. Это подтверждается повышенным содержанием карбонатов в почве, слабощелочной-щелочной реакцией среды, а также наличием карбонатных новообразований в виде псевдомицелия, журавчиков, пятен. Особенности почвообразования исследуемой территории отражаются как на физикохимических (содержание  $CO_2$  в горизонтах Cca-8-15%), так и на морфологических свойствах почв (вскипание от 10% HCl, карбонатные новообразования). Все почвы являются высокоплодородными (максимальное содержание общего гумуса – 4.7-10.0%) и могут использоваться в сельском хозяйстве, которое в наибольшей степени обеспечивает занятость населения.

Район имеет ряд конкурентных преимуществ и рациональное использование земельных ресурсов, с учетом свойств почв и других факторов, способствует эффективному целевому применению земель, созданию благоприятных условий для высокой продуктивности сельскохозяйственных угодий.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Атас. Иркутская область:* экологические условия развития / под ред. А.Н. Антипова М.: Роскартография; Ин-т географии СО АН, 2004, 90 с.
- 2. *Воробьева Г.А.* Почва как летопись природных событий Прибайкалья: проблемы эволюции и классификации почв. Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2010. 205 с.
- 3. *Киселева Н.Д.* Почвенный покров и использование земель Нукутского района Иркутской области / Киселева Н.Д., Ломовцева Д.Д. // Региональные системы комплексного дистанционного зондирования агроландшафтов: материалы 2-го Всерос. научн.-практ. сем., Красноярск, 2019. С. 30–36.

- 4. *Почвы Нукутского района* Иркутской области и их использование // Иркутское отделение института «Росгипрозем», Иркутск, 1974, 36 с.
- 5. *Региональный доклад* о состоянии и использовании земель в Иркутской области за 2016 год. Издание Управления Росресстра по Иркутской области, 2017, 111 с.
- 6. *Технический отчет* Почвы Нукутского района Усть-Ордынского Бурятского автономного округа / И.С. Кошечкин // Инв № 500. 2005. экз. №2. С. 7–102.

Работа рекомендована старшим преподавателем кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ Н.Д. Киселевой.

## THE USE OF SOIL NUKUTSKIY DISTRICT OF THE IRKUTSK REGION (THE SOUTHERN ANGARA REGION)

D.D. Lomovtseva, A.S. Stashkevich, N.D. Kiseleva Irkutsk state University

The Nukutsk region is the part of the Irkutsk region and covers an area of 240000 ha, agricultural land is 140077 ha. The predominant place in the soil cover of the territory is occupied by sod-carbonate soils. 93243 ha are occupied by arable land, 3336.8 ha are occupied by hayfields, 29650.6 ha are occupied by pastures. Usable land borrowed chernozem gray forest, and sod-carbonate soils. Processes of erosion and salt accumulation are common on the territory.

УДК 631.459

## ПРОЦЕССЫ ВОДНОЙ ЭРОЗИИ В ПРИОЛЬХОНЬЕ

Д.О. Мартынова<sup>1</sup>, Т.И. Знаменская<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Иркутский государственный университет <sup>2</sup>Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск

Почвы Приольхонья имеют ряд особенностей: легкий гранулометрический состав и укороченный и каменистый профиль. Специфика климата и водного режима почвы способствуют развитию эрозионных процессов. Ключевые слова: водная эрозия, гранулометрический состав, Приольхонье.

#### ВВЕДЕНИЕ

Водная и ветровая эрозия почв является на сегодняшний день одной из актуальнейших международных проблем, особенно в засушливых регионах. Водная эрозия проявляется в основном на склонах, с которых стекает вода, дождевая или талая. Атмосферные осадки вызывают плоскостную эрозию, которая проявляется в районах со слаборазвитым растительнодерновым покровом и слагается из капельной и мелкоструйчатой эрозии, смыва мелкозема распластанными потоками воды.

За последние десятилетия в Приольхонье значительно активизировалась водная эрозия.

Незначительное, на первый взгляд, количество осадков, приводит в условиях лёгкого субстрата к образованию и развитию эрозионных форм. Линейная эрозия развивается в большинстве случаев по дорогам, проложенным вдоль склонов. Лёгкий субстрат наряду с разреженным растительным покровом предопределяют её быстрое развитие. Развитие эрозионных процессов приводит к нарушению почвенного покрова Приольхонья, что заметно снижает его устойчивость и рекреационный потенциал.

<sup>©</sup> Д.О. Мартынова, Т.И. Знаменская, 2020

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Территория исследования находится на юго-восточном побережье залива Мухор в пределах Ольхонского административного района Иркутской области и является уникальным природным комплексом, представленным степными и лесостепными ландшафтами. Располагается в центральной зоне Байкальской природной территории в границах Прибайкальского национального парка [7].

Рельеф Приольхонья характеризуется сложным сочетанием форм, различных в морфологическом, генетическом и возрастном отношении. На обширной территории Приольхонья распространены фрагменты мезозойско-кайнозойского (добайкальского) рельефа, преобразованного разрывной тектоникой в процессе формирования рифта.

Низкогорный сильно расчлененный, осложненный линейными грядами, гребнями, холмами, карстовыми воронками и останцами. Побережье Малого моря представляет собой пологий предгорный шлейф, образованный конусами выноса водотоков. Резко выраженная горизонтальная неоднородность литолого-геоморфологических условий основных неотектонических морфоструктурных элементов территории определяет отчетливо выраженную локальную контрастность биоклиматических параметров. Высокая интенсивность и значительная временная изменчивость экзогенных рельефообразующих процессов (эрозионных, эоловых, криогенных и др.) заметно усиливает ландшафтные контрасты [8].

В формировании климата большую роль играет рельеф местности. Зеркало озера лежит на высоте 456 м выше уровня океана и тем самым в значительной степени определяет особенности его радиационного режима. Вместе с тем высокие горные хребты, обрамляющие Байкал, уменьшают влияние внешних условий на климат его котловины и ограничивают климатическое воздействие озера на сопредельные пространства. Многочисленные долины и пади, глубоко рассекающие гористые берега Приольхонья, усиливают прибрежную циркуляцию в нижних слоях воздуха, что отражается на особенностях ветрового режима над озером. В теплом полугодии над Байкалом, более холодным, чем суша, создаются условия, препятствующие возникновению восходящих потоков. Ослабление конвективных топов и потеря части влаги воздушными массами при переливании через Приморский и Байкальский хребты западного побережья приводят к тому, что летом на озере (особенно на Малом Море) осадков выпадает 200–300 мм/год [10].

В целом в Приольхонье доминируют свои местные климатические показатели. Постепенно к северу возрастают признаки аридности (сухости) и континентальности климата и ксерофитизация ландшафтов. В среднегорной части Приморского хребта наблюдаются более увлажненные и залесенные ландшафты. Характеризуется несколько менее теплым климатом, чем прибрежная остепненная часть, сравнительно суровой зимой и более мощным снежным покровом.

Рельеф местности полого-волнистый. представлен низкогорьем или предгорными шлейфами. Здесь преобладают тырсовые, крупно-злаковые, тонконоговые, типчаковые, мятликовые степные формации. В степных сообществах Приольхонья встречаются байкальские эндемики – астрагал ольхонский, остролодочник трехлистный, копеечник зундукский и др.

Горностепные геосистемы представлены невысокими горами с плавно очерченными вершинами под тонконогово-типчаковыми и кистевидно-мятликовыми степями (местами – тырсовыми и крупнозлаковыми) на петроземах гумусовых и литоземах серо- и светлогумусовых, подстилаемых карбонатными породами и песками [11].

На территории исследования широко распространены степные сообщества, преимущественно разнотравно-злаковые и разнотравно-полынные с доминирование типчака, ковыли, хамеродоса алтайского, которые формируют плотные дерновины. Лесостепные сообщества представлены редкостойными остепненными лиственничниками разнотравно-злаковыми. Лугово-болотные сообщества встречаются гораздо реже (<1 % площади ключевого участка), в понижениях прибрежной зоны. На местах стоянок туристов сформировались растительные сообщества из осоки твердоватой, полыни холодной, лапчатки и подорожника, с длинными корнями, не образующими дернины [4].

Почвы формируются в условиях резко континентального климата, с недостаточным увлажнением и продолжительным морозным периодом. Распределение почв Байкальской котловины и прилегающих горных хребтов определяется особенностями рельефа, геологического строения, условиями увлажнения и теплообеспеченности, характером растительного покрова и другими природными факторами. Разнообразие физико-географических условий, присущих рассматриваемой территории, создает значительную пестроту и неоднородность в составе и свойствах почв. Главной характерной особенностью в распределении почв является высотная поясность [1].

В последнее время, в результате усиления антропогенного воздействия, на склонах мелких хребтов и линейно вытянутых грив, а также по дорожной сети Приольхонского плато активизировались процессы плоскостная и линейная эрозия [8, 9].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Несмотря на то, что годовое количество осадков на территории исследования минимальное для оз. Байкал (200–300 мм), процессы водной эрозии представляют опасность, так как большая их часть выпадает в летний период в виде ливней. В условиях разреженной степной растительности, трансформирующейся под воздействием рекреационной нагрузки, а также расширения зон неупорядоченных грунтовых дорог эрозионная опасность возрастает [12].

На ключевых участках учитывали характеристики рельефа и наземного покрова (выходы горных пород, общее проективное покрытие растительного покрова). Проводили морфологическое описание почв и отбор проб по генетическим горизонтам. В лаборатории определяли гранулометрический состав по Н.А. Качинскому, плотность — режущим цилиндром в объеме 100 см<sup>3</sup> в трехкратной повторности, содержание органического углерода по методу И.В. Тюрина [2, 3, 5].

Оценивали степень нарушенности почвенного покрова. Учитывали долю вытаптывания и механического повреждения подстилки, особенности его видового состава, а также долю дорожно-тропиночной сети. Отмечали наличие и степень проявления водной эрозии (струйчатые размывы, нанос мелкозема и т.д.). Проведение полевых работ и экспериментальных исследований позволили получить информацию и параметры, определяющие интенсивность водной эрозии почв.

На территории исследования почвенный покров не сплошной, а фрагментарный. Из-за особенностей рельефа, динамичности и грубообломочности субстрата формирование почв с полноразвитым профилем на крутых склонах крайне затруднено. Почвы, формирующиеся непосредственно на поверхности обнажений массивно-кристаллических пород под слоем накипных и пластинчатых лишайников представлены петроземами гумусовыми типичными (Lithic Leptosols (Humic)). Почвы понижений склонов, чаще всего северной экспозиции, сформированы в маломощной мелкоземистой или щебнисто-мелкоземистой толще, подстилаемой на глубине не более 30 см плотной породой – литоземы светлогумусовые (Lithic Leptosols). В лесостепном поясе юго-восточных склонов распространены серогумусовые (дерновые) почвы на обломочном материале (Dystric Hyperskeletic Leptosols). На склонах Приморского хребта большое распространение имеют светлогумусовые почвы (Eutric Leptosols). Степная растительность, произрастающая на них, сильно разрежена, поверхность почвы нередко покрыта тонким песчаным панцирем [11].

По гранулометрическому составу почвенные разности можно отнести к супесчаным и легкосуглинистым с преобладанием фракции мелкого песка. Высокое содержание крупнопылеватых и мелкопесчаных частиц в верхнем горизонте свидетельствуют о его распыленности и слабой оструктуренности. Легкий гранулометрический состав почв обусловливает 
качества, определяющие их склонность к смыву и размыву – это очень незначительная водоустойчивость агрегатов, способных распадаться от нескольких капель дождя при любом 
намачивании. Наличие на небольшой глубине водоупора даже при легком гранулометрическом составе обусловливает подверженность почв эрозионному смыву. Как правило, смыв

приурочен к действию талых вод и ливневых дождей, которые проводят дополнительную дезагрегацию поверхностного слоя и сортировку материала.

Почвы исследуемой территории обладают рядом особенностей: облегченным гранулометрическим составом верхних генетических горизонтов, укороченностью и щебнистостью профиля, слабой выщелоченностью (карбонаты отмечаются с глубины 10–40 см), наличием гидратированных пленок окислов железа и кремниево-карбонатных корок на обломках пород различного химического состава, широким диапазоном содержания гумуса при узком диапазоне изменения гранулометрического состава, практически полным отсутствием солей, конкреционных новообразований карбонатов и гипса. Для большинства почв характерен непромывной тип водного режима. Неоднородность геолого-геоморфологических и климатических условий имеют ведущее значение в пространственной дифференциации почвенного покрова [6]. Из-за специфических особенностей климата и водного режима почв на данной территории развиваются эрозионные процессы.

Таблица. Гранулометрический состав почв Приольхонья.

	тиолици. т	лица. 1 рапулометрический состав почв приольхопыя.								
	Глубина,		Размер частиц, мм							
Тип почвы	CM	1-0.25	0.25-	0.05-	0.01-	0.005-	< 0.001	<0.01*		
			0.05	0.01	0.005	0.001				
Серогумусовая	0–3	24.42	23.58	33.60	11.20	4.00	3.20	18.40		
дерновая	3–5	19.92	39.28	3.20	10.80	19.60	7.20	37.60		
Серогумусовая	0–2	22.23	24.17	11.20	17.60	19.20	5.60	42.40		
дерновая	2–9	14.65	48.95	8.00	13.60	6.80	8.00	28.40		
Литозем	0–2	8.85	45.15	27.60	3.60	6.40	8.40	18.40		
грубогумусовый	2–8	17.44	53.36	10.40	3.60	5.60	9.60	18.80		
Литозем грубогумусовый	0–5	2.04	24.36	31.60	9.20	11.60	21.20	42.00		
Сротиониналого	0–6	9.01	57.39	14.40	6.40	4.80	8.00	19.20		
Светлогумусовая	6–10	19.03	47.37	12.80	6.00	4.80	10.00	20.80		

Примечание: \* - физическая глина.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Различные ландшафты отличаются устойчивостью к антропогенным воздействиям и эрозионным процессам. Следующим природным комплексам свойственен больший перенос мелкозема: литоземы светлогумусовые (Lithic Leptosols) с выходами горных пород с преобладающими в растительном покрове полынью и караганой, а также редкими лиственницами; светлогумусовые почвы (Eutric Leptosols) с ковыльно-житняково-разнотравной растительностью; литоземы светлогумусовые (Lithic Leptosols) с выходами коренных горных пород с разнотравно-злаковой с караганой растительностью.

Линейная эрозия развивается в большинстве случаев по дорогам, проложенных вдоль склонов. Наряду с лёгким субстратом и разреженным растительным покровом, это предопределяет её быстрое развитие. Таким образом, в большинстве случаев разрастание эрозионной сети вызвано антропогенными причинами.

Почти во всех типах почв Приольхонья отсутствует или содержится очень малое количество водопрочной структуры. В условиях постоянной антропогенной нагрузки происходит возрастание количества частиц в диаметре менее 0.5 мм, которые наиболее эрозионно опасны.

Из-за специфических особенностей климата и водного режима почв на данной территории развиваются эрозионные процессы, которые усугубляются активной рекреационной деятельностью, что приводит к деградации почвенного покрова.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Байкаловедение. Учеб. пособие / Н.С. Беркин, А.А. Макаров, О.Т. Русинек. Иркутск: Издво Ирк. гос. ун-та, 2009. 291 с.
- 2. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы определения физических свойств почв и грунтов (в поле и лаборатории). М.: Высшая школа, 1961. 345 с.
- 3. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 272 с.
- 4. Знаменская Т.И., Солодянкина С.В., Вантеева Ю.В., Евстропьева О.В. Ландшафтноэкологическое состояние территории Приольхонья // В сборнике: Ландшафтная география в XXI веке, г. Симферополь, 2018. С. 273–276.
- 5. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1958. 192 c.
- 6. Мартынов В.П. Почвы горного Прибайкалья. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1965. 164 с.
- 7. Экологически ориентированное планирование землепользования в байкальском регионе. Ольхонский район / Под ред. Ю.М. Семенова, и др. Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО PAH, 2004. 147 c.
- 8. Опекунова М.Ю., Макаров С.А. Оценка опасных геологических процессов при рекреационно-туристской деятельности в Прибайкалье (Иркутская область) // Современные проблемы сервиса и туризма. Научно-практический журнал. Том 12. № 3. 2018. С. 121–132.
- 9. Пономаренко Е.А. Солодянкина С.В. Рекреационная деятельность в Приольхонье и на острове Ольхон. Иркутск: Изд-во Ирк. ГАУ им. А.А. Ежевского, 2015. 112 с.
- 10. Трофимова И.Е. Картографические модели климатических систем как информационная база сбалансированного территориального развития // География и природные ресурсы. 2007. № 4. C. 10–17.
- 11. Знаменская Т.И., Вантеева Ю.В., Солодянкина С.В. Факторы развития водной эрозии почв в зоне рекреационной деятельности в Приольхонье // Почвоведение. 2018. № 2. C. 221–228. DOI: 10.7868/S0032180X18020107. (Znamenskaya T.I., Vanteeva Yu.V., Solodyankina S.V. Factors of the Development of Water Erosion in the Zone of Recreation Activity in the Ol'khon Region // Eurasian Soil Science, 2018. Vol. 51. No. 2. pp. 228–235. DOI: 10.1134/S1064229318020151).
- 12. Vanteeva J.V., Solodyankina S.V. Ecosystem functions of steppe landscapes near lake Baikal // Hacquetia. 2015. №14(1). P. 65–78. doi: 10.1515/hacq-2015-0016.

#### PROCESSES OF WATER EROSION IN THE PRIOL'KHONIE

D.O. Martynova, T.I. Znamenskaya <sup>1</sup>Irkutsk State University <sup>2</sup>V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk

The soils of the Priol'khonie have a number of features: a light grain size distribution and a shortened and gravelly profile. The specific of the climate and water regime of the soil contribute the erosion process development.

Keywords: water erosion, granulometric composition, Priol'khonie

### УДК 631.41

## ФОСФАТНЫЙ РЕЖИМ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ ИНТЕНСИВНОМ ПРИМЕНЕНИИ АГРОХИМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

#### А.А. Мельникова

### Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова

В статье представлены результаты исследования фосфатного режима дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы Московской области. В почвенных образцах 2014 и 2018 года были определены некоторые показатели, характеризующие фосфатный режим: содержание подвижного фосфора, степень подвижности фосфатов и активность фосфатазы. Это позволило сделать вывод, что совместное использование фосфорных удобрений и известковых материалов наиболее эффективно для поддержания плодородия и улучшения фосфатного режима почвы в течение длительного времени.

Ключевые слова: фосфатазная активность, известкование, подвижный фосфор, длительные полевые опыты, озимая пшеница.

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Фосфор является одним из необходимых элементов минерального питания растений, отражающих плодородие почв. Особенно эта проблема актуальна для дерново-подзолистых почв, которые отличаются невысоким естественным плодородием, кислой реакцией среды, низким содержанием гумуса.

Улучшение почвенного плодородия дерново-подзолистых почв и получение высоких урожаев с/х культур возможно при внесении фосфорсодержащих удобрений [1], а также за счет обогащения почв кальцием [2]. В связи с чем вопросы оптимизации фосфатного режима на дерново-подзолистых почвах различной степени кислотности и влияние применения удобрений на фосфатный режим представляют несомненный интерес.

Результаты исследований в длительных полевых опытах ТСХА, НИУИФ в Долгопрудном, МГУ в Чашниково доказывают слабую эффективность фосфорных удобрений без предварительного известкования. В то же время самыми эффективными среди всех вносимых удобрений на кислых и сильнокислых почвах являются фосфорные, о чем свидетельствуют работы, проведенные на ЦОС ВИУА [4].

Целью данной работы является изучение влияния длительного применения удобрений и известкования и их последействия на фосфатный режим дерново-подзолистой почвы, а также наблюдение за динамикой некоторых показателей фосфатного режима почвы в условиях длительного полевого опыта.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования данной работы является дерново-подзолистая почва опытного поля поселка Барыбино Домодедовского района, территории ЦОС ВИУА.

Название опыта: Эффективность фосфоритной муки при периодическом известковании дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы (СШ-27); год закладки 1966.

До закладки опыта слабоокультуренные почвы опытного участка имели следующие агрохимические характеристики:  $pH_{KCl} - 3.9-4.1$ ; 1.65 % гумуса;  $H_{\Gamma} - 4.9-5.2$  мг-экв/100 г почвы:  $H_{\text{обм}} - 0.5 \text{ мг-экв/}100 \text{ } \Gamma$  почвы;  $S - 7.8 - 8.2 \text{ мг-экв/}100 \text{ } \Gamma$  почвы;  $P_2O_{5\text{подв}} - 3.0 - 7.0 \text{ мг/}100 \text{ } \Gamma$ почвы; степень подвижности фосфатов в 0.02 н.  $CaCl_2$ -вытяжке -0.02–0.04 мг/л  $P_2O_5$ ;  $K_2O_{\text{обм.}}$ − 10.0–11.5 мг/100 г почвы. Тип севооборота – полевой.

Севооборот до 1992 – пятипольный: озимая пшеница; картофель; ячмень + клевер; клевер 1 г.п.; клевер 2 г.п. С 1992 г. из севооборота исключена культура картофеля.

Опыт проводится на двух полях в 4-кратной повторности, площадь каждой делянки –

В опыте использовали двойной суперфосфат гранулированный в дозе 60 кг/га. В качестве азотных удобрений использовали аммиачную селитру в дозе 90 кг/га, калий вно-

<sup>©</sup> А.А. Мельникова, 2020

сили в форме хлорида калия, 120 кг/га в среднем за ротацию. Фосфорные удобрения вносили в течение первых пяти ротаций, с 1993 года не вносили – изучали их последействие. Удобрения вносили весной под культивацию перед посевом. Известь использовали в виде магнезиальной известняковой муки в течение первых трех ротаций и в 8 ротацию в 2006 году.

В соответствии с поставленными задачами для данного исследования были выбраны следующие варианты: 1. Контроль; 2. NK; 3. NK + суперфосфат двойной; 4. NK + известь по  $1.5 \, \Gamma.\kappa.$ ; 5. NK + известь по  $1.5 \, \Gamma.\kappa.$ ; 4. VK + известь по  $2.5 \, \Gamma.\kappa.$ ; 7. NK + известь по  $2.5 \, \Gamma.\kappa.$ ; 7. NK + известь по  $2.5 \, \Gamma.\kappa.$  + суперфосфат двойной.

Почвенные образцы были отобраны с двух полей методом конверта; рН — в вытяжке KCl; подвижный фосфор и калий определяли в вытяжке по Кирсанову; фосфор колориметрически с окрашиванием по Дениже, калий — на пламенном фотометре; степень подвижности фосфора определяли в 0.02 н. вытяжке  $CaCl_2$  (по Скофилду); активность фосфатазы измеряли с использованием в качестве субстрата  $\beta$ -глицерофосфата натрия [3].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Для того, чтобы изучить влияние фосфорных удобрений и известковых материалов на фосфатный режим почвы, были проведены исследования почвенных образцов, отобранных в 2014 и 2018 годах. В табл. 1 представлена агрохимическая характеристика опытных полей.

Таблица 1. Агрохимическая характеристика опытных полей.

	тиолици т. ты роли	мическая характерист	nka onbinibik	11071011.
Вариант	$pH_{KCl}$	Нг, мг-экв/100 г почвы	Гумус, %	Содержание обменного калия, мг/100 г почвы
Контроль	4.7 3.8	4.9	0.99	<u>14.4</u> 16.0
NK	4.5 3.6	6.4	1.19	$\frac{18.9}{23.0}$
NK+Ca1.5	4.8 3.8	5.5	1.16	$\frac{17.2}{20.0}$
NK+Ca2.5	<u>5.3</u> 4.1	3.2	1.12	$\frac{16.1}{20.0}$
NPK	4.5 3.5	6.3	1.59	<u>19.2</u> 19.7
NK+Ca1.5+P	<u>5.4</u> 3.8	3.3	1.31	14.0 19.3
NK+Ca2.5+P	<u>5.4</u> 4.0	3.5	1.48	15.2 16.7
HCP <sub>0.05</sub>	<u>0.2</u> 0.2	0.5	0.68	1.32 2.4

Примечание: в числителе данные за 2014 г., в знаменателе за 2018 г.

Показатель рН в 2014 году на контрольном варианте составил 4.7. Близкими значениями рН характеризуются и варианты, где были внесены азотно-калийные удобрения. Внесение извести в дозе 2.5 по г.к. увеличило данный показатель до 5.3. Максимальное значение рН (5.4) отмечено на вариантах с совместным внесением фосфорных удобрений и извести. В 2018 году наблюдается снижение рН по сравнению с 2014 годом: с 4.7 до 3.8 на контроле и с 5.3 до 4.0 на вариантах с известкованием. Таким образом, мы можем говорить о том, что влияние последействия известкования снижается, и спустя 12 лет данный показатель возвращается к исходному значению.

В табл. 2 приведены данные по урожайности озимой пшеницы за 2014 и 2018 гг.

Таблица 2. Данные по урожайности озимой пшеницы в опыте СШ-27 в 2014 и 2018 гг., ц/га.

Вариант	Зерно, ц/га	Масса 1000 зерен, г
Контроль	16.5 23.2	27.0 40.7
NK	16.6 26.3	27.6 40.6
NK+Pc	34.5 43.1	28.7 39.8
NK+известь 1.5 г.к.	37.6 34.1	28.4 42.6
NK+известь 1.5+Pc	<u>51.7</u> 58.2	30.1 41.5
NK+известь 2.5 г.к.	37.5 49.3	30.0 43.8
NK+известь 2.5 г.к.+Рс	<u>52.8</u> 68.3	33.4 44.8
HCP <sub>0.05</sub>	3.4 4.4	1.8 1.8

Примечание: в числителе данные за 2014 г., в знаменателе за 2018 г.

В 2014 и 2018 гг. опытной культурой была озимая пшеница. Если сравнивать урожай зерна и массу 1000 зерен, то можно увидеть, что в 2018 году они были выше. Возможно, это связано с различными погодными условиями: лето 2018 года было оптимальным по влажности и температуре, в то время как лето 2014 было более дождливым и холодным. Максимальный показатель урожайности соответствует вариантам с совместным внесением извести и двойного суперфосфата.

Последний раз суперфосфат вносили в 1993 году, поэтому было интересно более подробно рассмотреть показатели фосфатного режима, которые представлены в табл. 3. Содержание подвижного фосфора зависело от внесения фосфорных удобрений. По сравнению с контролем, этот показатель увеличился с 3.8 до 6.5 мг/100 г почвы на варианте NPK и достигал максимального значения 7.7 мг/100 г на вариантах NPK+Ca1.5 и NPK+Ca2.5 (2014 год).

 Таблица 3. Результаты исследований некоторых показателей фосфатного режима дерново-подзолистой почвы.

Danssar	Содерх подвижного		Активность ф	фосфатазы		одвижности ратов
Вариант	мг Р₂О₅/10	0 г почвы	мг $P_2O_5/100$	г за 1 час	мг $P_2O_5/\pi \ 0.02$	2 н. p-pa CaCl <sub>2</sub>
	2014	2018	2014	2018	2014	2018
Контроль	3.8	3.2	13.8	13.8	0.05	0.05
NK	3.6	3.3	14.2	9.3	0.01	0.01
NK+Ca1.5	4.4	2.8	13.5	14.4	0.05	0.04
NK+Ca2.5	4.0	2.7	11.1	22.0	0.09	0.01
NPK	6.5	5.6	16.1	13.0	0.20	0.04
NPK+Ca1.5	7.7	7.3	11.5	16.6	0.30	0.26
NPK+Ca2.5	7.7	5.8	21.1	19.3	0.19	0.15
$HCP_{0.05}$	1.5	1.2	5.3	6.1	0.08	0.09

Содержание подвижного фосфора за четыре года снизилось на вариантах с применением фосфорных удобрений и стало критически низким на всех остальных.

Для активности фосфатазы определяющим фактором в 2014 г. было наличие фосфорных удобрений, а к 2018 г., когда, по-видимому, произошла стабилизация микробных сообществ, наибольшую значимость приобрел другой фактор – известкование.

Результаты анализов образцов на степень подвижности фосфатов показывают ярко выраженное последействие совместного внесения двойного суперфосфата и магнезиальной из-

вестковой муки. Без внесения извести на делянках NPK этот показатель уменьшился в 5 раз, а без внесения суперфосфата на делянках NK+Ca2.5 – в 9 раз. В остальных случаях степень подвижности фосфатов слабо отличается от исходной величины (до закладки опыта она составляла 0.02–0.04 мг/л  $P_2O_5$ ).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- 1. Последействие от применения фосфорных удобрений положительно сказывается на содержании подвижного фосфора в почве, а также других показателей, отражающих уровень фосфатного режима, однако его роль со временем заметно ослабевает.
- 2. Исходя из данных по урожайности и показателям фосфатного режима, можно сделать вывод о том, что наиболее благоприятные условия формируются при совместном внесении фосфорных и известковых материалов.
- 3. Между степенью подвижности фосфатов и содержанием подвижного фосфора существует сильная корреляция (R=0.93 в 2014 и R=0.86 в 2018 году).

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Дзюин Г.П., Дзюин А.Г. Влияние уровней применения фосфорных удобрений на фосфатный режим почвы в севообороте // Вестник АПК Ставрополья. №4 (24). 2016.
- 2. Кирпичников Н.А. Влияние извести на фосфатный режим слабоокультуренной дерновоподзолистой почвы при длительном применении удобрений // Агрохимия. №12. 2016.
- 3. Практикум по агрохимии / Ред. Минеев В.Г. М.: Изд-во МГУ. 2001. 689 с.
- 4. *Сычев В.Г.*, *Кирпичников Н.А*. Приемы оптимизации фосфатного режима почв в агротехнологиях. М.: ВНИИА. 2009.

Работа рекомендована к.б.н., в.н.с. кафедры агрохимии и биохимии растений МГУ им. М.В. Ломоносова Е.В. Морачевской.

## PHOSPHATE REGIME OF SODDY-PODZOLIC SOILS IN CASE OF INTENSIVE APPLICATION OF AGROCHEMICALS

#### A.A. Melnikova

## Lomonosov Moscow State University

In this study, we investigated the effect of fertilization and liming on cereal crop (wheat) and phosphorus regime indicators (Kirsanov-P, CaCl<sub>2</sub>-P and phosphatase activity). Soil and plant samples were selected in 2014 and 2018 from long-term field experiments which is carried out on soddy-podzolic soils in Moscow region.

Joint application of superphosphate and lime showed positive effect on grain weight and values of mobile P. CaCl<sub>2</sub>-P correlated with Kirsanov-P with maximum values on NPK+Ca1.5 variants. The P-ase activity in soils depended on liming.

Keywords: phosphatase activity, mobile phosphorus, liming, winter wheat, long field experiments.

## ТОМОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПОРОВОГО ПРОСТРАНСТВА ПОЧВ: ВЗАИМОСВЯЗЬ ТОМОГРАФИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ

И.А. Мигдисова, К.Н. Абросимов

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

Сравнение пористости агрегатов разного размера (3–5 и 7–10 мм) чернозема типичного, определенной классическим методом парафинирования и современным микротомографическим методом, показало, что микротомографическая пористость превышает значения классического метода за счет анализа закрытой пористости. Также показано, что важное значение имеет определение порога бинаризации, а также подбор микротомографического разрешения, которое должно быть не ниже 1 мкм на пиксель.

Ключевые слова: томография, парафинирование, агрегаты.

### ВВЕДЕНИЕ

Как известно, для большинства почвенных свойств были разработаны специальные методы, которые стали классическими и традиционными. Какие-то из них обладают на данный момент множеством недостатков и потому отошли на второй план, уступив место более современным методам, а какие-то применяются до сих пор. В последнее время происходит активное развитие современных технологий, поэтому возникает вопрос — можно ли заменить традиционные методы современными, такими, как, например, почвенная микротомография? Будут ли наблюдаться существенные различия? Для ответа на поставленные вопросы остановимся на сравнении итоговых результатов, полученных традиционным и современным методами определения агрегатной пористости. Отметим, что методически это возможно, т.к. метод томографии после томографического исследования позволяет использовать образец для других анализов [1].

Цель данной работы: Сравнение результатов, полученных в ходе определения пористости агрегатов двумя методами: традиционным методом парафинирования и современным методом рентгеновской микротомографии. Задачи: (1) произвести томографическое исследование и определение пористости этих же агрегатов классическим методом парафинирования; (2) оценить визуально морфологические различия в структуре порового пространства для агрегатов разных размеров в разных горизонтах чернозема типичного по 3D томограммам (агрегаты 3–5 и 7–10 мм; горизонты Апахотный и С); (3) произвести сравнение результатов, полученных в ходе применения разных методов.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужил чернозём типичный, отобранный в 2013 году на Курской опытной станции. Из почвенных образцов были отсеяны на приборе «виброгрохот AS 200 control» агрегаты диаметром 3–5 мм, 7–10 мм из пахотного горизонта (горизонт «Апах») и агрегаты диаметром 7–10 мм из горизонта почвообразующей породы (горизонт «С»), взятые с глубины 150–170 см. Для последующего анализа было отобрано по 1 агрегату нужных диаметров. Далее проводились опыты по определению агрегатной пористости двумя методами: томографированием и парафинированием. Пробы для анализа готовились исходя из пропускающей способности материала: почвенные образцы были плотно упакованы в пластиковый шприц диаметром 1 см. Внутри шприца были последовательно размещены 3 агрегата (3–5 мм, 7–10 мм из пахотного горизонта и агрегат из горизонта С). В качестве прокладки между ними был использован пенопласт, обладающий очень высокой проницаемостью, что исключало создания помех и перекрытий при рентгеновском просвечивании.

Томографический анализ и реконструкция пористости проводились на приборе Bruker SkyScan 1172: сначала были получены фотографии порового пространства агрегатов, а затем

<sup>©</sup> И.А. Мигдисова, К.Н. Абросимов, 2020

– проведена реконструкция, в ходе которой проводилась обработка данных с помощью специализированных программ СТ-Vox и СТ-Analyze. Из полученных изображений выбирали область, расчёт в которой являлся максимально корректным, – выбранная часть не включала в себя краевые зоны и являлась наиболее характерной для всего образца в целом. Затем проводилась бинаризация изображения. Для того, чтобы избежать погрешностей в разделении твердой и газообразной фазы почвы, все изображения разделяли на две фазы. Разделение производили подборкой одиночного порогового значения по гистограмме интенсивностей пикселей (как среднее значение между пиками, соответствующими двум указанным фазам). Затем, после этапа бинаризации, в программе СТ-An были получены данные о различных значениях пористости (открытая, закрытая, общая, объемные соотношения и т.д.). Анализ проводился как в 2D проекциях, так и по общей 3D модели образца. Для того, чтобы подсчитать количество индивидуальных объектов (количество открытых и закрытых пор, их общий объём в массиве образцов), бинаризация была проведена таким образом, чтобы область пор была не чёрного, а белого цвета, что позволило программе рассчитать количество отдельных пор. Съёмка проводилась при двух разрешениях – 1 мкм и 16 мкм на пиксель.

Метод парафинирования был использован в классическом варианте [2].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Данные, полученные при съемке на томографе при двух разрешениях – 1 мкм и 16 мкм на пиксель – сильно отличаются. (табл. 1) При разрешении 16 мкм на пиксель мелкие поры уже не видны, поэтому программа «считает» только крупные поры, из-за чего значение пористости получается некорректным. При разрешении 1 мкм мелкие поры легко различимы, поэтому можно без затруднений рассчитать процент закрытой и открытой пористости, а также подсчитать количество микропор (рис. 1).

Таблица 1. Томографические характеристики агрегатов чернозема типичного.

	Tuominga 1. Tomor pagni reekite napaktepherinkii ar perarob rephosema rinini moro.					
	Апах	Апах	Горизонт	Апах	Апах	
Показатель	(3-5 мм)	(7-10 мм)	C	(3-5  MM)	(7-10  mm)	
Показатель	Порис	тость (при съ	емке с	Пористо	сть (при	
	раз	решением 1 м	разрешении 16 мкм)			
Число слоёв	1001	1001	1001	300	526	
Общий объём, мм <sup>3</sup>	6.63	6.63	6.63	265.39	1131.41	
Количество пор	33665	280898	198811	3912	47937	
Количество пор, 1/мм <sup>3</sup>	5075.90	42352.90	29976.09	14.74	42.37	
Число закрытых пор	21947	38	537	1	1306	
Число закрытых пор, 1/мм <sup>3</sup>	3309.10	5.73	80.97	0.00	1.15	
Закрытая пористость, %	0.04	1.82	1.22	ı	_	
Объем открытых пор, мм <sup>3</sup>	3.38	1.33	2.06	ı	_	
Открытая пористость, %	51.00	20.08	31.11	_	_	
Общая пористость, %	51.02	21.53	31.96	0.98	4.47	

Пористость, томографически определенная в агрегатах из пахотного горизонта разного диаметра (3–5 мм и 7–10 мм) сильно различается — 51.02 и 21.53 %. Объяснить это можно сложностью в подборе порога бинаризации: в зависимости от выбора значения программа повышает контрастность, из-за чего так называемые «шумы» (чаще всего, обусловленные содержанием органического вещества в порах) принимаются за маленькие закрытые поры, из-за чего результаты сильно меняются. Если порог бинаризации поставить ниже среднего, большинство микропор, составляющих объем закрытой пористости, перейдет в открытую, тем самым также изменив результаты «выдачи».

При съемке с разрешением 1 мкм получили, что закрытая пористость занимает лишь 2 % от объема почвенного образца. Это говорит о том, что практически все поры, находящиеся в зоне, которую мы выбрали для анализа, открываются на поверхность. Также это может говорить о неправильно подобранном пороге бинаризации, так как в этом случае все закрытые поры были автоматически объединены программой в одну открытую (рис. 2).

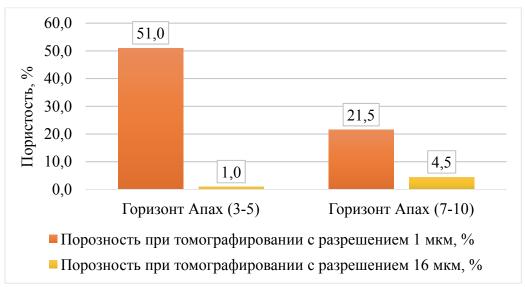


Рисунок 1. Агрегатная пористость, полученная методом томографирования при разных разрешениях.

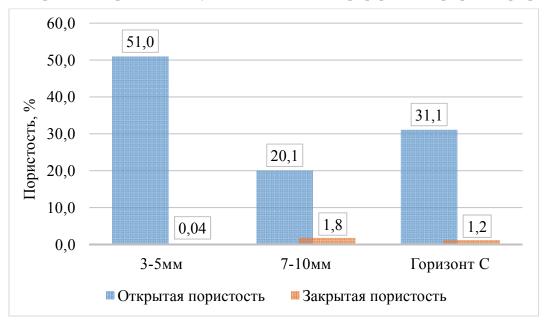


Рисунок 2. Соотношение открытой и закрытой пористости при съемке с разрешением 1 мкм.

Ещё одной количественной характеристикой порового пространства агрегатов является распределение пор по размерам в агрегатах разного размера. Наибольшее количество пор в агрегате размером 3—5 мм лежит в интервале от 9 до 13 мкм, для агрегата 7—10 мм — а интервале от 6 до 9 мкм. В образце из горизонта С поры более-менее равномерно распределены по размерам. По видимости, отмеченные различия можно объяснить степенью оструктуренности горизонтов: самые маленькие поры характерны для слабооструктуренных пахотных горизонтов с большим запасом органического вещества, в то время как для горизонта С количество микропор значительно уменьшается [3] (рис. 3).

При парафинировании рассчитанная пористость агрегатов из пахотного горизонта, прошедших томографическую съёмку, составила 37.7 % (диаметром 3–5 мм), 38.7 % (диаметром 7–10 мм) и 27.3 % (образец из горизонта С). Ниже представлены результаты сравнения метода парафинирования и томографирования. (рис. 4) При определении пористости методом парафинирования не учитывается закрытая пористость, так как закрытые поры не заполняются парафином, следовательно, значения получаются несколько заниженными. Томографирование позволяет оценить структуру пор изнутри почвенного агрегата, на основе чего можно сделать выводы о процессах, происходящих в исследуемых горизонтах, в то время как парафинирование позволяет лишь рассчитать значение пористости агрегата.

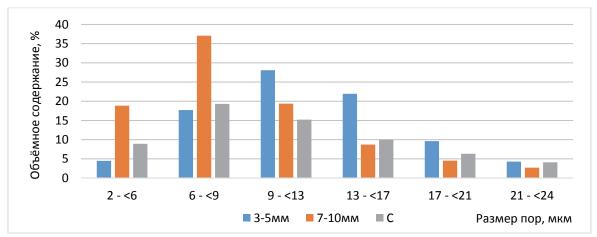


Рисунок 3. Распределение пор по размерам в агрегатах из разных горизонтов почвенного профиля.

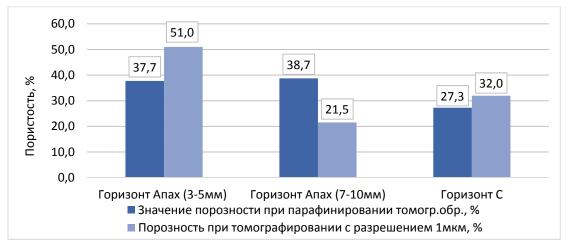


Рисунок 4. Сравнение пористости томографированных образцов при томографии и парафинировании.

#### ВЫВОДЫ

- 1. Метод рентгеновской микротомографии является современным, количественным, однако и он имеет ряд недостатков. Главной проблемой в методе томографирования является субъективный подход к подбору порога бинаризации, из-за чего данные широко варьируют. Данные, полученные при исследовании пористости методом парафинирования, отличаются от томографических результатов меньшим разбросом и большей надежностью.
- 2. При определении пористости методом парафинирования не учитывается закрытая пористость, так как закрытые поры не заполняются парафином, следовательно, значения получаются заниженными.
- 3. Метод томографирования является более современным, однако требует корректного подбора задаваемых условий (диапазон разрешения съёмки). Важно правильно выбирать подходящее разрешение, на котором будет проводиться съемка в зависимости от размера образца и целей исследования, в противном случае на объёмной модели либо будут неразличимы микропоры, либо же макропоры не войдут в зону исследования, в результате чего результаты анализа не будут корректными.
- 4. При выборе метода для анализа порового пространства почв следует руководствоваться поставленными целями эксперимента в случае, если требуется получить количественное значение пористости, больше подходит метод парафинирования. Если же требуется рассчитать такие параметры, как открытая и закрытая пористость, связанность пор и объемное содержание пор разного размера в образце следует использовать томограф. Помимо расчета новых томографических показателей, рентгеновская съемка позволяет оценить структуру пор изнутри почвенного агрегата, на основе чего можно сделать выводы о процессах, происходящих в исследуемых горизонтах.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Шеин Е.В., Милановский Е.Ю, Хайдапова Д.Д., Дембовецкий А.В., Тюгай З.Н.* Новые приборы для изучения физических свойств почв: 3D-томография, реологические параметры, контактный угол // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, №5 (115), 2014.
- 2. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв и грунтов. М.: Высшая школа, 1973. 110 с.
- 3. Шеин Е.В. Курс физики почв // Изд. Московского университета, 2005.

Работа рекомендована д.б.н., проф. Е.В. Шеиным.

## TOMOGRAPHIC STUDY OF THE SOIL AGGREGATES PORE SPACE: THE CORRELATION BETWEEN TOMOGRAPHIC INDICATORS AND PHYSICAL PROPERTIES OF SOILS

I.A. Migdisova, K.N. Abrosimov

Lomonosov Moscow State University, Moscow

Comparison of typical chernozem aggregates porosity of size of 3–5 and 7–10 mm, determined by the classical method of paraffination and microtomographic method, showed that the microtomographic porosity exceeds the classical values due to the analysis of closed porosity. It is shown that the determination of the binarization threshold and the micro-tomographic resolution, which should be no lower than 1 µm per pixel, is of primary importance.

Keywords: pore space, tomography.

## РАДИОНУКЛИДЫ ( $^{226}$ Ra, $^{232}$ Th, $^{40}$ K, $^{137}$ Cs) В ПОЧВАХ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНА РОССИИ, СФОРМИРОВАННЫХ НА ТРЕХ ТИПАХ ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД

Е.В. Мингареева

Центральный музей почвоведения имени В.В. Докучаева – филиал ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева»

Представлены результаты исследования содержания естественных радионуклидов (ЕРН) (<sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K) и техногенного <sup>137</sup>Cs в образцах почв, сформированных на наиболее распространенных типах почвообразующих пород Северо-Запада: озерно-ледниковых (безвалунных и ленточных глинах), ледниковых и водноледниковых отложениях. Почвенные разрезы заложены в Псковской, Новгородской и Ленинградской областях. Гранулометрический состав в верхней части профиля почв легче, чем в почвообразующей породе. Это отражается на содержании ЕРН в профиле этих почв: с уменьшением фракций физической глины и ила, уменьшается содержание <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K. Это связано с закреплением естественных радионуклидов вторичными глинистыми минералами. По увеличению средней удельной активности всех ЕРН почвы образуют следующую последовательность: почвы на водно-ледниковых отложениях. Сравнение средней удельной активности естественных радионуклидов и их диапазонов в верхней части почв (0–5, 5–10 и 10–20 см) и в почвообразующей породе (90–100 см) выявило более высокое содержание радионуклидов в почвообразующих породах (озерно-ледниковые и моренные отложения). В почвах на водно-ледниковых отложениях существенной разницы не выявлено. Установлена удельная активность естественных радионуклидов в образцах почвообразующих пород.

Техногенный <sup>137</sup>Cs обнаружен в современных образцах почв, а также в образце 1971 г. Его удельная активность варьирует в пределах 6.7–290 Бк/кг (48.9±65.3 Бк/кг), с наибольшим содержанием в почвах Ленинградской и Новгородской областей.

Ключевые слова: естественные радионуклиды, цезий-137, почвы и почвообразующие породы.

© Е.В. Мингареева, 2020

### ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее острых экологических проблем является радиационное загрязнение экосистем. Независимо от источников загрязнения его последствия всегда отражаются на почвах. В настоящее время накоплен значительный фактический материал по радиоактивному загрязнению почв России. Однако он либо сильно усреднен как в случае с данными, приведенными в Sources and Effects of Ionizing Radiation ( $^{226}$ Ra — средняя удельная активность  $35\pm4~\rm Kg/kg$ , при типичном диапазоне  $17-60~\rm Kg/kg$ ;  $^{232}$ Th —  $30\pm3~\rm Kg/kg$ ,  $11-64~\rm Kg/kg$ ;  $^{40}$ K —  $400\pm24~\rm Kg/kg$ ,  $140-850~\rm Kg/kg$ ), либо касается только почв, подвергшихся в разное время загрязнению техногенными радионуклидами [5, 14].

Уникальную возможность для исследований содержания радионуклидов в почвах и почвообразующих породах дает обширная коллекция почвенных монолитов (ПМ) и образцов из различных регионов России, отобранных с 1904 г. по настоящее время и хранящиеся в Центральном музее почвоведения им. В.В. Докучаева (ЦМП).

Цель работы – исследование содержания естественных радионуклидов  $^{226}$ Ra,  $^{232}$ Th,  $^{40}$ K и техногенного  $^{137}$ Cs в почвах, сформированных на трех преобладающих типах почвообразующих пород.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами явились почвенные образцы разных сроков отбора из 11 ПМ и 6 разрезов, отобранные в период с 1926 г. по 2017 г. и входящие в Биоресурсную коллекцию почвенных монолитов ЦМП. Почвенный монолит представляет собой объемную призму почвы ненарушенного строения со стандартными размерами  $100\times20\times5$  см. Образцы из ПМ и разрезов отбирались послойно с глубин 0–5, 5–10, 10–20 и 90–100 см. Пробоподготовка и последующий анализ образцов проводились однотипно и по общепринятым методикам.

Все почвы сформированы на почвообразующих пород (ПП), наиболее распространенных на Северо-Западе (Ленинградская, Новгородская и Псковская области). Это озерноледниковые, ледниковые и водно-ледниковые отложения.

В Ленинградской области исследовались почвы Тихвинского, Бокситогорского и Тосненского районов. Исследуемые почвы относятся к 6 таксономическим типам [12]: Entic Podzol (разр. 1), Rubic Arenosol (разр. 1567), Gleysol (разр. 2116), Haplic Stagnosols (разр. 1560 и 711), Histic gleyisol (разр. 261) и Haplic Albeluvisol (разр. МЛК-4). Две почвы включены в Красную книгу почв Ленинградской области и относятся к категории «Почвенные эталоны» (разр. 711) и «Почвы – объекты мониторинга» (разр. 261) [8]. Новгородская область (Новгородский и Валдайский районы) представлена: Umbric Albeluvisol (разр. 414), Haplic Cambisol (разр. ЭНВМ-10), Histosol (разр. 3.29), Gleysol (разр. 10.17), Rubic Arenosol (разр. 50, 7.17). В Псковской области исследованы почвы: Stagnic Albeluvisol (разр. 287), Entic Podzol (разр. 2138) и Haplic Albeluvisol (разр. 383 и 3.17) из Новосокольнического и Куньинского районов.

Озерно-ледниковые отложения (исследовано 6 почв) характеризуются тяжелым гранулометрическим составом и представлен хорошо сортированным материалом (безвалунные глины), либо материалом, имеющим тонкую слоистость (ленточные глины), обусловленную сезонностью формирования отложений [11]. Морены (7 почв) представляют собой породу неоднородную по минералого-петрографическому и гранулометрическому составам. Водноледниковые (4 почвы) характеризуются песчаным-супесчаным гранулометрическим составом [11].

Известно, что поведение радионуклидов в почве зависит от многих факторов: генетических особенностей почвы, ее режимов (водный, кислотный, окислительно-восстановительный), содержания в почве органического вещества, гранулометрического, химического и минералогического составов почвы [2, 3, 9, 10, 16]. В образцах были определены: р $H_{H2O}$  и гранулометрический состав в наибольшей степени, влияющие на поведение радионуклидов в почвах [1, 10]. Удельная активность ( $R_A$ ) радионуклидов ( $^{226}$ Ra,  $^{232}$ Th,  $^{40}$ K,  $^{137}$ Cs) в образцах определялась методом гамма-спектрометрии в ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт радиологии и агроэкологии [6].

Статистическая обработка подученных данных проводилась методом описательной статистики: среднее арифметическое (M), стандартное отклонение ( $\sigma$ ), U-критерий Манна-Уитни и коэффициент вариаций ( $V_{\sigma}$ ) [14].  $V_{\sigma}$  рассчитывался для всей совокупности образцов, а также по слоям отбора образцов в отдельности по группам ПП. На основании литературных данных и статистической обработки полученного материала,  $V_{\sigma}$ , превышающий 30 %, был принят как показатель неоднородности  $R_A$  EPH [1].

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание физической глины (фракции меньше 0.01 мм) в почвах на озерноледниковых отложениях (далее – I группа) в среднем составляет  $56\pm18.3$  %, а фракция ила (фракции меньше 0.001 мм):  $16.0\pm8.2$  % (табл. 1). Характерно, что в почвах на озерноледниковых отложениях в верхней части профиля (0–5, 5–10 и 10–20 см) содержание физической глины и ила в полтора—два раза меньше, чем в почвообразующих породах, за исключением почвы разр. 2116, где разница несущественна.

Таблица 1. Гранулометрический состав и реакция среды в исследуемых почвах

Объекты исследования	Диапазон значений рН	Диапазон с фракц	одержания ции, %
(глубина отбора образцов)	водной суспензии	<0.001 мм	<0.01 мм
Почвы на озерно-ледниковых отложениях (0–20 см)	4.1–6.0	5.0–35.0	28.0–82.0
Озерно-ледниковые отложения (90–100 см)	6.1–7.9	16.0–46.0	69.0–94.0
Почвы на моренах (0–20 см)	3.7–6.6	12.2–48.9	4.0–25.7
Моренные отложения (90–100 см)	5.1-8.3	8.1–73.4	14.0–26.3
Почвы на водно-ледниковых отложениях (0–20 см)	4.6–5.7	4.2–45.9	9.2–50.1
Водно-ледниковые отложения (90–100 см)	5.3–5.9	1.3–14.5	3.5–24.2

По сравнению с почвами I группы среднее содержание фракции ила в почвах (по всему профилю) на моренах (II группа) меньше (11.4±8.6 %), при содержании фракции физической глины почти в два раза меньше (29.6±17.1 %). Различие в содержании физической глины и ила в верхней части почв и ПП (морене) является незначительным (не превышает 6.5 %), за исключением 2 разрезов. В разр. 414 различие в содержании фракций составляет 15–20 % с наибольшим их количеством в породе, а в разр. 383, содержание фракций физической глины и ила на глубине 90–100 см увеличивается практически вдвое по сравнению с верхними 0–20 см (73.4 и 26.3 %, соответственно).

Почвы на водно-ледниковых отложениях (III группа) имеют легкий гранулометрический состав — от рыхлого песка до легко суглинка. Содержание физической глины и ила в почвах в среднем составляет  $19.7\pm14.8~\%$  и  $16.9\pm14.2~\%$ , соответственно. В ПП количество этих фракций уменьшается в два—три раза. В почвах на водно-ледниковых отложениях, по сравнению с почвами I и II групп, отмечается наибольшее количество фракций песка (96 и 93 % в разр. 7.17 и 1, соответственно). Это свидетельствует о преобладании в почвах III группы первичных минералов. Различия в содержании первичных и вторичных (тонкодисперсных фракций) минералов может повлиять на  $R_A$  EPH [1, 4, 7].

Известно, что поведение радионуклидов связано с почвенной кислотностью. Так по литературным данным, наиболее сильная сорбция <sup>232</sup>Th наблюдается в почвах с нейтральной и слабощелочной реакций среды, а наименьшая – в кислой [4]. Почвы I и II групп в верхней части профиля в большинстве случаев имеют кислую реакцию среды (табл. 1) и только в трех почвах (разр. 711, 10.17 и 3.17) реакция близка к нейтральной. Реакция среды в образцах ПП

этих групп варьирует широком диапазоне – от слабокислой до слабощелочной. Вероятно, это связано с наличием в некоторых образцах первичных минералов, содержащих карбонаты. Почвы на водно-ледниковых отложениях по всему профилю имеют кислую реакцию среды.

Содержание радионуклидов. *Радий-226* присутствует в природе в рассеянном состоянии и практически не входит в состав отдельных минералов. <sup>226</sup>Ra в почвах обладает наибольшей миграционной способностью. Его максимальная сорбция отмечена в почвах с высоким содержанием илистой фракции. До 40 % всех соединений с <sup>226</sup>Ra в почвах находятся в водорастворимой, обменной и кислоторастворимой форме [7, 16].

Удельная активность  $(R_A)^{226}$ Rа во всех почвах изменяется в широком диапазоне от 3.8 до 50.0 Бк/кг (M 20.5±10.4 Бк/кг) (табл. 2). Следует отметить, что в органогенных горизонтах удельная активность ниже чувствительности прибора. Наиболее широкий диапазон  $R_A$  элемента характерен для почв на моренных отложениях, а наиболее узкий – для почв на озерноледниковых. В образцах ПП  $R_A$   $^{226}$ Rа варьирует в более узком диапазоне 5.1–50.0 Бк/кг (M 22.7±11.7 Бк/кг). Различие в средних значениях удельной активности радионуклида с учетом стандартного отклонения ( $\sigma$ ) в образцах из верхней части профиля (0–5, 5–10, 10–20 см), а также в ПП не существенно. В целом, средние значения содержания  $^{226}$ Rа на глубине 90–100 см выше, чем в верхней части профиля, за исключением почв на водно-ледниковых отложениях, где ситуация обратная.

Таблица 2. Результаты статистической обработки данных содержания естественных радионуклидов.

таолица 2. гезультаты ст					
Объекты исследования		Кол-во	Среднее значение	Диапазон	Коэф.
(глубина отбора	Радио-	образцов	(М) и стандартное	удельной	вариаций
` •	нуклид	(N)	отклонение (σ)	активности $(R_A)$	$(V\sigma)$
образцов)		Ед.	Бк/к	ïΓ	%
Почвы на озерно-	<sup>226</sup> Ra		22.0±9.6	12.0-39.4	43.7
ледниковых	<sup>232</sup> Th	18	30.6±13.0	12.2-49.2	42.5
отложениях (0-20 см)	$^{40}$ K		606±236	302-903	39.0
Озариа нанишкарија	<sup>226</sup> Ra		26.9±7.0	22.0-35.6	25.9
Озерно-ледниковые	<sup>232</sup> Th	6	51.7±9.3	37.0-60.8	18.0
отложения (90–100 см)	$^{40}$ K		868±235	470–1043	27.1
Помити на матамам	<sup>226</sup> Ra		21.0±8.8	7.0-43.0	41.8
Почвы на моренах (0–20 см)	<sup>232</sup> Th	21	25.8±11.2	10.0-45.0	43.6
(0-20 CM)	$^{40}$ K		614±257	50-890	41.8
Моролица отпожания	<sup>226</sup> Ra		26.0±13.1	14.5-50.0	50.4
Моренные отложения (90–100 см)	<sup>232</sup> Th	7	34.5±9.7	25.0-48.5	28.1
(90–100 cm)	<sup>40</sup> K		698±160	417–890	23.0
Почвы на водно-	<sup>226</sup> Ra		13.7±9.7	3.8-39.7	71.0
ледниковых	<sup>232</sup> Th	12	18.3±7.4	12.5–36.0	40.4
отложениях (0-20 см)	$^{40}$ K	_	466±110	378–740	23.7
Волио долимовило	<sup>226</sup> Ra		10.7±5.3	5.1–16.6	49.9
Водно-ледниковые	<sup>232</sup> Th	4	17.0±9.2	11.3–31.7	53.8
отложения (90–100 см)	$^{40}$ K		441±76	384–557	17.1

Различия между значениями  $R_A^{226}$ Rа в почвах на озерно-ледниковых, моренных и водно-ледниковых отложениях по критерию Манна-Уитни достоверна только между I и III, а также II и III группами. Это связано с более низкими значениями удельной активности в почвах на водно-ледниковых отложениях по сравнению с почвами, сформированными на других типах  $\Pi\Pi$ .

Анализ значений коэффициента вариаций ( $V_{\sigma}$ ) по группам выявил, что значения  $V_{\sigma}$  (неоднородность) в почвах превышают 30 %-порог и увеличиваются в ряду: озерноледниковые, ледниковые и водно-ледниковые отложения. По глубинам в отдельности, с которых отбирались образцы,  $V_{\sigma}$  также превысил 30 %, за исключением глубин 5–10 и 90–100 см в почвах I группы. Наибольшая неоднородность отмечена в образцах почв III группы на глубине 10–20 см в иллювиально-железистых и железисто-метаморфических горизонтах.

*Торий-232*. Среднее содержание  $^{232}$ Th в почвах СССР составляло 31.1 Бк/кг (0.24 до 400 Бк/кг). До 10 % всех соединений с  $^{232}$ Th в почвах находится в водорастворимой, обменной и кислоторастворимой форме, а количество прочносвязанных и связанных с полуторными оксидами соединений достигает 80 % [7].

 $R_A$  <sup>232</sup>Th во всех почвах варьирует в пределах 10.0–60.8 Бк/кг (M 28.7±14.1 Бк/кг) и определяется содержанием радионуклида в почвообразующих породах (M 36.5±16.2 Бк/кг) (табл. 2). Как и в случае с <sup>226</sup>Ra, практически во всех органогенных горизонтах удельная активность ниже чувствительности прибора. Наиболее широкий диапазон  $R_A$  <sup>232</sup>Th характерен для верхней части почв I и II групп. Разница в средних значениях удельной активности радионуклида с учетом  $\sigma$  в образцах из верхней части профиля, а также в ПП существенна только для почв I группы. Отмечена тенденция к более высокому содержанию тория-232 на глубине 90–100 см по сравнению с верхней частью профиля, за исключением почв на водноледниковых отложениях, где ситуация обратная, хотя разница между средними значениями составляет всего 1.3 Бк/кг.

Расчет U-критерия Манна-Уитни показал различия в содержании  $^{232}$ Th в тех же парах (I и III и III группы), что и для  $^{226}$ Ra.  $V_{\sigma}$ , рассчитанный по группам, составляет 40.5–43.5 % и увеличиваются в ряду: ледниковые, озерно-ледниковые и водно-ледниковые отложения. По глубинам в отдельности, с которых отбирались образцы,  $V_{\sigma}$  также превысил 30 %, за исключением образцов почвообразующих пород первой и второй групп, а также для образцов с глубины 5–10 см в почвах на водно-ледниковых отложениях.

Kалий-40 один из основных (по активности) естественных радионуклидов в почвах и растениях. В почве его удельная активность может составлять 300-1000 Бк/кг. При распаде калий-40 превращается в стабильный  $^{40}$ Са. Основными K-содержащими минералами являются биотит, мусковит, ортоклаз и иллит [7, 16].

Содержание  $^{40}$ К в почвах составляет 50–1043 Бк/кг (M 606±236 Бк/кг) (табл. 2). Как и в случае с радием-226 и торием-232, в некоторых органогенных горизонтах его удельная активность ниже чувствительности прибора. Наличие радионуклида в некоторых органогенных горизонтах, возможно, связано с незначительной примесью в них минеральных частиц. Наиболее широкий диапазон  $R_A$   $^{40}$ К характерен для почв второй группы, а наиболее узкий – для третьей. В образцах ПП удельная активность калия-40 варьирует в более узком диапазоне 384–1043 Бк/кг (M 698±238 Бк/кг).

Разница между верхней частью профиля и почвообразующей породой, а также тенденция к более высокому содержанию  $^{40}$ К в образцах ПП имеют тот же характер, что и в случае  $^{232}$ Th. Расчет критерия Манна-Уитни выявил те же закономерности между тремя группами, что и для  $^{226}$ Ra и  $^{232}$ Th. Коэффициента вариаций  $V_{\sigma}$  по сравнению с другими EPH имеет невысокие значения. Так, в почвах на озерно-ледниковых и моренных отложениях он составил 38.8 и 37.2 %, соответственно, а в почвах на водно-ледниковых — 23 %. По глубинам в отдельности, с которых отбирались образцы, отмечена тенденция к уменьшению значений  $V_{\sigma}$  с глубиной, за исключением образцов III группы на глубине 90–100 см, в которых коэффициент чуть выше, чем в слоях 5–10 и 10–20 см. Следует отметить, что в почвах на водноледниковых отложениях, коэффициент вариаций по глубинам не превышает 33.5 %.

*Цезий-137* является одним из основных долгоживущих техногенных радионуклидов (период полураспада = 30.17 лет). <sup>137</sup>Cs является химическим аналогом биогенно важного элемента калия [16].

Искусственный радионуклид  $^{137}$ Cs обнаружен только в верхней части профиля (0–20 см) восьми современных почв, отобранных после 1996 г. (разр. 711, 2138, ЭНВМ-10, 10.17, 3.17, 261, МЛК-4, 7.17) и почве 1971 г. отбора (разр. 414) (1). Наличие цезия-137 в разр. 414, возможно, связано с местным загрязнением. Содержание радионуклида в почвах варьирует в пределах 6.7–290 Бк/кг (M 48.9±65.3 Бк/кг) с наибольшим количеством в почвах Ленинградской (разр. 261–290 Бк/кг и МЛК-4 – 93.6 Бк/кг) и Новгородской области (разр. 7.17–90.9 Бк/кг). Основная масса цезия-137 наблюдается в верхних 0–5 см, ниже его содержание резко уменьшается. Исключением являются образцы почвы разр. 10.17, где наибольшее количе-

ство радионуклида отмечено на глубине 5–10 см. Это может быть связано с перемешиванием почвы при мелиоративных работах.

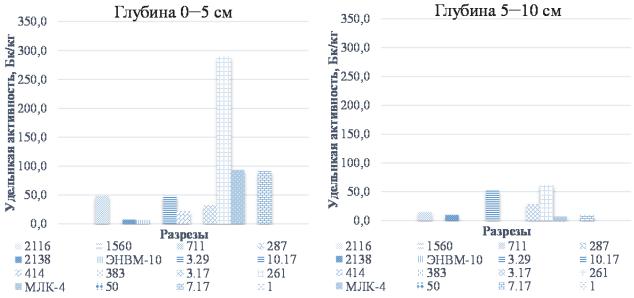


Рисунок 1. Удельная активность <sup>137</sup>Cs в исследуемых почвах на глубинах 0–5 и 5–10 см.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Удельная активность EPH в исследуемых почвах отличается от данных, приведенных в отчете «Sources and effects of ionizing Radiation», как для всей совокупности почв, так и с учетом ПП [5]. Наиболее сильно отличаются почвы на водно-ледниковых отложениях, показатели  $R_A$  по радию-226 и торию-232 в которых несколько ниже, чем в работе [5] ( $^{226}$ Ra –  $35\pm4$  Бк/кг;  $^{232}$ Th –  $30\pm3$  Бк/кг).

Сравнение средней удельной активности естественных радионуклидов и их диапазонов в верхней части почв (0–20 см) и в почвообразующей породе (90–100 см) выявило более высокое содержание радионуклидов в почвообразующих породах (озерно-ледниковые и моренные отложения). В группе почв на водно-ледниковых отложениях существенной разницы не выявлено.

По увеличению средней удельной активности всех ЕРН почвы образуют следующую последовательность: почвы на водно-ледниковых отложениях – почвы на моренах – почвы на озерно-ледниковых отложениях.

```
Выявлено содержание ЕРН в 3 типах основных ПП Северо-Запада:
```

- озерно-ледниковые отложения: <sup>226</sup>Ra: 26.9±9.2 (22.0–35.6) Бк/кг;
- <sup>232</sup>Th: 51.7±9.3 (37.0–60.8) Бк/кг;
- <sup>40</sup>К: 868±236 (470–1043) Бк/кг.
- ледниковые (морены) отложения:  $^{226}$ Ra:  $26.0\pm13.1$  (14.5-50.0) Бк/кг;
- <sup>232</sup>Th: 34.5±9.7 (25.0–48.5) Бк/кг;
- <sup>40</sup>К: 698±160 (630–890) Бк/кг.
- водно-ледниковые отложения:  $^{226}$ Ra:  $10.7\pm5.3$  (22.0-35.6) Бк/кг;
- <sup>232</sup>Th: 17.0±9.2 (37.0–60.8) Бк/кг;
- <sup>40</sup>К: 441±75.6 (470–1043) Бк/кг.

Техногенный  $^{137}$ Cs обнаружен в современных образцах почв (1996–2017 гг. отбора), а также в образце 1971 г. (разр. 414). Его  $R_A$  варьирует в пределах 6.7–290 Бк/кг (48.9±65.3 Бк/кг), с наибольшим содержанием в почвах Ленинградской и Новгородской областей.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Aparin B.F., Mingareeva E.V., Sukhacheva E.Y., Sanzharova N.I. Concentrations of radionuclides (<sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K, and <sup>137</sup>Cs) in chernozems of Volgograd region sampled in different years / Eurasian Soil Science. 2017. T. 50, № 12, 1395–1405.
- 2. Forsberg S., Rosen A., Fernandez V., Juhan H. Migration of <sup>137</sup>Cs and <sup>90</sup>Sr in undisturbed soil profiles under controlled and close-to-real conditions / Journal of Environmental Radioactivity 50 (2000). P. 235–252.
- 3. Gomes M.E.P., Martins L.M.O., Neves L.J.P.F., Pereira A.J.C.S. Natural radiation and geochemical data for rocks and soils, in the North International Duoro Cliffs (NE Portugal) / Journal of Geochemical Exploration, 130 (2013). p. 60–64.
- 4. *Rachkova N.G.*, *Shuktomova I.I.*, *Taskaev A.I.* The state of natural radionuclides of uranium, radium, and thorium in soils // Eurasian Soil Science. 2010. T. 43, № 6, 651–658.
- 5. Sources and effects of ionizing Radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2008 Report to the General Assembly, with annexes. V. 1. Sources. N.Y.: United Nations, 2008. 463 p.
- 6. *Активность радионуклидов в счетных образцах*. Методика измерений на гаммаспектрометрах с использованием программного обеспечения «SpectraLine». Менделеево, 2014. 27 с.
- 7. *Алексахин Р.М., Санжарова Н.И., Спиридонов С.И., Фесенко С.В.* Чернобыль и окружающая среда / Радиационная биология. Радиоэкология. 2007. Т. 47, № 2. С. 196–203.
- 8. *Апарин Б.Ф., Касаткина Г.А., Матинян Н.Н., Сухачева Е.Ю.* Красная книга почв Ленинградской области. Отв. ред. Б.Ф. Апарин / СПб: Аэроплан, 2007. 320 с., рус., англ.
- 9. *Барсуков А.О., Языкеев Д.В.* Горизонтальная и вертикальная миграция <sup>40</sup>K, <sup>137</sup>Cs, <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th и <sup>241</sup>Am на обрабатываемых склоновых агроландшафтах Пензенской области различной степени крутизны / Известия Пензенского гос. педагогического ун-та им. В.Г. Белинского. № 29, 2012. С. 369–374.
- 10. Бураева Е.А., Малышевский В.С., Вардуни Т.В., Шиманский Е.И., Триболина А.Н., Гончаренко А.А., Гончарова Л.Ю., Тоцкая В.С., Нефедов В.С. Содержание и распределение естественных радионуклидов в различных типах почвы Ростовской области / современные проблемы науки и образования. № 4. 2013. С. 1–9.
- 11. *Гагарин Э.И., Абакумов Е.В.* Почвообразующие породы с элементами четвертичной геологии: учеб. Пособие. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2012. 131 с.
- 12. *IUSS Working Group WRB*. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome.
- 13. *Перволоцкий А.Н., Перволоцкая Т.В.* О содержании <sup>40</sup>K, <sup>226</sup>Ra и <sup>232</sup>Th в лесных почвах республики Беларусь / Радиационная биология. Радиоэкология, 2014, том 54, № 2, с. 193–200.
- 14. Попов А.И., Игамбердиев А.М., Алексеев Ю.В. Статистическая обработка экспериментальных данных. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2009. 50 с.
- 15. *Силантьев А.Н., Шкуратова И.Г., Бобовникова Ц.И.* Вертикальная миграция в почвах радионуклидов, выпавших в результате аварии на Чернобыльской АЭС // Атомная энергия, 1989, Т. 66, № 3, с. 194–197.
- 16. Фокин А.Д., Лурье А.А., Торшин С.П. Сельскохозяйственная радиология. 2-е изд. СПб.: Лань, 2011.

# RADIONUCLIDES ( $^{226}$ Ra, $^{232}$ Th, $^{40}$ K, $^{137}$ Cs) IN SOILS OF THE NORTH-WEST REGION OF RUSSIA FORMED ON THREE TYPES OF SOIL-FORMING ROCKS

## E.V. Mingareeva

Central Soil Museum by V.V. Dokuchaev FRC V.V. Dokuchaev Soil Science Institute

The results of a study of the content of natural radionuclides (NR) (<sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th, <sup>40</sup>K) and technogenic <sup>137</sup>Cs in soil samples formed on the most common types of soil-forming rocks: lake-glacial, glacial and water-glacial deposits are presented. Soil sections laid in the Pskov, Novgorod and Leningrad regions. The granulometric composition in the upper part of the soil profile is lighter than in the parent rock. This is reflected in the NR content in the profile of these soils: with a decrease in the fractions of physical clay and silt, the content of <sup>226</sup>Ra, <sup>232</sup>Th and <sup>40</sup>K decreases. This is due to the fixation of natural radionuclides by secondary clay minerals. According to the increase in the average specific activity of all NRs, the soils form the following sequence: soils on water-glacial deposits – soils on moraines – soils on lake-glacial deposits. A comparison of the average specific activity of natural radionuclides and their ranges in the upper part of the soil (0–5, 5–10 and 10–20 cm) and in the parent rock (90–100 cm) revealed a higher content of radionuclides in parent rocks (lake-glacial and moraine deposits). In the soils on water-glacial deposits, no significant difference was found. The specific activity of natural radionuclides in samples of parent rocks has been established. Technogenic <sup>137</sup>Cs was found in modern soil samples, as well as in the sample of 1971 yr. Its specific activity varies between 6.7–290 Bq/kg (48.9±65.3 Bq / kg), with the highest content in soils of the Leningrad and Novgorod regions.

Keywords: natural radionuclides, technogenic cesium, soils and soil-forming rocks

## УДК 631.4

## УПРАВЛЕНИЕ СОДЕРЖАНИЕМ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА В ПАХОТНЫХ СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ ВЛАДИМИРСКОГО ОПОЛЬЯ

## Р.Д. Петросян

ФГБНУ «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр», г. Суздаль

Приведены результаты исследований накопления органического углерода в серых лесных пахотных почвах Владимирского Ополья, на длительном многофакторном стационарном полевом опыте. Изучено влияние сельскохозяйственных культур в управлении содержанием органического углерода. Выбор культур позволяет перейти к углерод-регулирующим и углерод-сберегающим технологиям сельскохозяйственного производства и минимизации выбросов  $\mathrm{CO}_2$  в атмосферу.

Ключевые слова: баланс органического вещества, сельскохозяйственные культуры.

#### ВВЕДЕНИЕ

Важнейшим условием устойчивого сельскохозяйственного производства выступает сохранение и увеличение содержания органического углерода в почвах [1]. Основная задача состоит в создании положительного баланса ОВ в пахотных сельскохозяйственных угодьях, обеспечив увеличение запасов органического углерода в пахотных почвах и наземной биомассе.

Отечественная практика сельскохозяйственного производства накопила огромный опыт по регулированию содержания органического вещества (ОВ) в пахотных почвах. Наиболее заметными подходами являются улучшение управления пахотными землями, включая восстановление деградированных земель [7; 4; 3].

Среди основных подходов сбережения или увеличения запасов углерода в почвах и биомассе на пахотных землях называют минимизацию обработок почвы, внесение органических удобрений, применение севооборотов с включением посевов трав, сокращение периодов паров, объединение различных культур на одной и той же территории, а также агролесомелиорацию или строительство живых изгородей и лесных буферов в сельскохозяйственных ландшафтах [2; 3]. Перечисленные подходы имеют потенциал не только для увеличения содержания углерода, но также для сокращения потерь углерода в результате эрозии почв и для содействия восстановлению деградированных сельскохозяйственных земель.

© Р.Д. Петросян, 2020

\_

Другими реалистичными мероприятиями, направленными на накопление органического углерода, могут быть повышение урожайности, увеличение в севообороте посевов трав и др., т.к. сельскохозяйственные культуры имеют неодинаковую архитектуру надземной и подземной биомассы и обеспечивают различное поступление в почву пожнивных остатков, корней и пр. поэтому подбор сельскохозяйственных культур может быть одним из методов регулирования содержания углерода в пахотных почвах.

Цель данного исследования – определить возможности управления органическим углеродом пахотных серых лесных почв через выбор сельскохозяйственных культур.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились на длительном стационарном многофакторном полевом опыте, расположенным на территории Суздальского района на опытных полях Владимирского НИИСХ, расположенным в типичных природных условиях ареала серых лесных почв Владимирского Ополья. В геоморфологическом отношении Ополье представляет собой средневысотную междуречную равнину, перекрытую чехлом лессовидных суглинков, расчлененную густой овражно-балочной сетью. По климатическим условиям Владимирское Ополье характеризуется умеренно-теплым летом, умеренно-холодной зимой и хорошо выраженными осенними и весенними сезонами.

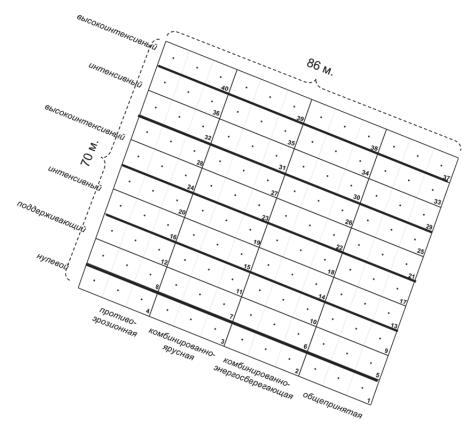


Рисунок 1. Схема полевого опыта.

Исследуемый полевой опыт обладает высоким производственно-технологическим разнообразием, динамичным во времени (рис. 1). Каждая делянка отличается агрокультурой в составе шестипольного севооборота, системой обработки почвы и уровнем внесения удобрений. Также почвенный покров полевого опыта отличается высокой неоднородностью, и представлен шестью почвенными разностями серой лесной почвы. В связи с этим представляется возможным исследовать влияние каждого из перечисленных выше факторов на баланс ОВ в почвах.

Сбор данных выполнялся по регулярной сетке с шагом 7 м. Урожайность учитывалась методом пробного снопа под культурами: ячмень, овес, многолетние травы (клевер), озимая пшеница, озимая рожь, картофель, яровая пшеница.

На основе данных урожайности культур рассчитывался баланс ОВ в почве по методике, предложенной в работах [6; 8] (в пересчете на углерод). Детализация приходно-расходных статей баланса сделана на основе рекомендаций [6]. Составляющие баланса ОВ: приход – гумификация пожнивных и корневых остатков, соломы и органических удобрений, расход – минерализация ОВ при возделывании сельскохозяйственных культур и паровании полей.

В анализе баланса ОВ под различными сельскохозяйственными культурами использовались данные, полученные в одинаковых условиях: возделывание культур на пахотной серой лесной почве, использование отвальной обработки почвы, и внесение минеральных удобрений в количестве N90P90K90.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Баланс ОВ под различными культурами варьировал (от -0.95 до 2.10 тС/га).

Отрицательный баланс OB в почвах наблюдался под картофелем (-0.95 тС/га). Полученные величины связаны с низкими значениями приходных статей баланса, включая относительно небольшое накопление OB за счет гумификации корневых остатков (0.06 тС/га) и ограниченным поступлением пожнивных остатков (0.04 т/га). На фоне перечисленных низких показателей приходных статей баланса OB, выявлены высокие значения минерализации, которые составляли (0.94 т/га).

Близким к нейтральному оказался баланс OB в пахотных почвах под культурой овса  $(0.02\ \text{тC/гa})$ . Приходные статьи баланса OB включали гумификацию корневой массы  $(0.18\ \text{тC/гa})$ , пожнивных остатков  $(0.10\ \text{тC/гa})$  и соломы  $(0.48\ \text{тC/гa})$ . Величина минерализации OB составила  $(0.74\ \text{тC/гa})$ .

Наиболее положительный баланс OB выявлен под многолетними травами (клевер), который составил (2.10 тС/га). Основной приходной статьей баланса OB является гумификация корневых остатков многолетних трав (2.80 тС/га). Гумификация пожнивных остатков составила (0.29 тС/га). Величина минерализации OB была существенно меньше количества его образования и составила (0.99 тС/га). Основной составляющей положительного баланса OB выступает огромная биомасса корневых остатков (до 30 т/га).

Баланс ОВ под озимой пшеницей составил (0.26~тC/гa). Приходные статьи баланса ОВ представлены гумификацией корневой массы (0.23~тC/гa), пожнивных остатков (0.09~тC/гa) и соломы (0.51~тC/ra). Расходной статьей баланса является минерализация ОВ (0.57~тC/ra).

Баланс OB под озимой рожью составил (0.50 тС/га). Приходные статьи баланса OB представлены гумификацией корневой массы (0.29 тС/га), пожнивных остатков (0.12 тС/га) и соломы (0.79 тС/га). Расходной статьей является минерализация OB (0.70 тС/га).

Близкие к нулю значениям оказались балансы ОВ под культурами ячменя  $(0.05\ \text{тC/гa})$  и яровой пшеницы  $(0.04\ \text{тC/гa})$ . Приходные статьи баланса ОВ составили за счет гумификации корневых остатков ячменя  $(0.33\ \text{тC/гa})$  и яровой пшеницы  $(0.22\ \text{тC/гa})$ , пожнивных остатков ячменя  $(0.12\ \text{тC/гa})$  и яровой пшеницы  $(0.09\ \text{тC/гa})$  и соломы ячменя  $(0.69\ \text{тC/гa})$  и яровой пшеницы  $(0.36\ \text{тC/гa})$ . Минерализация ОВ под ячменем составила  $(1.09\ \text{тC/гa})$  и яровой пшеницы  $(0.63\ \text{тC/гa})$ .

Положительное влияние на баланс OB в почвах оказывает запахивание соломы зерновых культур. Также выявлены условия для формирования урожая зерновых культур, при которых баланс углерода является нейтральным. Показано, что посевы озимых культур пшеницы и ржи, а также многолетних трав, оказываются эффективным инструментом регулирования баланса OB пахотных серых лесных почв.

Таким образом, проведенные исследования показывают, что подбор культур является мощным средством управления содержанием органического углерода в пахотных почвах Владимирского ополья.

Баланс почвенного OB, формирующийся под различными культурами севооборота, является одним из важнейших факторов регулирования содержания органического углерода в пахотных почвах. Выбор культур по балансу OB позволяет перейти к углеродрегулирующим и углерод-сберегающим технологиям сельскохозяйственного производства.

#### ВЫВОДЫ

- 1. Баланс ОВ в пахотных почвах под культурами различен: ячмень (0.05 тC/гa), многолетние травы (2.10 тC/гa), озимая пшеница (0.26 тC/гa), озимая рожь (0.50 тC/гa), картофель (-0.95 тC/гa), яровая пшеница (0.04 тC/ra), овес (0.02 тC/гa).
- 2. Подбор сельскохозяйственных культур выступает одним из инструментов управления содержанием органического углерода в пахотных почвах в целях сохранения их плодородия и минимизации выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. FAO. Climate-Smart Agriculture Sourcebook. FAO, Rome, Italy. 2013.
- 2. *Bernoux M., Paustian K.* Climate Change Mitigation. In: Banwart, S. A., Noellemeyer, E., Milne, E., eds. Soil Carbon: Science, management and policy for multiple benefits. SCOPE Series 71. CABI, Wallingford, UK. 2015. 224–234.
- 3. *Lal R*. Soil carbon management and climate change. Carbon Management, 4:4, 2013, pp. 439–462
- 4. *Лыков А.М., Еськов А.И., Новиков М.Н.* Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья. – М.: Россельхозакадемия – ГНУ ВНИПТИОУ, 2004. - 630 с.
- 5. Семенов В.М., Когут Б.М. Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 223 с.
- 6. Крылатов А.К. и др. Динамика баланса гумуса на пахотных землях Российской Федерации. Госкомзем России, Москва, 1998, 60 с.
- 7. *Stolbovoy V.* Carbon in agricultural soils of Russia, 2002, pp. 301–306. In Smith, C.A.S. (ed.) Soil Organic Carbon and Agriculture: Developing Indicators for Policy Analyses. Proceedings of an OECD expert meeting, Ottawa Canada. Agriculture and Agri-Food Canada, Ottawa and Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris. 329 p.
- 8. *Попов П.Д. и др.* Методические рекомендации по расчету баланса гумуса и потребности в органических удобрениях. Владимир, 1986.

## ORGANIC CARBON MANAGEMENT IN THE ARABLE GRAY FOREST SOILS OF THE VLADIMIR OPOLYA

## R.D. Petrosyan

Federal State Budgetary Institution «Upper Volga Federal Agrarian Scientific Center»

The results of studies of the accumulation of organic carbon in the gray forest soils of the Vladimir Opolya on a long-term stationary field experience, based on the balance approach, are presented. Selection of crops in the management of organic carbon allows you to go to the carbon-regulating and carbon-saving technologies of agricultural production and minimize CO<sub>2</sub> emissions into the atmosphere.

*Keywords*: balance organic matter, crops.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВА ПОЧВЕННО-ГРУНТОВОЙ СМЕСИ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ ОЗЕЛЕНЕНИЯ МОСКОВСКОГО РЕГИОНА

Р.С. Решетов, Д.А. Погожев, М.М. Кошелькова, А.А. Лентина, А.И. Безруких, Т.В. Чернова Мытищинский филиал ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет)»

В статье изложены результаты экспериментальных исследований и математического моделирования по содержанию компонентов в почвенно-грунтовой смеси (по запасу доступной влаги) и их расчет в специально подготовленной компьютерной программе.

Ключевые слова: древесные растения, почвенно-грунтовые смеси, наименьшая влагоемкость.

Состояние городских насаждений в значительной степени зависит от почвенногрунтовых условий. Условия формируются в процессе посадки и дальнейшего роста древесных растений. Поэтому, на стадии проектирования работ по благоустройству и озеленению урбанизированных территорий, необходимо учитывать свойства почв.

Древесные растения в условиях города из-за сильной запечатанности территорий страдают от недостатка влаги, т.е. испытывают водный стресс. Поэтому изучение запаса влаги в почве является одной из актуальных задач конструирования условий произрастания городских насаждений [1].

### ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

*Целью исследований* является определение состава почвенно-грунтовых смесей, обеспечивающих запас высокопродуктивной влаги для создания зелёных насаждений в условиях Московского региона.

В ходе исследований решены следующие *основные задачи*: установление оптимального соотношения компонентов почвенно-грунтовой смеси экспериментальным способом и с помощью математических расчётов, анализ методов регулирования водного режима почвенногрунтовых смесей и подготовка компьютерной программы для облегчения расчётов по необходимому соотношению объёмов компонентов смеси [2].

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Показателем для определения состава почвенно-грунтовой смеси является запас высокопродуктивной влаги городской почвы, определенной по литературным данным и составляющий 180 (240) ...280 (300) мм на 1 м слоя смеси.

В качестве компонентов использовались: торф верховой (84 % содержания органического вещества); средний суглинок (содержание физической глины 30...40 %, преобладающий размер агрегатов 0.5...5 мм); аллювиальный песок [3].

Запас доступной влаги определялся по наименьшей влагоемкости и влажности разрыва капилляров. Для анализа и обработки полученных данных были использованы методы математической статистки. Всего проанализировано 60 образцов (табл. 1).

Почвенно-грунтовые смеси были составлены с различным процентным содержанием компонентов от общего объёма смеси и объединены в четыре группы по содержанию верхового торфа: 0 % (1-ая), 5 % (2-ая), 25 % (3-я) и 45 % (4-тая). Соотношение песка к суглинку во всех группах одинаковое (табл. 2).

Для анализа распределения количества осадков за период 2014—2018 годов использовали данные метеостанции Балчуг, города Москвы.

<sup>©</sup> Р.С. Решетов, Д.А. Погожев, М.М. Кошелькова, А.А. Лентина, А.И. Безруких, Т.В. Чернова, 2020

Таблица 1. Матрица исследований. Процентное содержание компонентов смеси и показатели.

Содержани	е компонентов	в смеси, %	Запас вл	іаги, мм
торф	песок	суглинок	HB	ВРК
	5	90	329	230
	25	70	307	215
5	45	50	268	187
	65	30	246	172
	85	10	230	161
	4	71	407	285
	20	55	385	270
25	35	40	362	254
	50	25	347	243
	67	8	333	233
	50	52	490	343
	14	41	484	339
45	26	29	477	334
	38	17	455	319
	49	6	368	258
	5	95	306	214
	25	75	273	191
0	45	55	247	173
	65	35	234	163
	85	15	178	125

Примечание: НВ – наименьшая влагоемкость; ВРК – влажность разрыва капилляров

Таблица 2. Соотношение песка к суглинку в смеси.

Содержание торфа в смеси, %	Соот	тношені	ие песка	а к сугл	инку
0	1:18	1:2	1:3	2:1	8:1
5	1:18	1:2	1:3	2:1	8:1
25	1:18	1:2	1:3	2:1	8:1
45	1:18	1:2	1:3	2:1	8:1

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Анализ распределения количества осадков за период апрель—октябрь 2014—2018 гг. свидетельствует об отклонениях от нормы. В течении рассматриваемого периода выделяются периоды с дефицитом влаги и количеством осадков, сильно превышающие норму (рис. 1). В связи с этим, почвенно-грунтовые смеси должны обеспечивать с одной стороны удержанию влаги, а с другой стороны не быть излишне влагоемкими.

Поэтому, в наших исследованиях содержание влаги является ключевым фактором при составлении почвенно-грунтовых смесей.

Полученные значения наименьшей влагоемкости свидетельствуют о высокой их зависимости от содержания торфа, суглинка и песка в почвенно-грунтовой смеси. Наибольшие значения наименьшей влагоемкости характерны для почвенно-грунтовой смеси с содержанием торфа 45 % (рис. 2).

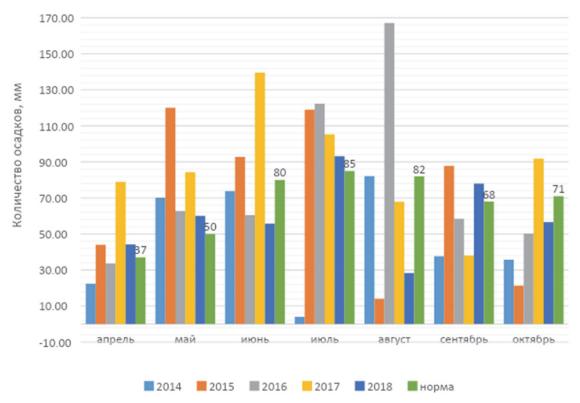


Рисунок 1. Анализ распределения количества осадков за период апрель-октябрь 2014-2018 годов.

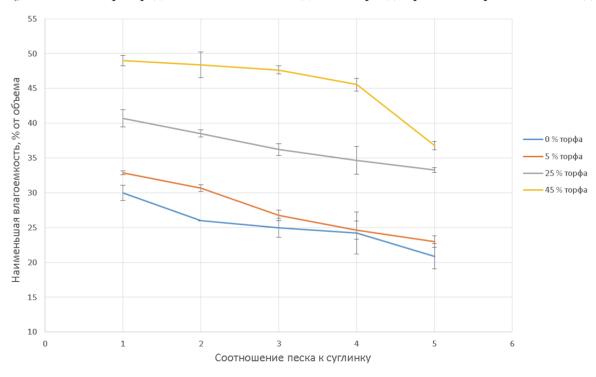


Рисунок 2. Наименьшая влагоемкость почвенно-грунтовых смесей.

Аналогичная зависимость сохраняется и для запаса влаги. Наибольший запас влаги характерен для почвенно-грунтовых смесей с высоким содержанием верхового торфа и низким содержанием песчаного компонента (рис. 3).

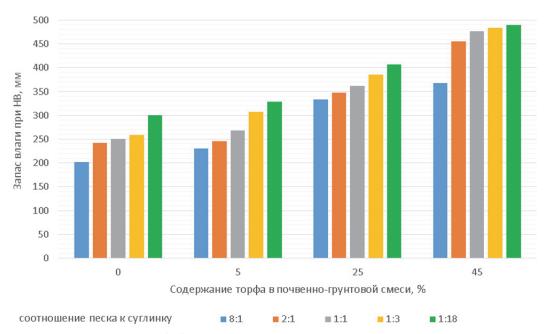


Рисунок 3. Запас влаги в почвенно-грунтовых смесях.

Анализ экспериментальных данных о запасах влаги в почвенно-грунтовой смеси свидетельствует о том, что наиболее оптимальным соотношением компонентов в смеси будет лежать в диапазоне данных: торфа около 5 %, соотношение песка к суглинку от 1:1 до 1:2 (табл. 3).

Таблица 3. Запас влаги при разном соотношении компонентов.

				Зап	ас влаги	при	, MM			
торф	НВ	ВРК	НВ	ВРК	ВРК	ВРК	НВ	ВРК	НВ	ВРК
	1:	18	1	:3	1:	:1	2	:1	8	:1
0	300	210	259	181	250	175	242	169	202	141
5	329	230	307	215	268	188	246	172	230	161
25	407	285	385	270	362	253	347	243	333	233
45	490	343	484	339	477	334	455	319	368	258

Примечание: значения показателей приведены для слоя смеси 1 м.

Зная оптимальные запасы влаги для почв г. Москвы и запасы компонентов почвенногрунтовых смесей, было составлено следующее неравенство:

$$180 <$$
от 70 до  $150 \cdot x +$  от  $600$  до  $900 \cdot y +$  от  $200$  до  $400 \cdot z < 300$ ,

где:

$$x = z \cdot g$$

$$y = h$$

$$z = (1-H) \cdot A \cdot E/F$$

$$H = h/(c/d)$$

$$A = (a/b/g)$$

$$E = (e/f)$$

$$F = A+E$$

Расшифровка переменных для варианта расчёта по минимальному порогу влажности (ВРК) при средней влажности компонентов:

- а. Минимальный диапазон влажности на куб (180)
- b. Средний запас влаги песка (105)

- с. Минимальный диапазон влажности на куб (180)
- d. Средний запас влаги торфа (750)
- е. Минимальный диапазон влажности на куб (180)
- f. Средний запас влаги суглинка (300)
- g. Соотношение песка к суглинку (1/1)
- h. Объём одного из компонентов, взятый за константу (0.15)

$$z \cdot (A+E) = (1-H) \cdot A \cdot E$$

$$z \cdot F = (1-H) \cdot A \cdot E$$

$$z/(a/b \cdot g) + z/(e/f) + H = 1$$

$$(z \cdot g)/(a/b) + h/(c/d) + z/(c/d) = 1$$

Для решения данного неравенства для каждого компонента были взяты средние величины их запасов влаги. За постоянную величину был принят объём торфа (верхового) в смеси – у, суглинок в отношении к песку как 1/2. Пример:

$$180 < 105 \cdot x + 750 \cdot y + 300 \cdot z$$

Результаты математических расчетов оказывают, что оптимальным соотношением соотношении песка к суглинку составляет 1:1; 1:2. При этом содержание торфа должно быть в определенном объеме – при большем содержании песка, процент торфа также должен быть больше, при меньшем содержании песка – содержание торфа также меньше (табл. 4).

Таблица 4. Оптимальное соотношение компонентов в смеси (на базе математических расчетов).

Содержания	Соотношение песок: суглинок		
торфа, %	1:1	1:2	1:3
5		Допустимые значения	
6		влагоёмкости	
7	П		
8	Допустимые значения влагоёмкости	Допустимые значения отсутсвуют	Допустимые значения отсутсвуют
9			
10			
11			
12	Допустимые значения		
13–24	отсутствуют		

Для облегчения расчетов по данному неравенству была составлено компьютерная программа. Программа расчетов оптимального соотношения объемов компонентов почвенногрунтовой смеси по заданным параметрам написана на языке С#. Она состоит из двух блоков: графического и функционального. Функциональный блок отвечает за расчёт объёмов компонентов смеси по разработанной математической модели. Графический блок отвечает за предоставление пользователю удобного и понятного интерфейса для взаимодействия с функциональной частью программы пользователю (рис. 4).

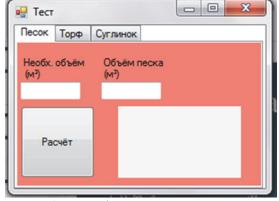


Рисунок 4. Интерфейс написанной программы.

Код программы. Функция расчёта относительно суглинка:

```
privatevoidbutton3 Click (objectsender, EventArgse)
double PS = 0;
// Инициализируем отношение торфа к песку
if (Double.TryParse(textBox6.Text, outloam))
// Проверяем входные данные на отсутствие ошибки
if(Double.TryParse(textBox5.Text, out coef))
loam = Convert.ToDouble(textBox6.Text);
coef = Convert.ToDouble(textBox5.Text);
loam /= coef;
if (loam > 0.5) \{ loam = 0.5; \}
PS = Linear PS(loam);
for (int i = 0; i < 3; i++)
H[i] = 1 - ((loam * loam hum[i]) / min hum);
A[i] = min hum / peat hum[i] / PS;
E[i] = min hum / sand hum[i];
F[i] = A[i] + E[i];
for (int i = 3; i < 6; i++)
```

С помощью этой простой компьютерной программы, задав общий объём посадочной ямы и объём какого-либо компонента, можно рассчитать объемную долю остальных компонентов.

#### ВЫВОДЫ

Оптимальное соотношение торфа, песка и суглинка в почвенно-грунтовых смесях, обеспечивающих оптимальный запас высокопродуктивной влаги (при отклонении 10 % от нормы) для Московского региона следующие: 1. при соотношении песка к суглинку 1:1 содержание верхового торфа должно быть от 5 до 11 %; 2. при соотношении песка к суглинку 1:2 содержание верхового торфа должно быть от 5 до 7 %.

Во всех остальных соотношениях, отклонение от нормы увеличивается и результаты становятся не достоверными. Экспериментальные результаты и математические расчеты близки между собой. Подготовленная компьютерная программа позволяет автоматизировать расчёты, сокращает число ошибок и время расчетов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Постановлением Правительства Москвы от 27 июля 2004 г. N 514-ПП. О повышении качества почвогрунтов в городе Москве. М., 2004. 21 с.
- 2. Вадюнина  $A.\Phi$ . Методы исследования физических свойств почв /  $A.\Phi$ . Вадюнина, 3.А. Корчагина. M.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
- 3. *Bondarenko V.V.* Soil water regime and evapotranspiration of sites with trees and lawn in Moscow. PhD thesis, Wageningen University, 2009. 171 pp.

Работа рекомендована к.с.-х.н. О.В. Кормилицыной.

#### UDC 631.43

## MODELING OF SOIL-SOIL MIXTURE TO THE PLANTING SITES IN THE MOSCOW REGION

R.S. Reshetov, D.A. Pogozhev, M.M. Koshelkova, A.A. Lentina, A.I. Bezrukih Moscow State Technical University named after N.E. Bauman (National Research University)

The theses present the results of experimental studies and mathematical modeling of the content of the necessary components in the soil-soil mixture (in terms of available moisture) and calculated in a specially prepared computer program. According to the results of the study, the optimal ratio of peat, sand and loam for soil-soil mixtures of the Moscow region.

## ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ПОЧВ СРЕДНЕТАЕЖНОЙ ПОДЗОНЫ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ РАВНИНЫ

А.Р. Сафин<sup>1</sup>, Ю.А. Головлева<sup>2</sup>

1Нижневартовский государственный университет

<sup>2</sup>Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет Почвоведения

Водный режим определяет восстановительно-окислительные реакции, протекающие в почве. В пределах Западно-Сибирской равнины, характеризуемой повышенным гидроморфизмом, климат характеризуется как гумидный, коэффициент увлажнения — 1.1. Полугидроморфная почва — торфяная олиготрофная среднеразложившаяся почва, мезоморфные почвы — подзол поверхностно-оглеенный пылеватый и светлозём суглинистый пылеватый, анализировались на предмет наличия влаги в почве в летний и зимний периоды. Измеренная влажность автоморфных почв составляет около 22 %. От этого показателя отличается восстановлено-окислительная обстановка определенная с помощью метода IRIS.

Ключевые слова: влажность почв, IRIS-трубки, окислительно-восстановительные реакции.

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Гидрологические режимы почв являются основным показателем, определяющим водный баланс почв. Данный показатель необходим для инженерных расчетов в области лесомелиорации, рекультивационных мероприятий по восстановлению нарушенных земель, а также в области изучения экологических функций, определяющих взаимосвязь «почва—растение». Особую роль изучению гидрологического режима почв уделял В.В. Докучаев. А.А. Роде в своих трудах детально описывал теорию гидрологических процессов в почве. Ф.Н. Зайдельман [9] исследовал гидрологические режимы почв Нечерноземья и обосновывал их значение в проведении мелиорационных мероприятий и улучшении качества земли.

В настоящее время исследователями отмечается высокий интерес к этому показателю, особенно в условиях изменяющегося климата [6, 7, 10]. Глобальное потепление, достоверно регистрирующиеся в последнее десятилетие, ведет к изменению гидротермических режимов, что должно существенно повлиять на процессы, протекающие в почвах. В частности, в криометаморфических суглинистых почвах может произойти модификация характерной угловатокрупитчатой, творожистой и ооидной структуры, образованной воздействием отрицательных температур, гравитационной миграцией и подтягиванием влаги к фронту промерзания.

#### ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Данное исследование построено на изучении профильной влажности почв Среднеобской низменности Западно-Сибирской равнины (рис. 1) в летние и зимние периоды с целью определения гидрологического режима.

Основными объектами изучения гидрологических режимов стали почвы среднетаежной подзоны в пределах правобережья среднего течения Оби (рис. 1): гидроморфная почва — торфяная олиготрофная среднеразложившаяся, мезоморфные почвы — подзол поверхностнооглеенный пылеватый и светлозём суглинистый пылеватый.

Методика определения гидрологического режима заключалась в отборе образцов в разные периоды года со всего профиля почвы, через каждые 10 см. Влажность образцов почв измерялась термостатно-весовым методом. А также для светлозёма и подзола поверхностнооглееного использовались поливинилхлоридные (ПВХ) трубки IRIS [1, 2, 5], которые помещались в верхние горизонты почв вертикально на период 3 месяцев.

Поливинилхлоридные трубки IRIS длиной 60 см имеют наносное покрытие безводного  $FeCl_3$ , полученного путем декантации окислов железа. Применение трубок IRIS дает возможность получить модель внутренних условий гидрологического режима почв. Известно, что гидрологический режим определяет окислительно-восстановительные процессы в почве [3, 4] (рис. 2).

© А.Р. Сафин, Ю.А. Головлева, 2020

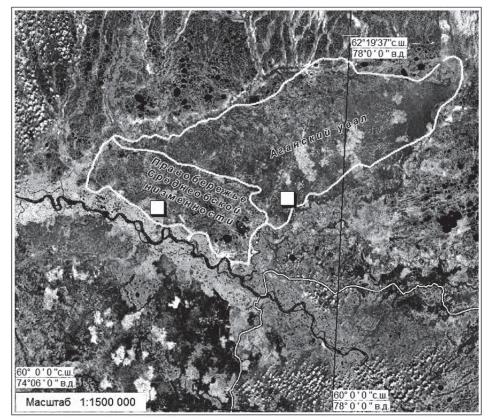


Рисунок 1. Район исследования

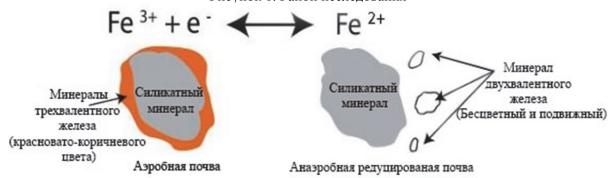


Рисунок 2. Окислительно-восстановительная реакция в почве [2].

В аэробной среде железо присутствует в окисленной форме ( $Fe^{3+}$ ). Оксиды железа покрывают снаружи силикатные минералы и дают аэробной почве характерный красновато-коричневый цвет. Восстановленная форма железа ( $Fe^{2+}$ ) бесцветна и подвижна в почве. Когда железо находится в восстановленной форме, яркие цвета исчезают, и почва остается с сизым цветом силикатных минералов [2]. Изменение окраски так же происходит и на нанесенном покрытии безводного  $FeCl_3$  на трубках IIBX – IRIS, благодаря чему можно проследить окислительно-восстановительные реакции в почвах. Так повышенный гидроморфизм и, как следствие, анаэробные условия покажут оливково-сизые пятна на трубках IRIS.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Исследуемая территория относится к зоне островной мерзлоты и перелетков [7]. Повышенный гидроморфизм таёжной зоны Западно-Сибирской равнины обусловлен высоким уровнем осадков (в среднем 472 мм/год). Среднемноголетние температуры воздуха в последнее десятилетие составляют — 1.2 °C. В 70-х и 80-х годах среднегодовая температура равнялась —3 °C. Среднегодовая температура торфяных и суглинистых почв в прошлом столетии была в пределах от 0 до —0.1 °C. В настоящее время среднегодовая температура почв составляет 0.7 °C, что на 8 десятых градусов выше, чем в 60-е года XX столетия. Коэффициент увлажнения, рассчитанный по формуле Высоцкого-Иванова, имеет значение 1.1.

Данные по влажности почв за разные периоды времени представлены в диаграммах (рис. 3–5). Наиболее высокие значения влажности показывают торфяные олиготрофные почвы. При этом нужно отметить максимальное количество влаги в нижних горизонтах из-за периодического поднятия грунтовых вод. В результате исследования было определено, что максимальной влажностью обладают торфяные олиготрофные почвы в летний период от 94 % в верхних горизонтах до 98 % на глубине 2 м), в которых происходит связь почвенных и грунтовых вод.

Гидрологические режимы озерно-ингрессионной террасы соподчинены с олиготрофными болотами. По этой причине подзолы с выявленной поверхностной оглееностью обладают максимальной влагой в органогенных горизонтах: 207 % в летний период и 157 % в зимний период. В подзолистом горизонте Е влажность составляет 11 % в летний период и 18 % — в зимний период. В горизонте ВF влажность составляет 8 % в летний период и 21 % — в зимний. Максимальная влага в светлоземе отмечается в органогенных горизонтах: 57 % и 82 %, в летний и зимний период соответственно. Средняя влажность срединных горизонтов автоморфных почв — 22 % в летний период и 14 % — в зимний (рис. 3).

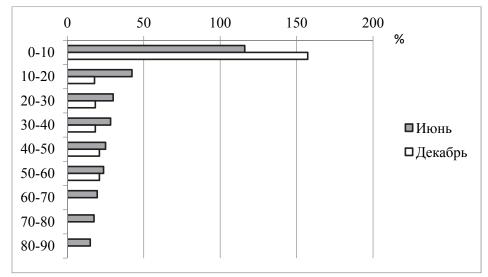


Рисунок 3. Влажность подзола поверхностно-оглеенного.

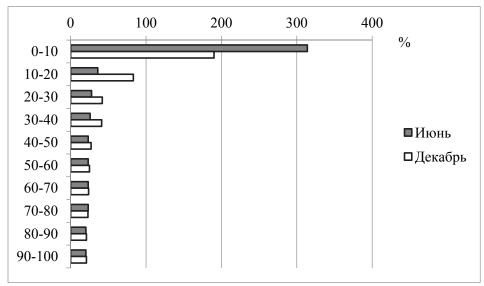


Рисунок 4. Влажность светлозема.

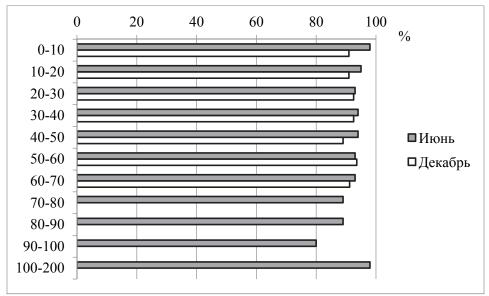


Рисунок 5. Влажность торфяной олиготрофной почвы.

В исследуемых почвах отмечается сезонная динамика влажности со значением 8 %. Влажность минеральной части профиля автоморфных почв около 21 %. При этом, в подзоле присутствует меньшее количество влаги, нежели в светлоземе. Данные результаты отличаются от полученных по с помощью трубок IRIS.

Как показывают IRIS-трубки, в подзоле поверхностно-оглеенном (1 участок) наиболее интенсивно происходят окислительно-восстановительные процессы, демонстрирующие современное почвообразование и влияния гидрологического режима на иллювиальный процесс и процесс оглеения. Это визуально определяется наличием пятен (рис. 6).



Начальный вариант 1 участок через 3 месяца 2 участок через 3 месяца Рисунок 6. Трубки IRIS через 3 месяца в подзоле поверхностно-оглеенном.

Процент стертого покрытия на трубке, заложенной в светлоземе (2 участок), минимален и относится к верхним элювиально-иллювиальным горизонтам, в которых интенсивно происходят процессы оттаивания и промораживания в отличие от горизонтов CRM.

Как известно, на гидрологический режим почв влияют не только положение в рельефе, но и физико-химические параметры [11]. Основные физико-химические параметры почв представлены в таблице 1.

Таблица 1. Основные физико-химические параметры почв.

Исследуемые показатели	Подзол поверхностно-оглеенный	Светлозём
Углерод, %	6–4.5	76–1
Физическая глина, %	1	9
Физический песок, %	60	20
рН водный	4.4–5.3	4.5-5.1
Обменный $Fe^{2+} + Fe^{3+}$ , %	1.5	3.2

Подзол поверхностно-оглеенный обладает большим количеством песчаной фракции, в отличии от светлозема, что объясняет более свободный внутрипочвенный дренаж в профиле. В криометаморфических горизонтах светлозема гидрологический режим практически одинаков в течении всего периода года, отличается лишь агрегатное состояние: лед — вода. Значительные различия влажности происходят в верхних горизонтах до 25 см, что объясняет более сильную стертость окраски на трубках IRIS.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Верхние горизонты мезоморфных почв региона принято считать поверхностно оглеенными. Мы сопоставили роль процессов альфегумусового, оподзоливания и поверхностного оглеения для объяснения основных свойств мезоморфных почв северной и средней тайги. Как видно, оглеение нельзя считать ответственным за формирование основных свойств подзолов. Признаки поверхностного переувлажнения выражаются слабо. Оглеение не может быть причиной формирование четкой системы горизонтов в профиле подзола. Результатом дифференциации вещественного состава при оглеении является формирование ожелезненных и обезжелезненных морфонов, как правило, с диффузными границами и неопределенной формой [8].

Проведенные исследования позволяют рассматривать гидрологические режимы как основные факторы, регулирующие почвообразовательные процессы таёжной зоны Западно-Сибирской равнины. Несмотря на высокую атмосферную увлажненность исследуемой территории (≈500 мм/год) в профиле органо-криометаморфических почв отсутствуют устойчивые признаки оглеения: трубки IRIS показывают легкую потертость краски лишь в верхних горизонтах. В профиле подзолов поверхностно-оглеенных наблюдается оглеение в верхней и средней части профиля, за счет более легкого гранулометрического состава и свободного дренажа в весенне-летний период. Наибольшей влажностью обладают торфяные олиготрофные почвы. Этому способствуют особенность торфяных пород, повышенная атмосферная влажность и грунтовые воды в весенне-летний период.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Castenson K.L., Rabenhorst M.C.* Indicator of Reduction in Soil (IRIS): Evaluation of a New Approach for Assessing Reduced Conditions in Soil. Soil. Soil. Soc. Am. J. 2006. PP. 1222–1226.
- 2. Indicators of Reduction in Soils: Queensland Wetlands Program, Brisbane, QLD. 70 pp.
- 3. *Schwertmann U., Taylor R.* Iron Oxides // SSSA Book Series, Minerals in Soil Environments. 2006. 1. P. 379–438.
- 4. *Tiner R*. Wetland indicators: A guide to wetland identification, delineation, classification, and mapping. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, CRC Press–1999.
- 5. *Vaughan K., Rabenhorst M.* Indicator of Reduction in Soil (IRIS) // Soil Science Society of America Journal. 2006. 70 (4). P. 1222–1226.
- 6. *Аржанов М.М. Демченко П.Ф., Елисеев А.В., Мохов И.И.* Воспроизведение характеристик температурного и гидрологического режимов почвы в равновесных численных экспериментах с моделью климата промежуточной сложности //Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. − 2008. − Т. 44. − №. 5. − С. 591–610.
- 7. *Васильчук Ю.К.* Современное положение южной границы зоны многолетнемёрзлых пород Западно-Сибирской низменности // Криосфера Земли. 2013. Т. 17, № 1. С. 17–27. (Vasil'chuk Yu.K. 2013. Southern limit of modern permafrost of north-west Siberia. Earth's Cryosphere. 1(17). P. 17–27.

- 8. Головлева Ю.А. Аветов Н.А., Брюан А., Кирюшин А.В., Толпешта И.И., Красильников П.В. Генезис таежных слабодифференцированных почв Западной Сибири // Лесоведение. – 2017. – №. 2. – С. 83–93.
- 9. Зайдельман Ф.Р. Деградация почв как результат антропогенной трансформации их водного режима и защитные мероприятия // Почвоведение. -2009. -№ 1. - С. 93–105.
- 10. Коркин С.Е. Мониторинговые исследования температуры пород для получения фоновых показателей территории природного парка «Сибирские Увалы» //Вестник ТюмГУ: Экология и природопользование. Науки о Земле (№ 7; № 4) 2012. – 2012. – С. 69–75.
- 11. Национальный атлас почв Российской Федерации / С.А. Шоба, Г.В. Добровольский, И.О. Алябина и др. – Астрель: ACT Москва, 2011. – 632 с.

Работа рекомендована к.г.н., доцентом кафедры географии ФГБОУ ВО «Нижневартовский государственный университет» Е.А. Коркиной.

#### THE HYDROLOGICAL REGIMES OF SOILS IN MIDDLE TAIGA SUBZONE ON WEST SIBERIAN PLAIN

A. Safin<sup>1</sup>, Iu. Golovleva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Nizhnevartovsk State University, Faculty of Ecology and Engineering <sup>2</sup>Lomonosov Moscow State University, Faculty of Soil Science

On the whole soil water regime determines reduction-oxidation reactions. West Siberian Plain is characterized by high hydromorphism. There are humid climate and precipitation-evaporation ratio 1.1. Dystric Histosol as hydromorphic soils, Podzol and Albisol as mesomorphic soils were analyzed for amount of moisture in the summer and winter periods. The moisture of automorphic soils is about 22 % on average. The reduction-oxidation reaction of these soils differs from the values determined by the IRIS method.

Keywords: soil moisture, IRIS-tubes, reduction-oxidation reactions.

#### УДК 631.4

### ИЗМЕНЕНИЕ ПОЧВЕННЫХ СВОЙСТВ ПРИ ПАСТБИЩНОЙ НАГРУЗКЕ В РИЦИНСКОМ РЕЛИКТОВОМ НАЦИОНАЛЬНОМ ПАРКЕ (РЕСПУБЛИКА АБХАЗИЯ)

Е.А. Скобликова<sup>1</sup>, С.Л. Куклина<sup>1</sup>, И.В. Тания<sup>2</sup>, Т.В. Сабекия<sup>3</sup> <sup>1</sup>ИГУ, г. Иркутск, <sup>2</sup>РРНП, г. Гудаута, <sup>3</sup>АГУ, г. Сухум

This paper is devoted to determining the influence of cattle grazing on soil properties of the Ritsa Relic National Park. Earlier, the employees of the national Park closed two experimental plots on the Subalpine meadows, where cattle grazing was stopped within five years. Soil samples within and outside these sites were taken for investigation. It was found that the pH of the soil and humus becomes higher when grazing, as a lot of animal excrement gets into the soil. Marked the restoration of the natural species of plants and reduction in the density of the soil after the cessation of grazing load. The soils of the Alpine meadows were the most susceptible and highly variable.

#### ВВЕЛЕНИЕ

Рицинский реликтовый национальный парк (РРНП) находится в горной части Абхазии (рис. 1) и занимает территорию в 39 тыс. га.

Территория парка характеризуется сильно расчлененным рельефом с перепадом высот более 3000 м. На севере территории расположен Главный Кавказский хребет и цепь гор Агапста, Ацетука, Чха, на юге – массивы Арихуа и Лакизырта [2, 3]. Горные участки изрезаны глубокими ущельями, каньонами, долинами рек. РРНП знаменит озерами, их насчитывается 31, самое большое из которых – озеро Рица.

<sup>©</sup> Е.А. Скобликова, С.Л. Куклина, И.В. Тания, Т.В. Сабекия, 2020



Рисунок 1. Местонахождение Рицинского реликтового национального парка.

Климат территории РРНП представлен пятью зонами: умеренно влажного и теплого; умеренно холодного, холодного, высокогорного, вечных снегов и ледников [1].

Большую часть территории РРНП (до 78.5 %) занимают широколиственные, темнохвойные, субальпийские и др. леса. Так же в пределах РРНП распространены субальпийские криволесья и редколесья, высокогорные кустарники, высокотравья и луга [3].

Официальный статус парк получил в 1996 году, он был организован на базе Рица-Авадхарского заповедника. Главной целью РРНП является сохранение уникального растительного мира и других объектов природы, одной из задач парка является сохранение традиционных видов деятельности (в том, числе скотоводство).

Задолго до появления статуса особо охраняемой природной территории, все доступные луга активно использовались как пастбища. Скотоводство в Абхазии имеет богатую историю. Например, древние пастушеские постройки Ацангуары (в переводе с абхазского «ограды карликов»), свидетельствуют о существовании скотоводничества уже в раннее средневековье VI–X вв. (рис. 2).

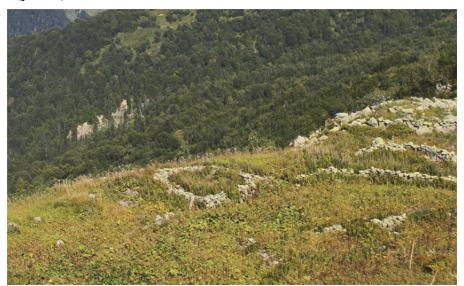


Рисунок 2. Древние каменные пастушеские постройки Ацангуары на территории РРНП.

Актуальность работы связана с тем, что в настоящее время, в связи с многовековыми пастбищными нагрузками на участках традиционного природопользования РРНП отмечается деградация и обеднение растительного покрова и изменение свойств верхних горизонтов почв. Но, несмотря на это, исследования по изучению влияния пастбищных нагрузок на почвы на территории парка ранее не проводились.

Целью исследования является изучение изменения почвенных свойств при пастбищной нагрузке на субальпийских и альпийских лугах.

Основные задачи:

- 1. Отбор проб на участках с отсутствием (или прекратившейся) пастбищной нагрузкой и на участках с выпасом скота;
  - 2. Определение некоторых основных химических и физических свойств почв;
  - 3. Выявление изменений в свойствах почв при пастбищной нагрузке и ее прекращении.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

На альпийских лугах, где из-за труднодоступности пастбищная нагрузка выражена не везде, выбраны участки с минимальным (фоновым) и максимальным ее воздействием (участок 1).

На субальпийских лугах на территории РРНП из-за длительного выпаса скота практически невозможно найти участки без пастбищной нагрузки. Для определения влияния выпаса скота на свойства фитоценозов сотрудники РРНП заложили 2 экспериментальные площадки (участок 2, 3), которые были огорожены, с целью прекращения пастбищного воздействия. Летом 2018 года с этих площадок и за их пределами были взяты образцы почв с верхних 10 см для дальнейших исследований. С начала эксперимента (огораживания участков) до данного исследования прошло 5 лет. Рядом с выбранными участками были заложены почвенные разрезы для определения классификационной принадлежности почв.

Кроме экспериментального метода и морфологического описания почвенных горизонтов использовались следующие лабораторные методы:

- определение влажности почв весовым методом;
- определение плотности почв методом режущего кольца;
- определение рН водной суспензии потенциометрическим методом;
- определение общего гумуса методом И.В. Тюрина;
- определение гранулометрического состава седиментационным методом.

Все анализы были сделаны в 3 повторностях.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Растительность и почвы

На альпийских лугах интенсивность выпаса значительно ниже. Здесь сохраняются ненарушенные фитоценозы, с большим участием злаков (Agrostis gigantea, Poa pratensis, Dactylis glomerata и др.), осоковых (Carex brevicollis, Carex pallescens и др.), одуванчиков Стевена, лапчатки (Potentilla elatior, Potentilla caucasia и др.), сиббальдии многоцветковой Sibbaldia polyanthes и др. [3]. Участки с максимальной пастбищной нагрузкой приурочены к местам стоянок (отдыха) лошадей во время конных туристических маршрутов. На таких участках исчезают многие виды трав (в первую очередь злаковые), начинает доминировать щавель конский Rumex confertus, покрытие растительным покровом заметно уменьшается.

На изученном участке альпийского луга почвы представлены литоземами грубогумусовыми с профилем АО-М (рис. 3). Почвы характеризуются укороченным (до 30 см) профилем, сформированным на элювии горных пород. Верхний горизонт АО представляет собой буровато-серый горизонт, сильно пронизанный корнями, содержащий большое количество измельченных растительных остатков и щебень. Гранулометрический состав мелкозема супесчаный с преобладанием фракций мелкого песка и крупной пыли. Содержание органического вещества высокое (до 9.22 %), рН кислый.

В настоящее время травяная растительность субальпийских лугов представляет сообщества сформированные длительным интенсивным пастбищным использованием территории. Фитоценозы приурочены к хорошо увлажнённым, богатым азотом почвам, из-за унавоживания в результате интенсивного выпаса скота, что отражается во флористическом составе – преобладании нитрофилов. Основную часть травостоя составляют такие виды, как: крестовник ромболистный *Adenostyles macrophylla*, бутень золотистый *Chaerophyllum aureum*,

ежа сборная *Dactylis glomerata*, манжетка обыкновенная *Alchemilla sp.*, мытник чернопурпуровый *Pedicularis atropurpurea*, вероника нитевидная *Veronica filiformis* и др. [5]. Доминируют не поедаемые или плохо поедаемые скотом виды (например, крестовники, бодяки, борцы, щавель альпийский *Rumex alpinus* и т.д.).

Из-за того, что на субальпийских лугах сложно найти площади без пастбищной нагрузки, были заложены экспериментальные участки (огороженные площадки  $10 \times 10$  м), ограничивающие выпас скота. Следует отметить, что за пятилетний период произошло значительное изменение растительного покрова. Восстановительная сукцессия протекает по единой схеме: доминирование от высокотравных рудеральных видов разнотравья (щавель альпийский  $Rumex\ alpinus$ , клевер ползучий  $Amoria\ repens$ , девясил крупноцветковый  $Inula\ grandiflora$ , купырь лесной  $Anthriscus\ sylvestris$ , вечерница  $Matpohia\ Hesperis\ matronalis$ , крестовник ромболистный  $Senecio\ rhombifolius$ , молочай длиннорогий  $Euphorbia\ macroceras$ , валериана колхидская  $Valeriana\ colchica$ ) переходит к луговым злакам (полевица гигантская  $Agrostis\ gigantea$ , мятлик луговой  $Poa\ pratensis$ , ежа сборная  $Dactylis\ glomerata$ ) и луговоопушечному разнотравью (горошек мышиный  $Vicia\ cracca$ , щавель кислый  $Rumex\ acetosa$ , чина луговая  $Lathyrus\ pratensis$ , бутень дудниколистный  $Chaerophyllum\ angelicifolium$ ) [5].

На изученных участках субальпийских лугов отнесение почв (рис. 3) к определенному типу вызывает сложности, так как почвы сформированы на конусах выноса. Принимая во внимание морфологическое сходство, можно было бы назвать эти почвы литоземами перегнойно-темногумусовыми с профилем АН-АМ-М. Но почвы имеют повышенную мощность почвенного профиля (до 50 см) за счет делювиального сноса мелкозема и щебня с близлежащих достаточно крутых склонов. То есть, они формируются в условиях переотложения почвенного материала, скорость которого близка к скорости почвообразования. Используя принципы Классификации (2004) [4], эти почвы должны быть отнесены к синлитогенному стволу. Наиболее близкими по классификационному положению в этом стволе являются стратоземы, но в этом типе нет соответствующего подтипа, который бы раскрывал генезис почв. Мы предлагаем для почв, формирующихся на конусах выноса и у подножий крутых склонов, где преобладают делювиальные процессы, выделить делювиально-аккумулятивный подтип (с добавлением к индексам горизонтов нижнего индекса del). Таким образом, изученные почвы на участках 2, 3 можно было бы отнести к стратоземам перегнойнотемногумусовым делювиально-аккумулятивным с профилем  $AH_{del}$ - $RU_{del}$ -D (в работе использовано это название почв).

Верхний горизонт  $AH_{del}$  представляет собой темно-серый горизонт, сильно пронизанный корнями, содержащий большое количество растительных остатков разной степени разложенности и щебня. Гранулометрический состав мелкозема супесчано-легкосуглинистый с преобладанием фракции среднего песка. Содержание органического вещества высокое ( $C_{opr}$  4.8–6.9%), рН кислый и слабокислый.







Рисунок 3. Профили почв. Литозем грубогумусовый (участок 1), стратоземы перегнойно-темногумусовые делювиально-аккумулятивные (участки 2, 3)

Влияние пастбищной нагрузки на свойства почв

Изучение изменений некоторых почвенных свойств при пастбищной нагрузке на выбранных участках выявило следующее. Влажность верхних почвенных горизонтов на всех участках невысокая (7–19 %), что обусловлено разреженным растительным покровом. Колебания во влажности почв на участках 1 и 2 с выпасом и без выпаса очень незначительные (рис. 4). Самые заметные изменения наблюдаются на участке 3, где проективное покрытие растительностью после прекращения выпаса стало заметно лучшим, что уменьшило испарение влаги с поверхности почв, т.е. изначально под густым травостоем почвы имели лучшую влагообеспеченность.

Плотность почв на участках 1 и 3 с пастбищной нагрузкой и без нее почти не изменилась. На участке 2 плотность уменьшилась после 5-ти летнего прекращения выпаса, что можно объяснить значительным увеличением доли злаков в структуре фитоценоза, которые своими корнями разрыхляют почву.

Более низкие значения pH на всех трех участках при отсутствии пастбищной нагрузки (рис. 4) связаны с прекращением (отсутствием) поступления в почву жидких экскрементов домашних животных, которые могли подщелачивать верхние горизонты.

Отмечается снижение содержания органического вещества почв на участках 2 и 3 после их огораживания, причиной так же является прекращение поступления в них твердых экскрементов скота. Обратная ситуация наблюдается на альпийском луге, где уменьшение количества фитомассы, поступающей в почву и являющейся источником органического вещества почв, не компенсируется попаданием на ее поверхность экскрементов животных. На участке 1 содержание  $C_{\rm opr}$  с максимальной пастбищной нагрузкой уменьшилось до 8.01 %, по сравнению с фоновым -9.22 %.

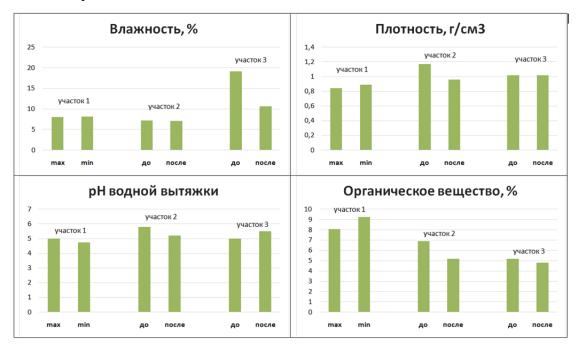


Рисунок 4. Некоторые свойства верхних почвенных горизонтов (0–10 см) с минимальным и максимальным пастбищным воздействием (участок 1), до и после прекращения пастбищной нагрузки (участки 2, 3)

#### ВЫВОДЫ

Исследования показали, что изученные почвы на альпийских лугах относятся к литоземам грубогумусовым. Классификационная принадлежность почв субальпийских лугов, сформированных на конусах выноса, вызывает трудности. Предложено для таких почв выделить подтип делювиально-аккумулятивных в типе стратоземы.

Оба типа почв содержат большое количество органического вещества, что обеспечивает высокую естественную продуктивность лугов. Но, многовековое интенсивное использование субальпийских лугов привело к уплотнению верхних почвенных горизонтов и сильнейшей деградации фитоценозов. Несмотря на более короткий период использования альпийских лугов под выпас, выявлены заметные изменения в фитоценозах и свойствах почв, что связано с хрупкостью высокогорных экосистем.

Неконтролируемый выпас скота существенно влияет на химические свойства почв. Например, заметно увеличиваются значения рН при пастбищных нагрузках на субальпийских лугах, вероятно, изначально почвы здесь были более кислыми, чем в настоящее время. Уменьшение содержания органического вещества в верхнем слое после прекращения выпаса, так же дает основания предполагать, что ранее почвы могли иметь меньшую гумусированность.

Отмечается увеличение плотности верхних горизонтов, а на участках с разреженным растительным покровом уменьшается влажность почв.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Адзинба З.И., Попов К.П.* Общая физико-географическая характеристика // Рицинский реликтовый национальный парк [под ред. Б.С. Туниева]. Сочи: Изд-во «Проспект», 2005. С. 5–15.
- 2. *Гулиа В.О., Орловская Т.В., Адзинба З.И., Читанава С.М.* Физико-географическая характеристика Абхазии (Сообщение 1) // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. -2014. № 11-1. С. 35-38.
- 3. *Тания И.В. Туниев Б.С.* Фотальбом «20 лет национальному парку» / И.В. Тания, Б.С. Туниев. Сухум, 2016. 112 с.
- 4. *Шишов Л.Л.* Классификация и диагностика почв России / Л.Л. Шишов [и др.]. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.
- 5. *Ямалов С.М.* Динамика травяных сообществ Рицинского реликтового национального парка (Абхазия) при отсутствии выпаса / С.М. Ямалов, И.В. Тания, Г.Р. Хасанова [и др.] // Современные проблемы науки и образования. − 2016. − № 5. − эл. журнал.
- 6. Ямалов С.М. Растительность Рицинского реликтового национального парка: синтаксономия и природоохранная значимость/ С.М. Ямалов [и др.] // Труды Рицинского реликтового национального парка Вып. 1 Респ. Абхазия, г. Гудаута, 2017. С. 136–147.

## THE CHANGE IN SOIL PROPERTIES AT PASTURE LOAD IN THE RITSA RELIC NATIONAL PARK (THE REPUBLIC OF ABKHAZIA)

E.A. Skoblikova<sup>1</sup>, S.L. Kuklina<sup>1</sup>, I.V. Tania<sup>2</sup>, T.V. Sabekia<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ISU, Irkutsk, <sup>2</sup>RRNP, Gudauta, <sup>3</sup>ASU, Suhum

This paper is devoted to determining the influence of cattle grazing on soil properties of the Ritsa Relic National Park. Earlier, the employees of the national Park closed two experimental plots on the Subalpine meadows, where cattle grazing was stopped within five years. Soil samples within and outside these sites were taken for investigation. It was found that the pH of the soil and humus becomes higher when grazing, as a lot of animal excrement gets into the soil. Marked the restoration of the natural species of plants and reduction in the density of the soil after the cessation of grazing load. The soils of the Alpine meadows were the most susceptible and highly variable.

# ХАРАКТЕРИСТИКА СОЛИФЛЮЦИИРОВАННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РАННЕСАРТАНСКОГО ВОЗРАСТА НА ПРИМЕРЕ ГАО «ТУЯНА» (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ)

М.В. Смирнов $^1$ , С.Л. Куклина $^1$ , А.С. Козырев $^2$ , И.В. Стерхова $^3$   $^1$ ФГБОУ ВО «ИГУ»,  $^2$ Институт Земной коры, г. Иркутск,  $^3$ СООКНИО

Работа посвящена изучению свойств раннесартанского солифлюксия на ГАО «Туяна», расположенного в Тункинской долине республики Бурятия. Интерес к его изучению вызван наличием большого количества археологического материала в солифлюциированной толще отложений. Эти отложения имеют слоистое строение, более тяжелый гранулометрический состав, повышенную гумусированность по сравнению с вмещающими его отложениями.

Ключевые слова: палеопочвы, солифлюксий, сартанское время, Тункинская долина.

#### ВВЕДЕНИЕ

Актуальность данной работы связана с тем, что исследование крупных археологических объектов должно сопровождаться междисциплинарными исследованиями, которые помогают более полно раскрывать информацию об условиях обитания человека и решать другие прикладные задачи исследований. Комплексные исследования могут определить факторы, влияющие на выбор древним человеком мест под стоянки в Тункинской долине, тем самым сужая поиск новых перспективных мест обнаружения новых геоархеологических объектов (ГАО). Палеопочвенные исследования позволяют оценить условия гумусообразования и осадконакопления в разные интервалы времени.

Целью данной работы являлась характеристика солифлюциированных отложений, к которым приурочена большая часть найденного археологического материала.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Геоархеологический объект «Туяна» открыт А.С. Козыревым в 2010 году, расположен между Торской и Тункинской впадинами, на правом (Хамар-Дабанском) борту долины р. Иркута на северном макросклоне (рис. 1). Толща вскрытых отложений имеет несколько культурных горизонтов верхнепалеолитического возраста. А территория, на которой он находится, представляет интерес для многих ученых, в том числе и почвоведов.



Рисунок 1. Местоположение ГАО «Туяна».

Следы древнего человека, в виде многочисленных отщепов, орудий труда, предметов искусства и др., встречаются неравномерно на вскрытых площадях и на некоторых участках имеют максимальные скопления. Эти скопления находятся на выположенном перегибе макросклона, делящего его на юго-западную и северо-восточную экспозиции, что связано с тем, что склоновые криогенные процессы (солифлюкция) сместили большую часть культурных горизонтов с археологическим материалом вниз, в основном, с юго-западного склона. Большая часть предметов включена в солифлюциированные слои раннесартанского возраста или лежат непосредственно на коре выветривания кристаллических гнейсов.

Солифлюкционные процессы имели большое распространение в последнее ледниковье на территории Байкальского региона в раннесартанское время (24–21 тыс. лет) [1], когда оттаивающие переувлажненные грунты смещались по многолетней мерзлоте вниз по склонам. Следы солифлюкционных процессов хорошо выражены в раскопах ГАО «Туяна».

Глубина залегания солифлюциированной толщи (рис. 2) составляет от 80 до 210 см от дневной поверхности и увеличивается вниз по склону. Мощность горизонта также не выдержана, в верхней части склона представлена в виде очень тонких прослоев, а ниже мощность достигает до 1 м. Описание и отбор образцов проводились в средней части склона, где отложения раннесартанского солифлюкция наиболее выражены морфологически и имеют повышенную мощность. Помимо солифлюциированного слоя были взяты образцы вмещающих их отложений (из вышележащего и нижележащего слоя).



Рисунок 2. Стенка одного их раскопов ГАО «Туяна» с солифлюциированной (sol) толщей.

При исследовании применялись следующие методы: морфологическое описание стенок разрезов; мезоморфологическое описание образцов отложений, определение содержания гумуса по методу Тюрина; определение рН водной суспензии потенциометрическим методом; определение гранулометрического состава седиментационным методом.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

По морфологическим, химическим и физическим особенностям солифлюциированную толщу можно разделить на 4 слоя.

1. Первый слой (Sol 1) мощностью около 12 см, имеет слоистую красновато-желтосерую окраску, среднесуглинистый гранулометрический состав с большим содержанием среднего песка (31 %) из-за вовлеченных в солифлюкционную толщу песчаных линз, непрочную комковатую структуру. Слой сильно вскипает от 10 % HCl, значения pH=7.7 (рис. 3), содержание гумуса – 3.4 %, переход в слой два (Sol 2) резкий по цвету, граница слабоволнистая, разбитая криогенными трещинами.

2. Второй слой (Sol 2) мощностью 7 см, имеет слоистое сложение, охристо-серую окраску, среднесуглинистый состав с максимальным содержанием физической глины (38 %). Отложения имеют комковато-плитчатую структуру, бурно вскипают от 10 % HCl, pH=7.8, содержание гумуса – 3.4 %.

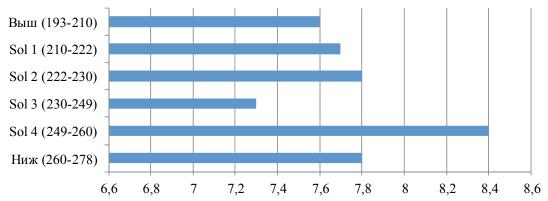


Рисунок 3. рН водной суспензии исследуемых отложений ГАО «Туяна».

- 3. Третий слой (Sol 3), мощностью 20 см, слоистый на желтовато-сером фоне выделяются линзы и прослойки темно-серого цвета, среднесуглинистый состав, комковато-плитчатую структуру. Отложения слабо вскипают от 10% HCl, pH=7.3, содержание гумуса 4.58%, это больше, чем в вышележащих слоях, что связано с включением в этот слой прослоек почв каргинского возраста ( $kr^2$ , 42–24 тыс. лет назад).
- 4. Четвертый слой (Sol 4) мощностью около 10 см, серовато-желтый с включением тонких прослоек серого цвета, среднесуглинистый, пылевато-мелкокомковато-плитчатый, сильно вскипает от 10 % HCl, pH=8.4, количество гумуса -4.4 %, и так же как слой 3, содержит фрагменты темноокрашенных почв каргинского возраста.

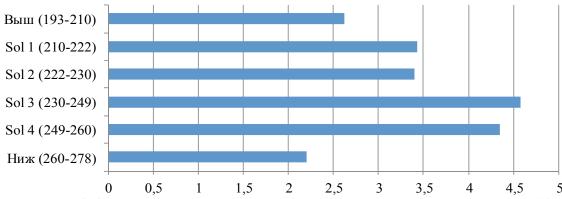


Рисунок 4. Содержание общего гумуса в исследуемых отложениях ГАО «Туяна», %.

Мезоморфологические исследования показали, что все солифлюциированные слои раннесартанского возраста имеют горизонтальную делимость, однопорядковую или двухпорядковую структуру, мелко- и среднепористое сложение, пропитаны мучнистыми карбонатами. Седименты палеопочв каргинского времени имеют остаточную комковато-зернистую структуру, агрегаты хорошо прокрашены гумусом серого цвета (вероятно, с преобладанием гуминовых кислот).

Вышележащий (Выш) над солифлюциированной толщей слой имеет серовато-желтую окраску, легкосуглинистый состав со значительным преобладанием фракции мелкой пыли (67 %), с мелкокомковато-пылеватой структурой, бурно вскипает от 10 % HCl, pH=7.6, содержание гумуса невысокое -2.6 %.

Нижележащий (Ниж) под солифлюксием слой имеет светлую желтовато-серую окраску, среднесуглинистый состав, пылевато-комковатую структуру, слабо вскипает от 10 % HCl, pH=7.8, количество гумуса – 2.2 %.

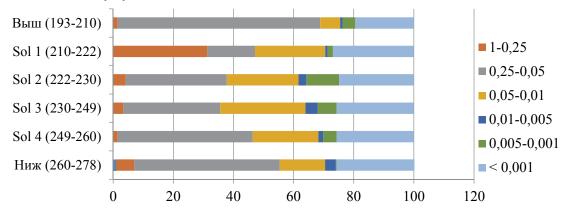


Рисунок 5. Гранулометрический состав в исследуемых отложениях ГАО «Туяна», %.

В ходе исследований и из литературных данных [2, 3] было выяснено, что условия обитания древнего человека в Тункинской долине были неблагоприятными (в основном, из-за низких температур). Поэтому, вероятно, древний человек искал более прогреваемые солнцем места для своих стоянок, какими в Тункинской долине являются южные и юго-западные склоны. На территории ГАО «Туяна» дополнительным фактором выбора именно этого места для стоянок являлось наличие столбообразных «останцов», из более устойчивых к выветриванию горных пород, которые могли служить защитой от ветра. Одним из доказательств этой версии может служить наличие скоплений отщепов с южной стороны «останцов». В настоящее время останцы разрушены и представляют россыпь валунов (рис. 6). Валуны находятся сверху культурных горизонтов, из чего можно сделать вывод, что они разрушились в более позднее время.



Рисунок 6. Разрушенные «останцы» на юго-западном склоне (ГАО «Туяна»).

Наличие большого количества археологического материала в раннесартанском солифлюксии указывают на то, что большая часть археологического материала имеет возраст более древний, чем 24–21 тыс. лет. Вероятнее всего, основная его часть имеет каргинский возраст, т.е. приурочена к межледниковому периоду, климат которого благоприятствовал активизации деятельности древнего человека в Тункинской долине.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования показали, что солифлюксий является коллектором разнообразного материала и костных остатков различных животных, стащенных со склонов на выположенный перегиб. Солифлюкционная толща резко выделяется по морфологическим свойствам от выше и ниже залегающих слоев более темной окраской, слоистым строением, вихреобразным и волнообразным рисунком отложений. Повышенная гумусированность раннесартанских отложений объясняется включением в них высокогумусированных темноокрашенных седиментов почв каргинского мегаинтерстадиала (42–24 тыс. лет назад).

Наличие большого количества археологического материала свидетельствуют об использовании древним человеком этого участка в течение длительного времени. Выбор места под стоянку на юго-западном склоне, вероятно, был обусловлен лучшей его прогреваемостью солнцем, хорошим обзором близлежащей территории, наличием «останцов» (выполняющим роль защиты от ветра и, возможно, источником сырья для некоторых орудий), близостью к реке Иркут.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Воробьева Г.А.* Почва как летопись природных событий Прибайкалья: проблемы эволюции и классификации почв: монография. Иркутск: Изд-во. Иркут. гос. ун-та, 2010. 36 с.
- 2. *Козырев А.С., Щетников А.А., Клементьев А.М. и др.* География и возраст ископаемых артефактов верхнего неоплейстоцена в Тункинской рифтовой долине // Изв. Иркутского гос. ун-та. Сер. Геоархеология. Этнология. Антропология. 2012. № 1. С. 106–125.
- 3. *Крупные млекопитающие* опорных разрезов верхнего неоплейстоцена Тункинской рифтовой долины, Юго-Западное Прибайкалье // Стратиграфия. Геологическая корреляция / А.А. Щетников, А.М. Клементьев, И.А. Филинов, Е.Ю. Семеней. 2015. Т.23. № 2. С. 104—128.

## CHARACTERISTICS OF THE SARTAN SOLIFLUCTION SEDIMENTS ON THE ARCHEOLOGICAL OBJECT «TUYAN» (BURYATIA)

M.V. Smirnov<sup>1</sup>, S.L. Kuklina<sup>1</sup>, A.S. Kozerev<sup>2</sup>, I.V. Sterhova<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk state university, <sup>2</sup>Institute of the Earth's Crust, Irkutsk city, <sup>3</sup>SOOKNIO.

The research is devoted to studying of properties of the Sartan solifluction (24–21 thousand years ago) on the archeological object «Tuyan». It is located in the Tunkinsky valley of the Republic of Buryatia. Interest in this research is caused by existence of a large amount of archaeological material in soliflucated sediment. These sediments have laminated structure, heavy particle size distribution and raised humus content.

Keywords: paleosoil, solifluction, Sartan time, Tunkinsky valley.

#### УДК 631.452

# ОЦЕНКА АГРОРЕСУРСНОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЧВ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ Ю.Р. Тимофеева

Центральный музей почвоведения имени В.В. Докучаева – филиал ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева»

В работе представлен метод оценки агроресурсного потенциала почв Ленинградской области с учетом основных параметров, характеризующих потенциальное плодородие почвы. Рассчитан удельный и общий агроресурсный потенциал для естественных и агропочв.

*Ключевые слова*: агроэкологическая оценка почв, пахотные земли, почвенные ресурсы, ресурсный потенциал почв, почвенные и агрохимические показатели, цифровая почвенная карта.

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Агроресурсный потенциал почвы определяет сельскохозяйственную ценность территории. Результирующем показателем эффективности использования агроресурсного потенциала почв, является определение приоритетов и направления развития сельскохозяйственной территории.

Агроресурсный потенциал почв (АПП) — это показатель потенциальной способности почв обеспечивать тот или иной уровень продуктивности сельскохозяйственных растений. АПП зависит от свойств и режимов почвы, определяющих ее плодородие, а также от растений, возделываемых на данной территории.

АПП включает в себя удельный агроресурсный потенциал (РуАПП) и общий агроресурсный потенциал (РАПП).

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для расчета агроресурсного потенциала почв использовалась методика, разработанная в Центральном музее почвоведения им. В.В. Докучаева в рамках госзадания №0671-2014-0002, цифровая почвенная карта (ЦПК) Ленинградской области масштаба 1:200 000 [НИР №0671-2014-0002], а также требования к почве сельскохозяйственных культур.

На ЦПК авторами предварительно было выделено 120 подтипов естественных почв и 79 подтипов антропогенных, в том числе агрогенные и постагрогенные. Однако, в связи с незначительной площадью распространения некоторых подтипов почв, в работе рассматривалось 48 преобладающих, в том числе 32 естественных почв и 16 агропочв. Кроме того, из почвенных ресурсов исключались все непочвенные образования, территории с разрушенным почвенным покровом и находящиеся под автомагистралями, что приводит к уменьшению доли эффективно функционирующей поверхности.

В структуре почвенного покрова преобладающими вариантами являются сложные сочетания, вариации и пятнистости, реже встречаются мозаики и ташеты. Для болотных ландшафтов характерны комплексы торфяных и торфяно-глеевых почв. Агрогенная структура почвенного покрова представлена слабоконтрастными вариациями или пятнистостям, комплексами и сочетаниями агропочв, а также с естественными и с НПО.

Расчет удельного агроресурсного потенциала почв проводился в 2 этапа. Первый этап – группировка почв по пригодности в земледелии (критерии 1-ого порядка). Критерии данного порядка показывают, существует ли у почвы ограничения для ведения сельского хозяйства. Для оценки используется закрытая 100 балльная шкала, в которой максимальное значение присваивается почвам с наибольшим уровнем потенциального плодородия. По набору параметров, выделяются 5 групп с ранжированием в 25 баллов. При этом балльная оценка 100–76 – приводится относительно агропочв, остальные группы характерны для естественных почв (табл. 1).

Работа выполнена в рамках НИР №0671-2014-0002.

Таблица 1. Группировка удельного агроэкологического потенциала почв.

<b>№</b> группы	Название группы	Ограничения	
1	Полностью пригодные	Ограничения практически отсутствуют	100–76
2	Потенциально пригодные	Недостаточная мощность гумусового горизонта, обеспеченность элементами пищевого режима, кислая реакция, средняя ЕКО	
3	Ограниченно пригодные	Сильнокислые, отсутствие гумусового горизонта, высокая плотность сложения, недостаточная дреннируемость, низкая ЕКО, низкое содержание элементов питания	50–26
4	Малопригодные	Периодически избыточное увлажнение, восстановительные условия (низкий ОВП), низкая влагоемкость, малая мощность гумусового горизонта, постоянное переувлажнение, (при высоком содержании питательных элементов)	25–1
5	Полностью непригодные	Очень маломощный корнеобитаемый слой, постоянное переувлажнение, очень низкая ЕКО, крайняя бедность элементами режима (высокая степень деградируемости)	0

Второй этап – в пределах каждой группы вводятся поправки на базовый балл РуАПП группы почв (по степени пригодности). С помощью коэффициента (К<sub>А</sub>) по каждому показателю плодородия (рН, мощность гумусового горизонта, содержание гумуса, тип гумуса, ЕКО, обеспеченность элементами питания, степень дренированности) формируются критерии 2-го порядка (коэффициенты на производительную способность почвы).

Наибольшее значение в баллах имеет понижающая поправка с коэффициентом 0.14, которая соответствует 3.5 баллов (табл. 2). Максимальная сумма поправочных коэффициентов, выраженных в баллах, в каждой группе составляет 25 единиц, что соответствует разнице в баллах между группами. По разности между бальной оценкой РуАПП в каждой группе и числом баллов с учетом всех понижающих коэффициентов, получаем величину уменьшения балла РуАПП. Затем высчитываем сумму баллов  $\Delta$  всех семи признаков ( $\Sigma \Delta_{1-7}$ ). Реальный показатель РуАПП в баллах, высчитываются по разности между РуАПП каждой группы и суммой  $\Sigma \Delta_{1-7}$ .

Таблица 2. Группировка значений коэффициента К<sub>А</sub>.

	T I	T T 1
№ п/п	Качественная	<b>K</b> .
J\≌ 11/11	характеристика	KĄ
1	Негативная	0.14
2	Критическая	0.07
3	Оптимальная	0.0

Для формирования критериев оценки потенциального почвенного плодородия учитывались требования сельскохозяйственных культур, возделываемых на территории Ленинградской области.

По данным управления федеральной службы государственной статистики по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области (Петростат) [16] в структуре посевных площадей Ленинградской области в 2017 году наибольшую долю занимали кормовые культуры (73.6 % от всех площадей в регионе), яровые и зернобобовые культуры (15.0 %), озимые зерновые культуры (2.4 %), картофель (5.7 %), овощи (2.7 %), технические культуры (рапс озимый и яровой) (0.5 %) (табл. 3).

Для основных сельскохозяйственных культур, возделываемых на территории Ленинградской области были проанализированы параметры наиболее объективно отражающие уровень плодородия: рНводный, мощность гумусового горизонта, содержание гумуса, тип гумуса, значение ЕКО, содержание элементов питания, степень дренированности, и составлена таблица критериев 2-ого порядка (табл. 3) [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14].

Таблица 3. Признаки почвы и понижающие коэффициенты.

	Таблица 3. Признаки почвы и понижающие коэффициенты.				
№ призна	Признаки (критерии	Количественное	Соличественное Качественная		
ка	2-го порядка)	значение признака	оценка	$K_A$	
		5.5–7.0	Оптимальная	_	
1	Кислотность (рН <sub>Н2О</sub> )	4.6–5.5	Критическая	0.07	
		<4.5	Негативная	0.14	
	EVO (ver ever/100 n	>15	Оптимальная	ı	
2	ЕКО (мг-экв/100 г. почвы)	10–15	Критическая	0.07	
	почвы)	<9	Негативная	0.14	
	Содоржания	>3.5	Оптимальная	ı	
3	Содержание гумуса, %	2.0-3.4	Критическая	0.07	
	Tymyca, 70	<1.9	Негативная	0.14	
	Мощность	>20 см	Оптимальная	_	
4	гумусового	5-20 см	Критическая	0.07	
	горизонта	<5 см	Негативная	0.14	
	Тип гумуса	Мулль, мулль-модер	Оптимальная	_	
5		Модер	Критическая	0.07	
		Мор	Негативная	0.14	
	Трофность, N	>5	Оптимальная	-	
	легкогидролиз.	3–4	Критическая	0.07	
	(мг/100 г почвы)	<2	Негативная	0.14	
	Transferrance D	>10	Оптимальная	_	
6	Трофность, Р	4–9	Критическая	0.07	
	(мг/100 г почвы)	<3	Негативная	0.14	
	Трофность, К	>12	Оптимальная	ı	
	обменный	11–5	Критическая	0.07	
	(мг/100 г почвы)	<4	Негативная	0.14	
	Промированиости	Хорошо дренированная	Оптимальная	_	
7	Дренированность (степень оглеения)	Слабодренированная	Критическая	0.07	
	(кинээкто анэпэтэ)	Не дренированная	Негативная	0.14	

Баллы удельного агроресурсного потенциала для различных естественных и агропочв рассчитываются в соответствии с таблицами качественной характеристики почв (табл. 4).

Таблица 4. Качественная характеристика естественных почв Ленинградской области (фрагмент).

<b>№</b> п/п	Название почвы	рН	Экспертная оценка*	K <sub>A</sub>	Мощность гумусового горизонта, см	Экспертная оценка	K <sub>A</sub>
1	Карболитозем темногумусовый типичный	6–7	О	0.00	15–20	0	0.00
2	Бурозем темный (оподзоленный)	5.5-6.5	О	0.00	25–30	О	0.00
3	Дерново-подзолистая остаточно карбонатная	5–6	О	0.00	15–20	О	0.00
4	Бурозем (оподзоленный)	4–5	К	1.75	10–25	К	1.75
5	Дерново-подзолистая типичная	4–5	К	1.75	5–15	К	1.75
6	Дерново-подбур иллювиально- железистый (оподзоленный)	5.5–6.5	O	0.00	10–15	К	1.75
7	Дерново-подзол контактно-осветленный	3.5–4.8	Н	3.50	15–16	К	1.75

Примечание: О – оптимальная, Н – негативная, К – критическая.

Например, дерново-подзолистая типичная почва обеспечена гумусом и элементами питания, с нормальным водным режимом почва, относится к группе потенциально пригодных почв (75–57 балл).

Согласно базе данных было выявлено, что ограничивающие параметры, такие как pH, мощность гумусового горизонта, содержание гумуса, тип гумуса, содержание элементов питания имеют критическую качественную характеристику, т.е. их коэффициент равен 1.75. Значение ЕКО и отсутствие переувлажнения почвы носит оптимальный характер (коэффициент равен нулю).

Затем высчитываем сумму баллов всех понижающих коэффициентов ( $\sum \Delta 1-7$ ) и вычитаем полученное значение из верхней границы балльной оценки потенциально пригодной группы.

В связи с тем, что используется 100 балльная закрытая шкала, внутри каждой из 5 групп разброс баллов не превышает 25 баллов. Для расчета используется максимальное значение внутри группы для дальнейшего ранжирования почв в соответствии с потенциальным плодородием почв.

$$PyA\Pi\Pi = 75 - (1.75 + 1.75 + 1.75 + 1.75 + 1.75) = 66.25 \approx 66$$
 баллов.

Итоговые значения удельных агроресурсных потенциалов приведены в таблице 5 и 6. Расчет общего агроресурсного потенциала почв.

Основной составляющей агроресурсного потенциала является площадь, занимаемая конкретной почвой на исследуемой территории.

РАПП выражается в баллах и рассчитывается по следующей формуле:

$$(PyA\Pi\Pi \cdot S_{\pi})/10,$$

где Sд – доля площади почвы от общей площади почв Ленинградской области.

Площадь почвы и доля площади, занимаемой почвенной разностью от всей площади почвенного покрова региона бралась на основание ЦПК.

Формула расчета общего агроресурсного потенциала приведена ранее. Учитывая полученный удельный балл дерново-подзолистой почвы (66 баллов) и долю этой почвы на территории Ленинградской области получаем:

$$PA\Pi\Pi = (66.0.8)/10 = 5.28 \approx 5.$$

Итоговые значения общего агроресурсного потенциала приведены в таблицах 5 и 6.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Применив рассматриваемую методику к естественным и агропочвам Ленинградской области, были сделаны следующие выводы:

- 1. Высокий удельный потенциал естественных почв свойственен почвам, которые потенциально пригодны для земледелия. К таким почвам относятся карболитозем темногумусовый типичный, дерново-подзолистая остаточно карбонатная, бурозем темный (оподзоленный).
- 2. Максимальное значение (100 баллов) удельного потенциала у агропочв характерно для агрозема текстурно-дифференцированного типичного, агротемногумусовой глинисто-иллювиированной, агротемногумусовой метаморфизированной.
- 3. Высокие значения общего агроресурсного потенциала имеют подбур (оподзоленный) иллювиально-железистый (29 баллов) и дерново-подбур глееватый (25 баллов).
- 4. Высокие значения удельного агроресурсного потенциала естественных почв не соответствуют высоким значениям общего агроресурсного потенциала. Этот вывод показывает, что потенциально пригодные естественные почвы для земледелия уже вовлечены в сельское хозяйство. Так, например, карболитозем темногумусовый типичный и дерново-подзолистая остаточно карбонатная почвы имеют 75 баллов удельного потенциала при занимаемой доли площади 0.1 и 0.3 балла соответственно. Исходя из этого, общий агроресурсный потенциал

карболитозема темногумусового типичного равняется 1, а дерново-подзолистой остаточно карбонатной почвы — 2 балла.

- 5. Несмотря на высокий удельный потенциал, самые низкие баллы ресурсного потенциала имеют почвы, площадь которых минимальна. К таким почвам относятся: агрозем торфяноминеральный типичный глееватый (удельный потенциал 95 баллов, ресурсный потенциал 2 балла), агрозем торфяный окисленно-глеевый (удельный потенциал 93 балла, ресурсный потенциал 1 балл), агроторфяно-окисленно-глеевая аллювиальная почва (удельный потенциал 88 баллов, ресурсный потенциал 0.0004 балла). Кроме того, данные почвы плохо дреннированны, что является одним из основных негативных факторов для земледелия.
- 6. Значительную площадь занимает торфяно-олиготрофная почва. Однако, как и удельный, так и общий агроресурсный потенциал для данной почвы равен нулю, в связи с полной непригодностью для использования в сельском хозяйстве.

Таблица 5. Удельный и общий агроресурсный потенциал естественных почв Ленинградской области.

аолица.	э. У дельный и общий агроресурсный потенциал ес.	тественных пс	учв ленині р	адской област
№ п/		Удельный	Доля	Ресурсный
Л⊻ П/	Название почвы	потенциал,	доля площади	потенциал,
11		балл	площади	балл
1	Карболитозем темногумусовый типичный	75	0.1	1
2	Бурозем темный (оподзоленный)	73	0.7	5
3	Дерново-подзолистая остаточно карбонатная	75	0.3	2
4	Бурозем (оподзоленный)	70	0	0
5	Дерново-подзолистая типичная	66	0.8	5
6	Дерново-подбур иллювиально-железистый (оподзоленный)	66	0.2	1
7	Дерново-подзол контактно-осветленный	63	0.7	5
8	Дерново-подзол иллювиально-железистый	61	0.8	5
9	Дерново-элювиально-метаморфическая глееватая	41	0.4	2
10	Аллювиальная серогумусовая (глееватая)	41	0.1	0.4
11	Дерново-подзолистая глееватая	40	2.0	8
12	Дерново-подбур глееватый	41	6.0	25
13	Дерново-подзол глееватый	36	0.4	1
14	Подзолистая типичная	33	2.6	8
15	Подбур грубогумусированный	38	0.1	0.4
16	Подбур (оподзоленный) иллювиально- железистый	33	9.0	29
17	Подзолистая глееватая	31	1.2	4
18	Подзол иллювиально-железистый	29	5.7	16
19	Подзол глееватый	27	1.5	4
20	Дерново-подзолисто-глеевая	13	1.5	2
21	Аллювиальная серогумусовая глеевая типичная	16	0.7	1
22	Дерново-подзол глеевый (перегнойный) иллювиально-железистый	9	1.3	1
23	Торфяная эутрофная перегнойно-торфяная	8	1.2	1
24	Торфяно-подзолисто глеевая типичная	6	0.1	0.1
25	Торфяно-подзолисто-глеевая перегнойная	6	0	0
26	Перегнойно-глеевая типичная	11	0.8	1
27	Торфяно-глеезем типичный	4	9.4	4
28	Торфяно-подзол глеевый перегнойный	6	2.7	2
29	Торфяно-подзол глеевый иллювиально- гумусовый	6	0.7	0.4
30	Подзол глеевый иллювиально железистый	4	4.1	2
31	Торфяная олиготрофная типичная	0	11.3	0
32	Петрозем	0	0.9	0

Таблица 6. Удельный и общий агроресурсный потенциал агропочв Ленинградской области.

таолица от 3 дельный и общий агрорее уреный потенциал агроночь лениш раде				
№ п/ п	Название почвы	Удельный потенциал, балл	Доля площади	Ресурсный потенциал, балл
1	Агрозем альфегумусовый	95	7.9	75
2	Агрозем альфегумусовый оксиленно глеевый	93	3.5	32
3	Агродерново-подзолистая глееватая	90	3.1	28
4	Агрозем текстурно-дифференцированный типичный	100	2.5	25
5	Агрозем структурно-метаморфический окисленно-глеевый	95	2.1	20
6	Торфозем	84	2.1	18
7	Агродерново-подзол иллювиально-железистый	91	1.6	14
8	Агродерново-подзол иллювиально-железисто глеевый	88	1.4	12
9	Агротемногумусовая глинисто- иллювиированная	100	1	10
10	Агрогумусовая аллювиальная глееватая	93	0.9	8
11	Агроторфяно-глеезем оксиленно-глеевый	88	1	8
12	Агродерново-подзолистая типичная	91	0.6	6
13	Агротемногумусовая метаморфизированная	100	0.2	2
14	Агрозем торфяно-минеральный типичный глееватый	95	0.2	2
15	Агрозем торфяный окисленно-глеевый	93	0.1	1
16	Агроторфяно-окисленно-глеевая аллювиальная	88	0	0

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе предложенного подхода к оценке агроресурсного потенциала почв Ленинградской области было проанализировано современное состояние. Отмечено, что наиболее потенциально плодородные почвы уже вовлечены в использование в сельском хозяйстве. Данные исследования должны быть учтены при прогнозировании расширения границ населенных пунктов, строительства дорог, образования НПО в границах земель сельскохозяйственного назначения.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Андреева Т.А., Сухачева Е.Ю., Апарин Б.Ф., Лазарева М.А., Казаков Э.Э. Цифровое среднемасштабное почвенное картографирование как основа региональной политики по рациональному природопользованию на примере Ленинградской области // Сборник материалов II Международной научно-практической конференции «Геодезия, картография, геоинформатика и кадастры. От идеи до внедрения». 2017. с. 262–266.
- 2. *Апарин Б.Ф.* Почвоведение: Учебник. М.: Академия, 2012. 254 с.
- 3. *Агроэкологическая оценка земель*, проектирование адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий / Под ред. В.И. Кирюшина, А.Л. Иванова, М: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. 783 с.
- 4. Благовидов Н.Л. Почвы Ленинградской области. Л.: Лениздат, 1946. 143 с.
- 5. *Каталог районированных сортов* сельскохозяйственных культур по Ленинградской области / Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур при Министерстве сельского хозяйства СССР. Инспектура госкомиссии по Ленинградской области. Л.: типография ВИР, 1977. 50 с.
- 6. Кирюшин В.И. Агрономическое почвоведение: Учебник. М.: КолосС, 2010. 687 с.
- 7. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия: Учебник. М.: Колос, 1996 г. 368 с.

- 8. *Классификация и диагностика почв России* / Почв. ин-т им. В.В. Докучаева Рос. акад. с.-х. наук и др.; Шишов Л.Л. и др. Отв. ред. акад. РАН, проф. Г.В. Добровольский. 2-е изд., доп. и испр. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.
- 9. *Ковда В.А.* Основы учения о почвах. Том 1. М.: Наука, 1973. 447 с.
- 10. Минеев В.Г. Агрохимия: Учебник. М.: КолосС, 2004. 720 с.
- 11. *Мудрых Н.М., Алёшин М.А.* Пособие к лабораторным занятиям по агрохимии. Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. 51 с.
- 12. Почвы Ленинградской области / Под ред. В.К. Пестрякова. Лениздат, 1973. 344 с.
- 13. Пестряков В.К. Окультуривание почв Северо-Запада. Л.: Колос, 1977. 343 с.
- 14. *Суханов П.А*. Научные основы оценки и управления агроресурсным потенциалом региона (на примере Ленинградской области). дис. ... доктор с.х. наук: 06.01.03 СПб, 2013. 351 с.
- 15. *Шеин Е.В.* Курс физики почв: Учебник. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.
- 16. Управление Федеральной службы государственной статистики по г. Санкт-Петербургу и Ленинградской области (ПЕТРОСТАТ). Растениеводство Ленинградской области в 2017 году. Статистический сборник. [Электронный ресурс]. URL: http://petrostat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\_ts/petrostat/resources. дата обращения: 10.09.2018).

Работа рекомендована д.с.-х.н., проф. Б.Ф. Апариным.

## ESTIMATION OF AGRO-RESOURCE POTENTIAL OF THE SOILS THE LENINGRAD REGION

Y.R. Timofeeva

Central Soil Museum by V.V. Dokuchaev FRC V.V. Dokuchaev Soil Science Institute

The paper presents a method for assessing the agro-resource potential of the soils of the Leningrad Region, based on the main parameters characterizing the potential fertility of the soil. The specific and total agro-resource potential for natural and agro-soils is calculated.

*Keywords*: agroecological soil assessment, arable land, soil resources, soil resource potential, soil and agrochemical indicators, digital soil map.

# ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ УСИНСКОГО РАЙОНА РЕСПУБЛИКИ КОМИ ПОД ВЛИЯНИЕМ ЗАГРЯЗНЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДАМИ НЕФТИ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

#### В.С. Токмакова

#### Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Основная гидрофизическая характеристика — одна из наиболее важных показателей состояния почвы. В работе исследованы рекультивированные после нефтеразлива почвы Усинского района республики Коми. Была дана оценка водоудерживающей способности почв с различным содержанием углеводородов. Показано, что она коррелирует с содержанием углеводородов и наличием растительного покрова. В статье представлены значения влажности завядания растений. Для ее определения использовались экспериментальный и расчетный метолы.

Ключевые слова: ОГХ, нефтезагрязненные почвы, ремедиация, влажность устойчивого завядания растений.

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Современный мир пока еще зависим от энергетических ресурсов, скрытых в недрах нашей планеты. В свою очередь с добычей нефти неизбежно связаны ее разливы. При этом основная экологическая нагрузка обрушивается на почву. Вследствие этого страдают ее плодородие и регуляторные функции. Важно определить степень воздействия нефтепродуктов на почвенный покров с целью разработки актуальных мер борьбы с остатками загрязнений и расчетом экономической целесообразности работ на конкретных территориях. На российском Крайнем Севере сосредоточено 80 % всей арктической нефти и практически весь газ [3]. В частности территории Западной Сибири и Северо-Западного федерального округа располагают значительным количеством буровых установок. Также ведется активная разработка месторождений в аналогичных климатических условиях

Добыча нефти непосредственно связана с ее разливами и потенциальна опасна для окружающей среды. Сейчас рекультивации подвергается все больше нефтезагрязненных земель. Это показывают не только отчеты природоохранных органов и нефтедобывающих компаний, но и объемы финансирования, выделяемые в данной сфере [4].

Исследование различных методов рекультивации почв с точки зрения физических свойств может помочь в доработке имеющихся рекомендаций по восстановлению территории и их последующем применении на практике. Основная гидрофизическая характеристика помогает дать сравнительную оценку изменению физического состояния почв, поскольку зависит от гранулометрического и агрегатного состава, плотности почвы, количества и качества солей и органического вещества. Таким образом, можно сравнить участки почв, обладающих разными свойствами. При помощи метода «секущих» по А.Д. Воронину можно оценить почвенно-гидрологические константы, например, наименьшую влагоемкость и влажность устойчивого завядания. На основе влажности устойчивого завядания растений мы можем подобрать растения-мелиоранты, которые улучшат физические и химические свойство почв после разлива и при этом будут хорошо себя чувствовать в данной среде. В данной работе произведено сравнение двух методов оценки влажности завядания — экспериментальный (метод вегетационных миниатюр) и расчетный (по построенным кривым ОГХ).

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являются почвы Усинского района республики Коми. Изученные в работе образцы были отобраны в 2011 году на участке, расположенном на 55 км федеральной трассы Усинск-Нарьян-Мар в 5 км от левого берега реки Колва, где в 1994 году произошел прорыв нефтепровода «Возей-Головные сооружения», вследствие чего был загрязнен почвенный покров данной местности. В дальнейшем до 2010 года там проводились работы по восстановлению почвенного покрова. Применяли несколько различных методов рекуль-

<sup>©</sup> В.С. Токмакова, 2020

тивации. Нами был изучен участок, где произвели замену загрязненного слоя почвы песком, с размещением на его поверхности осадков сточных вод (ОСВ) слоем мощностью 15–30 см [2]. Согласно систематике техногенных поверхностных образований (Почвенный институт им. В.В. Докучаева) почву относят к группе артифабрикаты, подгруппе артифимостраты. Изучались образцы из 4 разрезов, различного расположения в рельефе и с различным состоянием растительного покрова (рис. 1). Разрез 1 – автоморфный без растительности; разрез 2 – автоморфный под естественным растительным покровом; разрез 3 – гидроморфный без растительности; разрез 4 – гидроморфный под естественным растительным покровом. Большинство образцов было отобрано из верхнего слоя в 10 см. В качестве эталонного, для сравнения, был выбран незагрязненный участок тундровой глеевой торфяной почвы (Классификации и диагностики почв СССР, 1977) с мощностью торфа 30 см. Образцы фоновой почвы были отобраны на глубине 40 см.

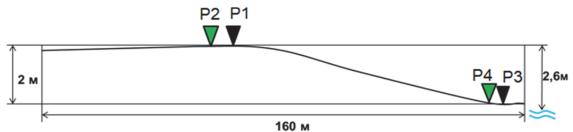


Рисунок 1. Расположение разрезов в рельефе.

Для измерения почвенного потенциала в диапазоне давлений от 2.7 до 4.2 pF ( $pF = 1 + \lg(P)$ ) и построения ОГХ использовался мембранный пресс фирмы Еijkelkamp. Метод мембранного пресса основан на иссушении насыпных образцов путем создания давления в камере пресса больше атмосферного. Показателем установления состояния водно-воздушного равновесия служит объем выделенной воды — если он менее 1 см³, то образцы можно устанавливать наиболее высокие значения pF. После каждого пройденного почвой давления измерялся вес и объем образца (усадка). Образец после нахождения в камере пресса под наибольшим давлением высушивался, определялась его влажность термостатно-весовым методом (высушивание производилось при  $105\,^{\circ}$ C), а затем устанавливались значения влажности для каждого значения pF методом обратного пересчета [1]. По окончании эксперимента строили графики зависимости давления грунтовой влаги, выраженного в pF-единицах, от объемной влажности или так называемые основные гидрофизические характеристики (ОГХ) исследуемых почв. Определения производились в трех повторностях на 5 точках давления: pF=2.7; 3.0; 3.4; 3.8; 4.2. Таки образом, были получены по 3 кривые ОГХ для почвы каждого разреза.

Определение влажности устойчивого завядания растения производилось методом вегетационных миниатюр. Методика проведения вегетационного эксперимента была принята в соответствии с ГОСТ 28268-89 «Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений». В качестве культуры-индикатора использовалась пшеница озимая сорта «Юка» (*Triticum aestivum*). Выращивание проводилось до стадии третьего листа, затем растения заливали парафином и ждали потери тургора. Если после 24 часов в водонасыщенной камере он не восстанавливался, измеряли влажность почвы термостатно-весовым методом. Каждый образец был исследован в трех повторностях. Таким образом, были получены данные по 15 единичным экспериментам. Расчетное значение влажности завядания было получено проведением линии («секущей») на уровне pF=4.18.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Обратимся к анализу данных по водоудерживающей способности рекультивированных почв (рис. 2). Автоморфная почва обладает значительно лучшими водоудерживающими свойствами, чем гидроморфная и чем фон (также гидроморфный). Видно постепенное сни-

жение влажности во времени. ОГХ гидроморфной и автоморфной почвы на участках под естественным растительным покровом обладают примерно равной траекторией, что доказывает положительное влияние растительности на гидрофизические свойства. Кривые на рисунке под буквами с и d (рис. 2)опять же иллюстрируют положительное влияние растительности на свойства почв. Кроме того сопоставив данные анализа ИК-спектроскопии на углеводороды в исследуемых почвах и данные о растительном покрове можно утверждать, что растительность благоприятствует снижению содержания токсичных соединений (табл. 1).

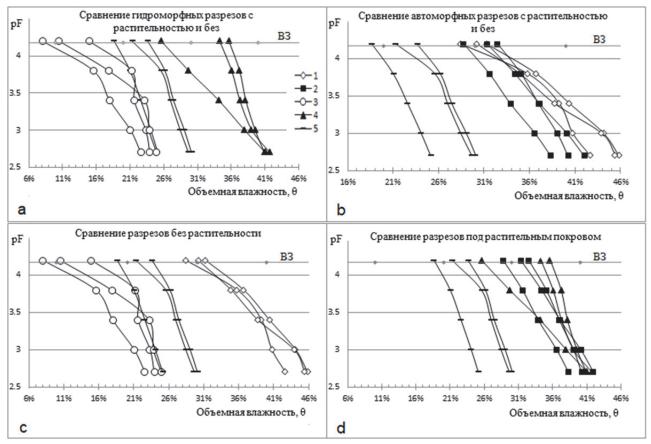


Рисунок 2. ОГХ исследуемых почв: 1 — автоморфная без растительности; 2 — автоморфная под растительным покровом; 3 — гидроморфная без растительности; 4 — гидроморфная под растительным покровом; 5 — фоновая почва.

Таблица 1. Содержание углеводородов нефти в почве.

Dagnag	автоморфный		гидроморфный			
Разрез	P1	P2	Фон	Р3	P4	
Растительность	_	+	+	_	+	
$\Sigma$ УВ, мг/кг	5556	599	238	29166	4889	

Из первого разреза с автоморфной почвой под естественной растительностью были отобраны образцы из горизонтов 0–10 см и 10–20 см. Их гидрофизическая характеристика и содержание углеводородов нефти в каждом слое представлена на рисунке (рис. 3). Прослеживается отчетливое влияние гидрофобных соединений на форму ОГХ. Углеводороды снижают водоудерживающую способность почвы.

Для сравнения влажности завядания была построена диаграмма (рис. 4). В большинстве образцов экспериментальные значения влажности выше, чем теоретические. Связано с физиологическими особенностями функционирования растений в среде с остаточным загрязнением УВ нефти и следовательно, недоступностью влаги. Это находит подтверждение и у других авторов [5]. Стоит также обратить внимание на фон и гидроморфную почву без растительности. У них в целом влажности завядания ниже, чем у других почв, они близки по значениям и в рамках разрезов, и в рамках двух методик. Отсюда можно сделать вывод, что

дополнительное поднятие почвы насыпями и изменение гидрологического режима не рекомендуется. Следует оставить естественный рельеф и степень гидроморфизма благоприятные для местной растительности. На примере нашего объекта рекомендуется изменить способ рекультивации. Вместо размещения на поверхности ОСВ использовать метод выдавливания нефти или же перейти на биологические методы рекультивации.

#### ОГХ автоморфной почвы без растительности

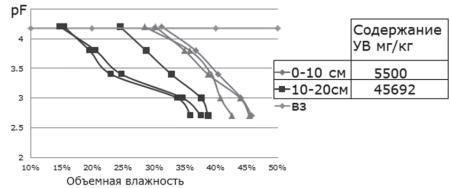


Рисунок 3. ОГХ автоморфной почвы без растительного покрова. Содержание углеводородов нефти в соответствующих слоях почвы.

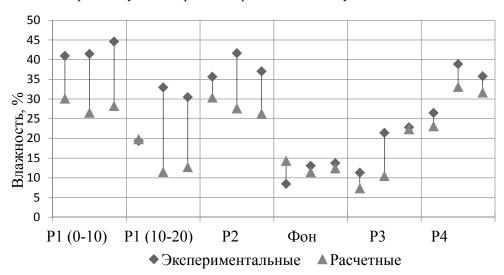


Рисунок 4. Значения влажности завядания, определенные разными методами.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в работе данные показали, что растительный покров обладает положительным влиянием на гидрофизические свойства гидроморфной почвы, а также способствует уменьшению содержания остаточных углеводородов нефти. Автоморфная почва сама по себе обладает лучшим водоудерживанием по сравнению с гидроморфной, и на нее растительность не оказывает существенного влияния. Загрязнение почвы углеводородами способствует снижению общей водоудерживающей способности;

Различный наклон кривых ОГХ показывает неодинаковую плотность насыпных образцов, поэтому рекомендуется, по возможности, при работе с мембранным прессом использовать монолиты с нативной плотностью и порозностью.

Влажность устойчивого завядания растений, полученная двумя методами значительно различается из-за физиологических особенностей функционирования растений в условиях нефтезагрязненного грунта и недоступностью влаги. На основании анализа ВЗ рекомендуется изменить способ рекультивации территории. Вместо размещения на поверхности ОСВ применить, например, выдавливание нефти или другой способ, исключающий поднятие территории.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М. Агропромиздат, 1986.416 с.
- 2. Ежелев З.С. Свойства и режимы рекультивированных после разливов нефти почв Усинского района республики Коми // Автореф. дис. ...канд. биол. наук. М.: Изд-во МГУ, 2015.
- 3. *Каплин П., Леонтьев О., Лукьянова С.* Берега. М., 1991. С. 58–71.
- 4. Меры принимаемые по снижению негативного воздействия на окружающую среду в результате разработки и эксплуатации нефтяных месторождений на территории Ханты-Мансийского автономного округа Югры: отчет о деятельности Природнадзора от 21.06.2018. [Электронный ресурс] URL: https://prirodnadzor.admhmao.ru/upload/iblock/e73/kovalevskiy-a.n.-soveshchanie-s-grinpiss-rossii-22.06.2018.pdf.
- 5. *Смагин А.В., Григорьева И.Ю., Саркисов Г.А.* Влияние углеводородного загрязнения на влажностные характеристики дисперсных грунтов и рост травянистой растительности.
- 6. Nünning L., Bechtol, M., Dettmann U., Piayda A., Tiemeyer B., Durner W. Determination of the water retention of peat soils in the range of the permanent wilting point // 19th EGU General Assembly, EGU2017, proceedings from the conference held 23–28 April, 2017 in Vienna, Austria., p. 12593.

Работа рекомендована к.б.н., н.с. З.С. Ежелевым.

# CHANGE IN HYDROPHYSICAL PROPERTIES OF SOILS OF THE USINSK REGION OF THE KOMI REPUBLIC UNDER THE INFLUENCE OF OIL CONTAMINATION AND SUBSEQUENT RECLAMATION

### V.S. Tokmakova Moscow State University

Water retention curve is very important for soil physics and reclamation. The paper examines the re-cultivated of oil-contaminated soils with different hydrologic conditions and different vegetation. The methodic recommendations of working with a membrane press were given, a WRC were built and also we compared the moisture content of wilting plants obtained in different ways. According to water retention curves, the comparison of soils on different sites was carried out.

Keywords: water retention curve, recultivation, wilting point.

## ИЗМЕНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ФИЗИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ ЗА 50-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

#### К.Д. Толстыгин

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва

Несмотря на значительные исследования в этой области, вопросы эволюции свойств почв, а в особенности – торфяных почв, остаются слабоизученными. В работе раскрываются некоторые закономерности, ведущие к изменению свойств торфов различного типа во времени, а также формулируются выводы о возможности мелиорации этих почв и возвращении их в сельскохозяйственное использование.

Ключевые слова: торф, эволюция, дренаж.

#### **ВВЕДЕНИЕ**

В современном мире вопросы исследования свойств торфа, несмотря на значительные труды в этой области, остаются малоизученными. В ходе работы были изучены основные физические и химические свойства торфа низинного участка поймы р. Яхрома в пределах территории Дмитровского отдела ВНИИМЗ, а также был проведен анализ эволюции этих свойств после антропогенного вмешательства (разрушение дренажной системы), построены картосхемы современного распределения свойств, а также даны рекомендации по возобновлению мелиорации участка с целью возврата его в эксплуатацию в сельском хозяйстве.

Непосредственной целью данной работы стал анализ эволюции свойств различных типов торфа на опытном участке. Для реализации поставленной цели были сформулированы следующие задачи: оценить физические и химические (краевой угол смачивания, степень разложения, зольность) (1), сопоставить полученные данные с архивными данными 1966 года [1] (2), выявить закономерности, приведшие к изменению свойств во времени (3), создать картосхемы распределения свойств на текущий момент времени с применением современного программного ГИС-обеспечения (4) и предложить методы по мелиорации данного участка (5).

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлся низинный торф поймы р. Яхрома, отобранный в 8 точках на территории опытного участка Дмитровского отдела ВНИИМЗ. Точки соответствовали 6 участкам с различными типами торфа (табл. 1) [1].



Рисунок 1. Спутниковое изображение участка.

Для исследования были выбраны торфа, отличающие по ботаническому составу, степени разложения, зольности и некоторым другим свойствам.

\_

<sup>©</sup> К.Д. Толстыгин, 2020

Таблица 1. Типы торфа и соответствующие им участки территории

Участок	Описание
1	Глубокозалежный торф прирусловой котловины с минеральным наносом и погребенным аллювием
2	Мелкозалежный древесный торф
3	Лесные и лесотопяные залежи
4-1	Осоково-гипновые карбонатные
4-2	Осоково-гипновые
5	Древесно-тростниковые

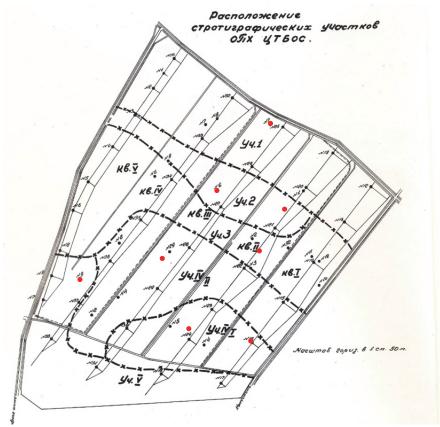


Рисунок 2. Расположение участков торфа (Минкина, 1966 [1]) с нанесенными точками пробоотбора.

Были исследованы образцы с глубин 20 и 80 сантиметров, что обусловлено залеганием дренажной системы на глубине в 50 сантиметров. Таким образом, мы смогли претендовать на релевантность значений определенных свойств.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Степень разложения остается практически неизменной на глубине 20 сантиметров, однако на глубине 80 сантиметров наблюдается сильное уменьшение значений. Особенно это заметно в точках, соответствующих древесным торфам, что, вероятно, связано с низкой степенью содержания в них устойчивых структурных элементов гумусовых кислот.

Зольность изменятся обратно пропорционально степени разложения. Наблюдается сильное увеличение её в нижних горизонтах и небольшое (за исключением древесных торфов) – в верхних (рис. 5, 6).

Наблюдаются крайне высокие значение краевого угла смачивания (рис. 7), что говорит о высокой гидрофобности торфа. Образцы с глубины 80 сантиметров не смачиваются.

Также были построены картосхемы распределения свойств. Построение производилось методом обратных расстояний в программе MapInfo (рис. 8, 9).

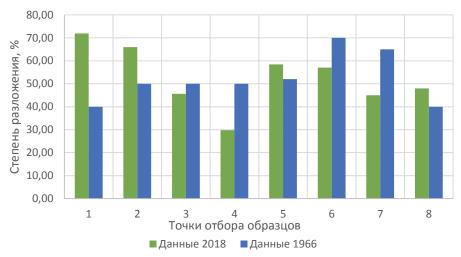


Рисунок 3. Варьирование степени разложения на глубине 0.2 м.

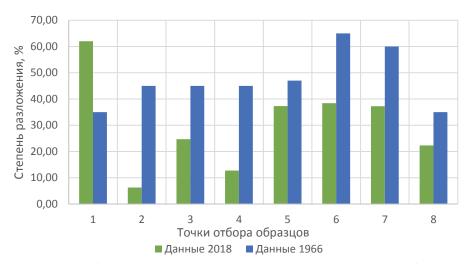


Рисунок 4. Варьирование степени разложения на глубине 0.8 м.

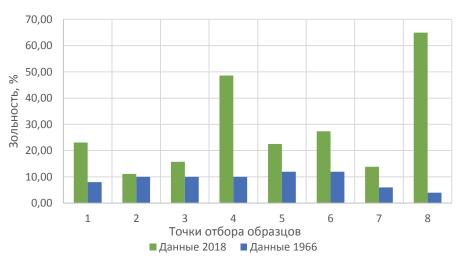


Рисунок 5. Варьирование зольности на глубине 0.2 м.

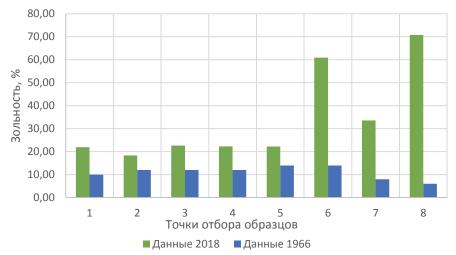


Рисунок 6. Варьирование зольности на глубине 0.8 м.

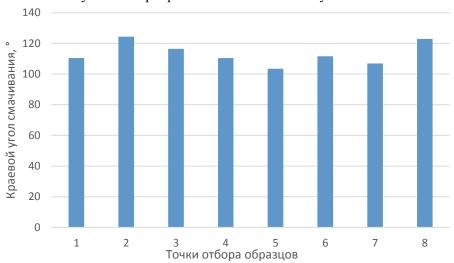


Рисунок 7. Варьирование краевого угла смачивания на глубине 0.2 м.

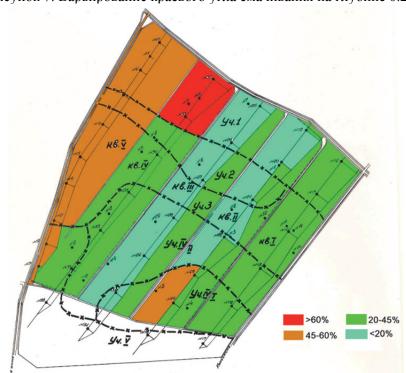


Рисунок 8. Картосхема распределения зольности на опытном участке Дмитровского отдела ВНИИМЗ, Толстыгин, 2018.

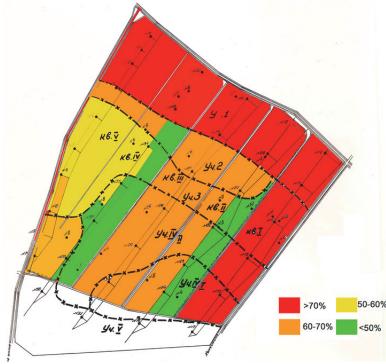


Рисунок 9. Картосхема распределения степени разложения на опытном участке Дмитровского отдела ВНИИМЗ, Толстыгин, 2018.

#### ВЫВОДЫ

- Разрушение дренажной системы ведет к увеличению влажности и, как следствие, увеличению значений зольности и уменьшению значений степени разложения.
- Увеличение зольности связано с высоким содержанием железа в грунтовых водах. Увеличение влажности приводит к увеличению минерализации, что ведёт к увеличению зольности.
- Торфяные почвы характеризуются высокими значениями КУС, что обуславливается их высокой гидрофобностью.
- Эти данные говорят о необходимости проведения мелиоративных мероприятий (т.е. возобновлении систематической работы дренажной системы) для восстановления водного режима и, как следствие, увеличения плодородия данных почв.
- Для создания мелиоративных систем в качестве базы можно использовать полученные картосхемы.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Минкина Ц.И. Белякова В.Я., Старцева Н.Д.* Исследование основного участка опытного хозяйства ЦТБОС. Отчет ЦТБОС, 1966 тема 4 с. 25–77.
- 2. *Шеин Е.В., Позднякова А.Д., Шваров А.П., Ильин Л.И., Сорокина Н.В.* Гидрофизические свойства высокозольных низинных торфяных почв // Почвоведение, 2018, №10, с. 1259—1264.

## CHANGE OF SOME PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF PEAT SOILS FOR THE 50-YEAR PERIOD

K.D. Tolstygin

Moscow State University named after M.V. Lomonosov, Moscow

Despite significant research in this area, the evolution of soil properties, and in particular peat soils, remains poorly understood. The paper reveals some patterns that lead to a change in the properties of peats of various types over time, and also draws conclusions about the possibility of reclamation of these soils and their return to agricultural use.

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВ МЫСА БУРХАН, о. ОЛЬХОН Е.А. Трошина

#### Иркутский государственный университет

Усиленная деградация почвенного покрова на мысе Бурхан, о. Ольхон, обозначили цель исследования, которая является актуальной и на данный момент — изучение образования эрозионных и физико-химических процессов.

Ключевые слова: антропогенная нагрузка, химические и физические свойства.

Озеро Байкал, самое глубокое и чистое озеро на Земле, с 1966 года является частью Всемирного наследия ЮНЕСКО. Это не только природный феномен, но и сокровищница материальной и духовной культуры Центральной Азии, о чем свидетельствуют археологические памятники, ритуальные шаманские тексты и петроглифы. На острове Ольхон, которое расположено почти в центральной части Байкала, встречается множество уникальных природных памятников, ландшафтов, песчаные пляжи, реликтовые леса, степи, эндемичная флора и фауна. Одним из таких памятников природы и культуры является мыс Бурхан – визитная карточка Ольхона и священное место для жителей острова.

Ольхон – самое посещаемое место для туристов из разных стран. Это один из наиболее важных природных объектов на территории Прибайкалья. В связи с этим за последние три года резко увеличилась антропогенная нагрузка на его экосистемы, в том числе на почвы. Здесь, на месте проложенных туристических троп образуются и формируются глубокие овраги (до 5 м и более). Прогрессирующее развитие оврагов усиливает не только пешие, но и автомобильное движение, которое оказывает большую нагрузку на почвенный покров. Под действием скопления дождевой воды в местах нарушенного почвенного покрова развивается водная эрозия, которая приводит к размыву не только дорог, но и к деградации всей поверхности около мыса. Деградация почвенного покрова представлена, в виде эрозионных образований: многочисленными оврагами, песчаными дюнами, плоскостным смывом. Уменьшение растительного покрова привело к процессу разрушения гумусового горизонта и обозначению на поверхности легкоэродируемых внутрипочвенных горизонтов.

Объектом исследования выступили образцы почв мыса Бурхан, о. Ольхон. В ходе данной работы использовались следующие физико-химические методы: минерализация органического вещества, определение плотности сложения, карбонатов по алкалиметрической методики Ф.И. Козловского, нефтепродуктов (НП) флюориметрическим, рН<sub>Н2О</sub> потенциометрическим, обменных Са и Мg комплексонометрическим и гранулометрического состава пирофосфатным (ускоренным) методами.

Данной проблемой занялась экспедиция в июле 2017 года под руководством профессора X.-Р. Борка (г. Киль, Германия), при участии С. Хамнуевой, А. Митта, Я. Вендта и доцентом кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Иркутского государственного университета О.Г. Лопатовской. В процессе экспедиции было заложено 5 почвенных разрезов: 2 профиля на южном склоне, один на водоразделе и 2 на северном склоне. Образцы отбирались с поверхности почвы до дна оврага.

В августе 2018 года была проведена повторная экспедиция, при участии С.В. Хамнуевой, О.Г. Лопатовской, Е.Р. Хадеевой и других. В качестве дополнительных объектов исследования были заложены еще 4 почвенных разреза и выполнены анализы (табл. 1). В разрезе на вершине водораздела (КВ-N-P6) плотность сложения оказалась самой высокой — 2.00 г/см<sup>3</sup> в верхнем горизонте и 2.24 г/см<sup>3</sup> в нижнем. В разрезе с западной стороны мыса (КВ-W-P8) плотность верхнего горизонта (0–5 см) составила 1.83 г/см<sup>3</sup> и в разрезе КВ-W-P7 (0–4 см) — 1.48 г/см<sup>3</sup>. Реакция среды в разрезах КВ-S-P3, КВ-N-P6, КВ-W-P7 изменяется от слабокислой до слабощелочной, а в разрезе КВ-W-P8 увеличивается вниз по профилю до сильнощелочной.

\_

<sup>©</sup> Е.А. Трошина, 2020

По результатам анализов содержание гумуса исследуемых почв показали, что его распределение по профилю неравномерно, а значения незначительны от 0.27 до 3.94 %. Это характеризует верхние горизонты, как малогумусовые. Самое высокое содержание гумуса (3.94 %) отмечается в верхнем горизонте (АЈ) профиля КВ-W-P7. Верхние горизонты исследуемых почв наиболее гумусированы, что, возможно, обусловлено повышенной активностью микроорганизмов и мезофауны, влияющей на ускорение гумификации и минерализации растительных остатков. Далее вниз по профилю показатели резко падают до диапазона 0.22—1.63 %. Также некоторые разрезы характеризуется наличием погребенных гумусовых горизонтов со следующими показателями: разрез КВ-S-P3 — ВМК1 — 2.93 %, ВМК2 — 3.09 % и разрез КВ-N-P6 — ВСА — 3.17 %.

Результаты анализа определения карбонатов по алкалиметрической методики Ф.И. Козловского варьируют в диапазоне 0.04–4.84 %, что исходя из классификации известково-доломитовых пород (по С.Г. Вишнякову) подтверждают наличие доломитных пород (табл. 1) [5, 4]. Это ранее было оговорено И.Д. Черским, занимавшимся изучением побережья оз. Байкал с 1870 по 1880 гг. Он считал, что о. Ольхон сложен архейскими породами верхнего яруса Лаврентьевской системы, представляющей собой чередование кристаллических известняков, кальцитов и доломитов. Также он подчеркивал, что значительную роль в строении берегового рисунка острова играют структурно-тектонические процессы. Эти же выводы о стратиграфическом делении и геологическом строении подтверждал В.А. Обручев (1890) [3].

Содержание массовой доли нефтепродуктов в пробах почв было определенно флюориметрическим методом на анализаторе жидкости «Флюорат-02». Содержание данного показателя во всех разрезах снижается сверху вниз и значения его незначительны (табл. 1). Максимальное количество нефтепродуктов отмечено в погребенных горизонтах профиля КВ-S-P3: ВМК1 – 383.3 мг/кг, ВМК2 – 339.8 мг/кг, САТ1 – 237.6 мг/кг, САТ2 – 149.9 мг/кг. Дальнейшее загрязнение почв и грунтовых вод НП не происходит, вследствие резкого уменьшения интенсивности миграции химических элементов и, как следствие, их концентрации. Предположительно привнесение НП в этот разрез произошло антропогенным путем [1].

Содержание обменных Са и Mg (табл. 1) характеризуется максимальными показателями в верхних горизонтах, за счет гумификации и минерализации растительных остатков, а в нижних, вследствие содержания их большого количества в породах. Минимальное количество содержание суммы обменных Са и Mg отмечается в профиле KB-S-P3, горизонте ВМ1 – 2.7 %, что обусловлено процессом иллювиирования данных элементов вниз по профилю. Определение обменных катионов также показало, что в почве в основном преобладает кальний нал магнием.

Характеристика полученных результатов гранулометрического состава (рис. 1) производилась по классификации почв Н.А. Качинского [6].

Результаты анализа определения гранулометрического состава показали преобладание на мысе Бурхан суглинистых фракции, то есть почв, в которых доля глинистого вещества колеблется от 20 до 50–60 % [2]. В профиль КВ-S-P3 наблюдается дифференциация почвы по фракциям, так в горизонтах: ВМК2, САТ1, САТ2 содержится максимальное количество илистых и пылеватых частиц, что говорит о их передвижении из верхних горизонтов в нижние – иллювиальный процесс. В данном профиле имеются погребенный горизонт (ВМК2), где резко возрастает фракция физической глины до 22 %.

Разрезы КВ-N-P6, КВ-W-P7, КВ-W-P8 имеют однородный гранулометрический состав состоящий в основном из легкого (Сл) и среднего суглинков (Сср), с содержанием глинистого материала около 20–30 % в Сл, и 30–40 % в Сср [2].

В результате полученных данных можно сказать, что почвы на вершине водораздела имеют максимальную антропогенную нагрузку, но содержание гумуса для данных почв имеет вполне допустимые показатели. Разрез КВ-W-Р8 также подвергается нагрузке, но плодородный слой сохранился, вследствие активного процесса гумификации.

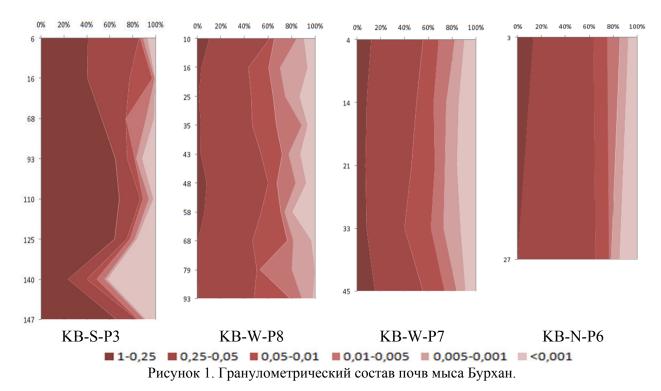
Отмечается преобладание суглинистых фракций, то есть почв и рыхлых пород, состоящих из смеси песка, глин. Профиль KB-S-P3 является текстурно-дифференцированным, что может быть связано с наличием погребенных горизонтов BMK1, BMK2.

Содержание нефтепродуктов в образцах почвы незначительно, за исключением профиля KB-S-P3, где внесение в погребенные BMK1, BMK2 и нижележащие горизонты CAT1, CAT2 произошло антропогенным путем и за счет утяжеления гранулометрического состава, что служит геохимическим барьером.

Таблица 1. Химические свойства образцов почвы взятых на мысе Бурхан, о. Ольхон.

Таблица 1. Химические свойства образцов почвы взятых на мысе Бурхан, о. Ольхон.								
Горизонт	Глубина, см	рН водн.	Гумус, %	СО карб., %	НП, мг/кг	Са обм., %	Мg обм., %	Сумма обм. Са и Мg, %
			Разре	з KB-S-P3	l	I	I	1
AY	0–6	5.52	3.74	0.09	17.4	7.7	2.1	9.8
BM1	6–16	6.10	0.41	0.04	17.3	1.9	0.8	2.7
BM2	16–68	6.76	_	0.18	34.6	8.6	3.8	12.4
BM3	68–93	5.50	_	0.09	0.2	6.7	2.9	9.6
BMK1	93–110	6.61	2.93	0.53	383.3	6.5	2.5	9.0
BMK2	110–125	6.90	3.09	0.53	339.8	5.9	2.3	8.2
CAT1	125–140	7.54	0.91	0.48	237.6	6.3	3.4	9.7
CAT2	140–147	7.82	1.33	0.53	149.9	19.1	7.4	26.5
		1	Разре	з KB-N-P6	ı.		1	ı
AJ	0–3	5.91	2.99	0.88	5.2	15.1	5.0	20.1
BCA	3–27	7.57	3.17	0.92	8.8	20.9	5.1	26.0
Разрез KB-W-P7								
AJ	0–4	5.52	_	0.62	248.2	10.5	4.0	14.5
AJ2	4–14	5.78	3.94	0.62	16.1	10.1	4.4	14.5
BM	14–21	6.77	3.41	0.75	16.7	9.4	6.8	16.2
BMK	21–33	6.90	3.23	0.88	13.8	9.0	6.9	15.9
Cca	33–45	7.89	1.69	1.63	15.8	6.1	2.8	8.9
			Разре	3 KB-W-P8				
AJ	0–10	7.75	3.65	0.79	15.9	9.5	4.1	13.6
BMK1	10–16	7.99	1.99	4.84	6.2	9.6	5.9	15.5
BMK2	16–25	8.09	1.46	3.96	3.2	6.1	5.7	11.8
BCA1	25–35	8.17	0.79	1.32	2.4	9.5	3.2	12.7
BCA2	35–43	8.13	0.79	1.76	2.7	20.1	2.3	22.4
CAT1	43–48	8.13	0.56	1.54	1.9	15.6	2.5	18.1
CAT2	48–58	8.51	0.87	2.64	1.0	2.6	3.4	6.0
CAT3	58–68	8.40	0.37	0.88	0.8	1.9	2.1	4.0
CAT4	68–79	8.65	0.27	0.97	1.0	1.9	2.1	4.0
CAT5	79–93	8.60	0.33	0.22	1.5	1.8	2.3	4.1

Примечание: «-» – не определено.



Таким образом, существует возможность сохранить почвенный покров на мысе Бурхан и восстановить растительный покров, что снизит дальнейшее образование эрозионных форм. Геохимический барьер в разрезе KB-S-P3 законсервировал в себе нефтепродукты, тем самым прекратил дальнейшее загрязнение почвы и грунтовых вод, стекающих в озеро Байкал.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Перельман А.И. Геохимия. Высшая школа, 1079 г.
- 2. *Муралев С.Г., Панин А.М.* Гранулометрический состав почвы. Агропроизводственное значение и оценка в сельскохозяйственном производстве. LAP Lambert Academic Publishing, 2011.
- 3. *Горные породы,* встречающиеся на острове Ольхоне, по исследованиям Обручева [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://www.magicbaikal.ru/history/ritter-1895/strata-olkhon.htm (дата обращения 18.04.2019 г.).
- 4. *Карбонатные породы* [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.geolib.net/lithology/karbonatnye-porody.html (дата обращения 18.04.2019 г.).
- 5. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. ГЕОС, 2006.
- 6. Качинский Н.А. Физика почв. Высшая школа, 1965.

Полевые исследования выполнены при участии Е.Р. Хадеевой и С.В. Хамнуева.

Работа выполнена под руководством доцентом кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ, к.б.н. О.Г. Лопатовской.

#### PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF SOILS OF THE CAPE BURHAN OF OLKHON ISLAND

#### E.A. Troshina

#### Irkutsk state University

Enhanced degradation of soil cover at Cape Burhan, Olkhon island, identified the purpose of the study, which is relevant at the moment - the study of the formation of erosion and physico-chemical processes.

Keywords: anthropogenic load, chemical and physical properties.

#### УДК 631.8:631.417.1:631.412

# ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ УДОБРЕНИЙ НА ГУМУСОВОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВЫ, СТРУКТУРУ И КАЧЕСТВО УРОЖАЯ БЕССМЕННО ВОЗДЕЛЫВАЕМОЙ ОЗИМОЙ РЖИ

#### Н.В. Ускова

#### РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, г. Москва

Проведено исследование влияния длительного применения различных систем удобрения на качественный и количественный состав гумуса, физико-химические свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, а так же на структуру и качество урожая бессменно возделываемой озимой ржи. Полученные в ходе исследования данные позволяют дать комплексную агроэкологическую характеристику состоянию почвенного органического вещества и получаемому урожаю озимой ржи.

Ключевые слова: комплексная агроэкологическая оценка, почвенное органическое вещество, дериватография.

#### **ВВЕДЕНИЕ**

Главной целью устойчивого развития агроэкосистем является получение урожаев высокого качества без ущерба для окружающей среды. В условиях обострившейся экологической ситуации было бы ошибочно все сводить к накоплению органического вещества. Активное антропогенное вмешательство в почвообразовательный процесс подразумевает изменение качественного состава гумусовых соединений. Для того чтобы дать полную характеристику плодородия почв, важно определять не только количественный состав гумуса в почве, но и давать оценку его качественному составу. Именно при изучении структуры гумусовых веществ появляется возможность регулировать состав и свойства гумусовых соединений [5]. Для решения вопросов, относящихся к структуре гумусовых веществ, широко применяются физико-химические методы анализа [4].

Термографический метод анализа, применяемый для изучения качественного состава почвенного органического вещества, основан на зависимости строения и прочности гумусовых веществ от температуры [2, 4]. При интерпретации результатов анализа периферическую и центральную части гумусовых веществ выделяют по способности к деструкции в низко- и высокотемпературных областях их компонентов. Величина температуры термоэффектов в этих областях позволяет судить о прочности связей в структуре гумусовых веществ, а количество эффектов – о количестве компонентов в периферической и центральной частях.

#### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Дать комплексную агроэкологическую оценку состоянию органического вещества и физико-химических свойств дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы, а также структуре и качеству урожая бессменно возделываемой озимой ржи в длительном полевом опыте.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования был выбран длительный полевой опыт РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. Он был заложен А.Г. Дояренко в 1912 году. В опыте изучаются 3 фактора: севооборот, удобрение и известкование. Образцы для исследования были отобраны с делянок, занятых бессменно возделываемыми озимой рожью и картофелем. Для исследования были выбраны 4 системы удобрения — органоминеральная (навоз 20 т/га, N — 100 кг/га, P — 150 кг/га, K — 120 кг/га), органическая (навоз 20 т/га), минеральная (N — 100 кг/га, P — 150 кг/га, K — 120 кг/га) и контрольный вариант (без удобрений). Образцы были отобраны с известкованных и неизвесткованных участков [1].

В рамках термографического метода исследования был проведен совмещенный термогравиметрический и дифференциальный термический анализ с использованием деривато-

© Н.В. Ускова, 2020

графа системы Паулик – Паулик – Эрдей. Данный прибор представляет собой комплексное термоаналитическое устройство, при помощи которого у одной и той же пробы измеряется температура (Т), изменение массы (ТГ), скорость изменения массы (ДТГ) и изменение содержания тепла (ДТА) [2]. Для анализа были использованы почвенные образцы, отобранные с делянок и прошедшие пробоподготовку (без выделения гумусовых веществ)

Для определения качества урожая озимой ржи был применен БИК-анализатор SpectraStar 2600XT, который позволяет определять такие показатели, как влага, протеин, клетчатка, жир, зола, крахмал и другие (в том числе аминокислоты в сырье).

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования количественного состава почвенного органического вещества представлены в таблице 1.

Таблица 1. Количественный состав почвенного органического вещества в длительном полевом опыте при бессменном возделывании озимой ржи.

Система удобрения	Сорг	Слаб	$C_{r\kappa}$	$C_{\phi\kappa}$	Сэгв
Контроль без извести	1.22	0.25	0.087	0.235	0.055
Контроль + известь	1.16	0.26	0.082	0.196	0.049
Органическая без извести	1.57	0.30	0.169	0.413	0.099
Органическая + известь	1.33	0.26	0.159	0.368	0.095
Минеральная без извести	1.80	0.32	0.123	0.286	0.073
Минеральная + известь	1.86	0.31	0.106	0.263	0.064
Органоминеральная без извести	1.97	0.36	0.164	0.398	0.097
Органоминеральная + известь	1.91	0.30	0.145	0.364	0.089
НСР	0.05	0.01	0.015	0.021	0.004

Примечание:  $C_{3\Gamma B}$  – углерод, экстрагируемый горячей водой.

По данным таблицы 1, для всех компонентов наилучшей оказалась органоминеральная система удобрения, по всем вариантам, где не проводилось известкование, обнаружено больше углерода, чем в известкованных вариантах. Худшим вариантом является контроль на фоне известкования. Согласно классификации типов гумуса почвы исследуемых вариантов фульватного типа.

Результаты исследования почвенного органического вещества дериватографическим методом опубликованы нами ранее в таблице 2 работы [3].

Разброс значений по потере массы от удаления гигроскопической влаги находится в диапазоне от 9.5 % в контрольном варианте без извести до 15.5 % в контрольном варианте с известью. Гигроскопической влаги больше в известкованных вариантах, за исключением органоминеральной системы удобрения, из чего можно сделать вывод, что при внесении извести почва удерживает больше гигроскопической влаги.

В периферической части гумусовых веществ присутствует только 1 компонент, который отличается по величине температуры сгорания, исключение составляет только минеральная система удобрения без извести. Наименее прочносвязанная периферическая часть наблюдается в органической системе удобрения без извести и в контрольном варианте без извести. Внесение извести в вариантах с внесением только органических или только минеральных удобрений повышает прочность периферической части и делает ее менее доступной для разрушения.

Наиболее прочная периферическая часть наблюдается в варианте с минеральными удобрениями без известкования. Во всех неизвесткованных вариантах, за исключением органической системы удобрения, мы наблюдаем увеличение массовой доли периферической части по сравнению с известкованным вариантом.

В центральной части контрольных вариантов присутствует по 3 компонента. Массовая доля центральной части больше в неизвесткованном варианте. Прочность связей централь-

ной части в этом варианте так же выше, чем в известкованном, он менее доступен для разрушения. Наилучший результат наблюдается в органоминеральной системе без известкования. В этом варианте мы видим, что в центральной части присутствует 4 компонента.

На минеральной системе удобрения с известью мы видим 5 компонентов и температура разрушения выше, но суммарная массовая доля компонентов меньше, чем в органоминеральной системе удобрения, причем доля компонентов, разрушаемых при более высоких температурах очень мала. Так же значительно большая величина энергии активации в органоминеральной системе удобрения без извести (на 15 тыс. кДж/кг) говорит о большей прочности связей гумусовых веществ.

Наибольшее количество подвижных форм азота характерно для органической системы удобрения (табл. 2), причем 4 класс обеспеченности почв аммонийным азотом характерен для варианта без известкования, а нитратным – для варианта с известкованием. Обеспеченность нитратным азотом на уровне 3 класса характерна для вариантов с органической и органоминеральной системой удобрения без известкования, для остальных вариантов был определен 2 класс обеспеченности почв, за исключением контрольного варианта без извести – для него определен 1 класс. По обеспеченности почв аммонийным азотом 3 класс был определен для органической системы удобрения и контрольного варианта на фоне известкования, для остальных вариантов был определен 2 класс обеспеченности почв. По содержанию подвижных форм фосфора для всех вариантов характерен 6 класс обеспеченности почв, за исключением контрольного варианта, для которого определен 5 класс. По содержанию обменного калия для органической и органоминеральной систем удобрения определен 6 класс обеспеченности, для минеральной системы удобрения — 5 класс, а для контрольного варианта — 4 класс.

Таблица 2. Физико-химические свойства дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы.

			Содержание подвижных форм элементов питания								
Система удобрения	рН (вод-	рН (соле- вой)	соле-		Аммонийный азот		Фосфор		Калий		
	ный)		мг/кг	КлО	мг/кг	КлО	мг/кг	КлО	мг/кг	КлО	
Контроль без извести	5.97	5.34	14.2	2	21.6	2	159	5	159	4	
Контроль + известь	6.15	5.88	8.6	1	38.1	3	162	5	125	4	
NPK без извести	6.26	5.3	12.2	2	21.5	2	376	6	247	5	
NPK + известь	6.52	5.34	13.8	2	22.1	2	365	6	239	5	
Навоз без извести	6.56	6.19	19.8	3	64.2	4	486	6	386	6	
Навоз + известь	6.95	6.27	25.8	4	44.8	3	499	6	469	6	
NPK + навоз без извести	6.58	5.89	16.5	3	22.5	2	654	6	434	6	
NPK + навоз + известь	6.83	6.07	10.2	2	22.7	2	556	6	467	6	

Примечание: КлО – класс обеспеченности.

Результаты по влиянию систем удобрения на структуру урожая бессменно возделываемой озимой ржи представлены в табл. 3.

Наибольшее количество растений на 1 м<sup>2</sup> наблюдается в контрольном варианте по извести, а наименьшее в варианте с органической системой удобрения без извести. По всем известкованным вариантам мы наблюдаем увеличение количества растений, за исключением органоминеральной системы удобрения. Масса 1000 зерен варьирует от 36.7 г до 48.5 г, что превышает средние значения этого показателя по требованиям к сорту Валдай. Наибольшее значения так же наблюдается в органоминеральной системе удобрения без извести, наименьшее – в варианте с минеральной системой удобрения без извести. Наибольшая уро-

жайность наблюдается в варианте с органоминеральной системой удобрения без извести, а наименьшая на органической системе удобрения без извести.

Таблица 3. Влияние систем удобрения на структуру урожая бессменно возделываемой озимой ржи.

Система удобрения	Кол-во растений на 1 кв. м	Средняя длина растения, см	Средняя длина ко- лоса, см	Среднее кол-во зерен в колосе, шт.	Масса 1000 зе- рен, г	Урожайность, г/кв. м
Контроль без извести	296	67.2	4.6	18.4	40.6	221.3
Контроль + известь	336	68.0	4.7	25.3	41.2	337.0
NPK без извести	248	76.2	6.2	22.2	45.2	248.7
NPK + известь	276	80.2	6.2	29.1	36.7	294.6
Навоз без извести	156	89.8	6.0	26.3	39.0	159.9
Навоз + известь	180	94.7	7.0	33.1	45.9	273.3
NPK + навоз без извести	316	94.3	6.7	33.0	48.5	506.5
NPK + навоз + известь	196	90.7	7.1	34.2	44.1	296.1
НСР	8	1.6	0.1	0.7	0.3	10.6

При определении показателей качества урожая озимой ржи исследование проводили в двух вариантах: сначала проводили БИК-анализ цельного зерна, а затем муки. Результаты по влиянию систем удобрения на качество урожая бессменно возделываемой озимой ржи представлены в таблице 4.

Таблица 4. Влияние систем удобрения на качество урожая бессменно возделываемой озимой ржи.

Twomay is business on the same of the same	Белок		Зола		Число падения		
Вариант	мука	зерно	мука	зерно	С	Класс качества муки (ГОСТ 16990-2017)	
Контроль без извести	14.6	14.4	2.01	2.05	195.5	2	
Контроль + известь	15.8	12.9	1.56	2.39	314.6	1	
NPK без извести	17.1	17.4	2.29	2.64	91.2	3	
NPK + известь	15.1	16.1	2.14	2.53	234.1	1	
Навоз без извести	11.3	10.7	1.77	2.42	311.4	1	
Навоз + известь	10.5	11.7	2.00	2.41	214.8	1	
NPK + навоз без извести	13.1	13.4	2.18	2.59	188.7	2	
NPK + навоз + известь	14.2	12.5	2.12	2.18	282.7	1	
HCP <sub>0.05</sub>	0.1	0.1	0.02	0.02			

Наилучшей системой удобрения по влиянию на содержание белка в зерне озимой ржи является минеральная система удобрения, причем наибольшее накопление белка характерно для неизвесткованных вариантов. А наименьшее содержание белка характерно для вариантов с органической системой удобрения. При внесении извести наблюдается снижение количества золы как в муке, так и в оболочке зерна. Наибольшее количество золы характерно для минеральной системы удобрения без известкования, причем и для муки, и для оболочки зерна. Наименьшее содержание золы характерно для контрольного варианта.

Согласно результатам исследования муки озимой ржи по показателю числа падения практически во всех вариантах рожь относится к первому классу качества. Исключение составляют контрольный вариант без извести и органоминеральная система удобрения без извести — в них получена рожь второго класса качества, а также минеральная система удобрения без извести — в этом варианте рожь относится к третьему классу качества.

#### ВЫВОДЫ

- 1. Содержание активных компонентов гумуса больше в неизвесткованных вариантах, наилучшей оказалась органоминеральная система удобрения, худшим вариантом является контроль на фоне известкования.
- 2. Периферическая часть почвенного органического вещества более прочно связана в неизвесткованных вариантах за исключением органической системы удобрения;
- 3. Наиболее прочная и с большим количеством компонентов центральная часть гумусовых веществ характерна для органической и минеральной систем удобрения с известкованием, а так же для органоминеральной системы удобрения без известкования;
- 4. Наилучшие результаты по всем показателям структуры урожая получены по органоминеральной системе удобрения без извести;
- 5. Наибольшее накопление белка характерно для неизвесткованных вариантов, а наилучшей системой удобрения является минеральная;
  - 6. Практически по всем вариантам мука озимой ржи относится к 1 классу качества.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Длительный полевой опыт 1912–2012:* Краткие итоги научных исследований / Под ред. Академика РАСХН В.М. Баутина. М.: Изд-во РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева 2012.
- 2. *Методические указания* про проведению испытаний биологических образцов методом термического анализа // Белопухов С.Л., Шнее Т.В., Дмитревская И.И., Маслова М.Д., Гришина Е.А., Калабашкина Е.В. / Под ред. проф. Белопухова С.Л. М.: Изд-во РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева. 2014. 87 с.
- 3. Ускова Н.В. Агроэкологическая оценка гумусового состояния дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы в длительном стационарном эксперименте // Материалы по изучению русских почв. Вып. 11 (38): Сб. науч. докл. / Под ред. Б.Ф. Апарина. — СПб, 2018. — 208 с.
- 4. *Хмельницкий Р.А., Черников В.А., Лукашенко И.М., Кончиц В.А.* Использование инструментальных методов при исследовании структуры гумусовых соединений // Известия ТСХА 1977. №6. С. 193–202.
- 5. *Черников В.А.* Комплексная оценка гумусового состояния почв // Известия ТСХА 1987. №6. С. 83–94.

Работа рекомендована д.с.-х.н., профессором В.А. Черниковым.

## ASSESSMENT OF THE IMPACT OF LONG-TERM USE OF FERTILIZERS ON THE HUMUS STATE OF THE SOIL, THE STRUCTURE AND QUALITY OF THE CROP OF PERMANENTLY CULTIVATED WINTER RYE

N.V. Uskova

RSAU – MAA named after K.A. Timiryazev, Moscow

The influence of long-term use of different fertilizer systems on the qualitative and quantitative composition of humus, physical and chemical properties of sod-podzolic light-loamy soil, as well as the structure and quality of the crop of permanently cultivated winter rye. The data obtained in the course of the study allow us to give a comprehensive agro-ecological characteristic of the state of soil organic matter and the resulting harvest of winter rye.

Keywords: complex agroecological assessment, soil organic matter, derivatography.

#### АККУМУЛЯЦИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТЕНИЯХ ТРОСТНИКА ЮЖНОГО (*PHRAGMITES AUSTRALIS* CAV.) В УСЛОВИЯХ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

В.А. Чаплыгин, Т.В. Бауэр, Г.О. Коркин, Т.М. Хассан

Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону

Исследование проводилось в зоне техногенного воздействия промышленных канализационных стоков и отстойников г. Каменск-Шахтинский Ростовской области. Установлено влияние химического загрязнения высокими дозами загрязняющих веществ на содержание тяжелых металлов в растениях тростника южного (*Phragmites australis* Cav.) в техногенной мезофильной сукцессии.

Ключевые слова: хемозём, антропогенная нагрузка, аккумуляция элементов.

#### ВВЕДЕНИЕ

Актуальность изучения содержания тяжелых металлов (ТМ) в окружающей среде растет с каждым годом в связи с усилением антропогенного воздействия [18], а изучение генетических особенностей минерального питания растений, представляет всё больший интерес. Попадая в растения из почвы и воздуха, ТМ способны аккумулироваться в растительных тканях в большом количестве и по трофической цепочке переходить в организм животных, а затем и человека. Для растений высокий уровень загрязнения среды обитания является стрессовым фактором, вызывающим интегральный неспецифический ответ, направленный на выживание биосистем за счет формирования защитных механизмов [2, 5, 6, 10, 19]. Растения, обитающие в условиях длительного воздействия химического загрязнения, не имея возможности «уйти» от влияния стрессора, фактически вынуждены приспосабливаться к нему, мобилизуя свои внутренние защитные ресурсы. Благодаря физиологическим и анатомическим особенностям аккумулирующая способность растений-макрофитов обусловлена механизмом детоксикации ТМ, которая определяется преимущественным связыванием металлов клеточными стенками корней [14]. Многочисленными исследованиями [11, 12, 13, 15] показана высокая эффективность использования группировок Phragmites australis Cav. для целей фиторемедиации высокозагрязненных прудов-отстойников и шламонакопителей, очистки систем сточных вод, устьев рек, рыбохозяйственных прудов и т.д.

Город Каменск-Шахтинский, расположенный в Ростовской области, является наглядным примером пагубного воздействия многолетней антропогенной деятельности на прилегающие наземные и водные экосистемы. Строительство предприятий химических промышленности в городе в 50-х годах прошлого века привело к размещению прудов-отстойников и шламонакопителей в пойме реки Северский Донец. Для этого были использованы расположенные там естественные озера. Сброс промстоков в эти озера продолжался до середины 90-х годов, что привело к практически полному уничтожению природных экосистем и превращению техногенных озер в опаснейший источник вторичного загрязнения природы. Фильтрация иловых вод из озер-отстойников привела к образованию ореола сильно загрязненных грунтовых вод [16]. Зона загрязнения распространилась до месторождений подземных пресных вод, активно использующихся для снабжения жителей г. Каменска-Шахтинского питьевой водой.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования было выбрано озеро Атаманское, расположенное в левобережной пойме р. Северский Донец и с начала 50-х годов используемое в качестве резервуара для

Работа выполнена при поддержке гранта в рамках проектной части госзадания №  $5.948.2017/\Pi$ Ч и гранта Президента № МК-2818.2019.5.

<sup>©</sup> В.А. Чаплыгин, Т.В. Бауэр, Г.О. Коркин, Т.М. Хассан, 2020

сброса промстоков завода «Химволокно». Озеро представляет собой подковообразное понижение с кочковатой поверхностью и является высохшей старицей. В настоящее время сброс промстоков в оз. Атаманское уже прекращен, однако оно является вторичным источником загрязнения окружающей среды.

Площадки мониторинга закладывались исходя из целей определения уровня техногенного загрязнения сопредельной к оз. Атаманскому территории. Было заложено 5 площадок, прилегающих к озеру. Площадка мониторинга № 3 является контрольной, так как наиболее удалена от источника загрязнения. Образцы техногенно-трансформированных почв согласно классификации и диагностики почв России (2004) относятся к Хемоземам.

Основным растением, произрастающем на площадках мониторинга является тростник южный (*Phragmites australis* Cav.). Тростник южный является ценозообразователем на территории исследований. Согласно используемой отечественными гидроботаниками экологобиоморфологической классификации водных и прибрежно-водных растений [9], он относится к экологической группе высокотравных гелофитов, или воздушно-водных растений.

Стандартные укосы для определения содержания ТМ проводили на площадках мониторинга во второй половине августа 2016–2018 гг., когда вегетативные и генеративные части растений тростника достигают максимального развития. С каждой площадки мониторинга формировали среднюю пробу из растений, принадлежащих к одному виду. Объединенная проба растений состояла из 8–10 точечных проб. После отбора растения высушивались до воздушно-сухого состояния и измельчались. Корневая и надземная часть перед измельчением отмывалась дистиллированной водой.

Минерализацию проб растений проводили методом сухого озоления по ГОСТ 26657-85. Кислотная экстракция ТМ из золы осуществлялась растворением в 20 %-ном растворе HCl с последующим определением методом AAC [8]. Проведено сопоставление содержания ТМ в исследуемой растительности с максимально-допустимыми уровнями (МДУ) химических элементов в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках [3].

Оценку экологического состояния исследованных почв проводили по величине общего содержания в них ТМ. Общее содержание Мп, Cr, Ni, Cu, Zn, Pb, Cd в почвах определяли рентгенофлуоресцентным методом на спектроскане MAKC-GV. Оценка уровня загрязнения почв ТМ проводилась на основе сопоставления с кларком литосферы [1] и ПДК [4] для общего содержания.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Содержание металлов в поверхностном слое хемоземов составило: для Cr- от 51.4 до 240.5 мг/кг, Ni-80.5-164.8 мг/кг, Mn-222.8-1969.7 мг/кг, Zn-44.1-66075.4 мг/кг, Cu-17.4-408.8 мг/кг, Pb-32.1-2300.6 мг/кг.

Среднее общее содержание элементов можно представить в виде следующего убывающего ряда: Zn > Pb > Mn > Cu > Cr > Ni. Во всех образцах отмечено полиэлементное загрязнение, при котором фиксируются превышения кларков литосферы по Zn - B сотни раз, по Pb - B десятки раз, а для Cu, Ni, Cr и Mn наблюдается превышение B несколько раз. Следует отметить неравномерное распределение концентраций TM по исследуемым площадкам, что связано C «захороненными» очагами загрязнения [16].

При подобном экстремально высоком уровне загрязнения почв, их свойства не могут нивелировать токсическое воздействие на экосистему. Содержание элементов на контрольной, наиболее отдаленной площадке № 3 находится ниже ПДК ТМ принятых для почв (табл. 1). Следует отметить превышение ПДК для большинства ТМ по общему содержанию [4] в почвах площадок мониторинга.

Количество металлов в растениях наиболее удаленной от источника загрязнения контрольной площадки мониторинга  $\mathbb{N}$  3 соответствует среднему содержанию для дикорастущих *Phragmites australis* в пойменных ландшафтах данного региона [17].

Таблица 1. Общее содержание ТМ в техногенных почвах (слой 0–20 см)

района озера Атаманского (2016–2018 гг.), мг/кг.

<b>№</b> площадки	Mn	Cr	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni
1	<b>1277</b> ±105	<b>158</b> ±12	<b>375</b> ±41	<b>66075</b> ±7095	<b>235</b> ±25	4.2±0.2	<b>150</b> ±15
2	436±51	<b>168</b> ±13	<b>147</b> ±14	<b>62032</b> ±5903	<b>1570</b> ±129	3.5±0.6	<b>81</b> ±10
3	222±20	51±5	17±2	44±4	<b>32</b> ±3	$0.30\pm0.01$	н/о
4	<b>1968</b> ±207	<b>134</b> ±16	<b>409</b> ±36	<b>65324</b> ±6010	<b>128</b> ±11	5.2±0.3	<b>165</b> ±16
5	341±30	<b>245</b> ±25	<b>286</b> ±31	<b>40597</b> ±3895	<b>2301</b> ±274	16.0±1.8	<b>145</b> ±13
Кларк литосферы	1000	83	47	83	16	-	58
ПДК	1500	90	55	100	32	0.5	85

Примечание: жирным шрифтом выделено превышение над Кларком литосферы [1] и над ПДК для общего содержания.

По величине абсолютного содержания в растениях ТМ располагаются в следующем порядке: Zn > Pb > Cr ≥ Cu > Ni > Cd. Во всех образцах тростника площадок мониторинга, прилегающих к озеру Атаманскому, установлены превышения МДУ для Zn в 1.6–9.9 и Cr в 2.4–10.4 раза (табл. 2). Для площадки № 5 превышение также диагностируется для Cd (в 4.7 раза) и Pb (в 2.2 раза).

Таблица 2. Содержание ТМ в различных частях тростника на площадках мониторинга в районе озера Атаманского мг/кг

<b>№</b> площадки	Часть тростника	Zn	Cu	Pb	Cr	Ni	Cd
1	стебли	81.9±11.6	1.6±0.2	1.2±0.2	<b>5.2</b> ±0.8	0.5±0.0	0.08±0.01
1	корни	190±27	3.7±0.5	2.0±0.2	<b>2.7</b> ±0.5	2.0±0.1	0.14±0.01
2	стебли	85.0±10.7	1.3±0.2	2.3±0.3	<b>2.4</b> ±0.5	0.6 <b>0</b> ±0.0 <b>3</b>	$0.14\pm0.01$
2	корни	95.7±13.6	3.4±0.5	6.1±0.8	<b>1.9</b> ±0.3	1.1±0.1	0.15±0.02
3	стебли	23.3±4.6	2.7±0.4	1.7±0.2	<b>1.2</b> ±0.2	0.6 <b>0</b> ±0.0 <b>3</b>	0.05±0.01
3	корни	55.4±8.4	4.3±0.7	2.2±0.3	<b>2.0</b> ±0.2	1.2±0.1	$0.08\pm0.01$
4	стебли	265±46	4.1±0.6	4.7±0.6	<b>2.9</b> ±0.3	3.6±0.4	$0.03\pm0.01$
4	корни	272±39	4.0±0.6	4.0±0.6	<b>1.1</b> ±0.1	3.1±0.3	0.21±0.03
5	стебли	494±67	2.0±0.2	11.2±2.0	<b>4.0</b> ±0.5	1.4±0.1	1.40±0.10
3	корни	893±103	1.0±0.1	4.5±0.7	<b>2.5</b> ±0.3	2.5±0.3	0.30±0.01
M	ĮУ	50.0	30.0	5.0	0.5	3.0	0.30

Примечание: жирным шрифтом выделено превышение МДУ для кормовых трав.

Различия в содержании Zn в растениях в условиях минимальной и максимальной техногенной нагрузки, составляют до 38 раз для подземной и до 21 раза для надземной части растений. Количество остальных TM в тростнике соответствует нижней пороговой концентрации этих элементов в растительном корме (табл. 2).

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлены уровни общего содержания и распределения элементов в почвах, прилегающих к импактной техногенной зоне промышленных отстойников сточных вод и шламонакопителей озера Атаманского окрестностей г. Каменска-Шахтинского.

Средние концентрации металлов можно представить в виде последовательно убывающего ряда: Zn > Pb > Mn > Cu > Cr > Ni. Во всех образцах наблюдается полиэлементное загрязнение, при котором обнаружены превышения кларков литосферы по Zn - B сотни раз, по Pb - B десятки раз и по Cu, Ni, Cr и Mn - B несколько раз. Экстремальный уровень техногенного загрязнения не позволяет почвам нивелировать токсичный эффект на экосистему.

По величине абсолютного содержания в растениях тростника южного, ТМ располагаются в следующем порядке:  $Zn > Mn > Pb > Cr \ge Cu > Ni > Cd$ . Наблюдается зависимость содержания металлов в растениях от уровня техногенной нагрузки на почву по общему содер-

жанию ТМ. С повышением концентрации ТМ в почве растет аккумуляция их в растениях. Во всех растительных образцах площадок мониторинга, прилегающих к озеру Атаманскому, установлены превышения МДУ для Zn и Cr.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Виноградов А.П.* 1957. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР. 239 с.
- 2. *Воробейчик Е.Л., Козлов М.В.* Воздействие точечных источников эмиссии поллютантов на надземные экосистемы: методология исследований, экспериментальные схемы, распространенные ошибки // Экология. 2012. № 2. С. 83–91.
- 3. *Временный максимально-допустимый уровень (МДУ)* содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках 123-4/281-8-87 / Государственный агропромышленный комитет СССР; Главное управление ветеринарии. М., 1987.
- 4. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве утвержденные Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 19 января 2006 года.
- 5. *Ильин В.Б., Сысо А.И.* Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва-растение / РАН, Сибирское отделение, ин-т. Почвоведение и агрохимии. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 220 с.
- 6. *Кашин В.К., Убугунов Л.Л*. Особенности накопления микроэлементов в зерне пшеницы в западном Забайкалье // Агрохимия. 2012. № 4. С. 68–76.
- 7. Классификация и диагностика почв России / под ред. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И. 2004. 342 с.
- 8. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 61 с.
- 9. *Полевая геоботаника*. Т. 5. Строение растительных сообществ / под ред. Е.М. Лавренко и А.А. Корчагина. Л.: Наука, 1976. 320 с.
- 10. *Baiseitova, N.M., Sartayeva, J.M.* Phytotoxic action of heavy metals in technogenic pollution. Young Scientist 2., 2014. Pp. 382–384.
- 11. *Bonanno G*. Trace element accumulation and distribution in the organs of *Phragmites australis* (common reed) and biomonitoring applications. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2011. V. 74. P. 1057–1064.
- 12. *Bonanno G.* Comparative performance of trace element bioaccumulation and biomonitoring in the plant species *Typha domingensis*, *Phragmites australis* and *Arundo donax*. Ecotoxic Environ Saf. 2013. V. 97. P. 124–130.
- 13. Fawzy M.A., Badr El-sayed N., El-Khatib A., El-Kassem Abo. Heavy metal biomonitoring and phytoremediation potentialities of aquatic macrophytes in River Nile. Environ. Monitor. Assess. 2012. V. 184. P. 1753–1771.
- 14. Gallego S.M., Pena L.B., Barcia R.A., Azpilicueta C.E., Iannone M.F., Rosales E.P., Zawoznika M.S., Groppa M.D., Benavides M.P. Unravelling cadmium toxicity and tolerance in plants: insight into regulatory mechanisms // Environ. Exp. Bot. 2012. V. 83. P. 33–46. 7.
- 15. *Kumari M., Tripathi B.D.* Efficiency of *Phragmites australis* and *Typha latifolia* for heavy metal. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2015. V. 112. P. 80–86. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.10.034.
- 16. Minkina T., Fedorenko G., Nevidomskaya D., Fedorenko A., Chaplygin V., Mandzhieva S. Morphological and anatomical changes of *Phragmites australis* Cav. due to the uptake and accumulation of heavy metals from polluted soils // Science of the total environment. 2018. V. 636. Pp. 392–401.
- 17. *Minkina T.M.*, *Nevidomskaya D.G.*, *Pol'shina T.N.*, *Fedorov Yu.A.*, *Mandzhieva S.S.*, *Chaplygin V.A.*, *Bauer T.V.*, *Burachevskaya M.V.* Heavy metals in the soil-plant system of the Don River estuarine region and the Taganrog Bay coast // Journal of Soils and Sediments. 2017. Vol. 17. Pp. 1474–1491. DOI 10.1007/s11368-016-1381-x.

- 18. *Motuzova G.V., Minkina T.M., Karpova E.A., Barsova N.U., Mandzhieva S.S.* Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment // Journal of Geochemical Exploration. 2014. 144. P. 241–246. DOI: 10.1016/j.gexplo.2014.01.026.
- 19. *Roy M., McDonald L.M.* Metal uptake in plants and health risk assessments in metal-contaminated smelter soils. Land Degrad. Dev. 2013. http://dx.doi.org/10.1002/ldr.2237.

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

## ACCUMULATION OF HEAVY METALS IN PLANTS OF THE SOUTHERN REED (PHRAGMITES AUSTRALIS CAV.) IN CONDITIONS OF EXTREME TECHNOLOGY POLLUTION

V.A. Chaplygin, T.V. Bayer, G.O. Corkin, T.M. Hassan

Academy of Biology and Biotechnology. D.I. Ivanovsky Southern Federal University, Rostov-on-Don

The study was conducted in the area of industrial sewage and settler's impact of the Kamensk-Shakhtinsky city in the Rostov region. The effect of chemical contamination with high pollutants doses on the heavy metals content in southern cane plants (*Phragmites australis* Cav.) in anthropogenic mesophilic succession was established.

Keywords: chemical soil, anthropogenic load, elements accumulation.

УДК 631.4:549:56.0:561

ТРАНСФОРМАЦИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ И МИНЕРАЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ ПОГРЕБЕННОЙ ПОЧВЫ В ОСАДОЧНЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ТАНЮРЕРСКОЙ СВИТЫ ЮЖНОЙ ЧУКОТКИ

Б.Ф. Апарин $^{1,2}$ , С.Ю. Янсон $^{1}$ , А.А. Грабовский $^{1,2}$ , Е.Ю. Сухачева $^{2}$ , Е.В. Мингареева $^{2}$ , Е.А. Шевчук $^{1,2}$ 

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет

<sup>2</sup>Центральный музей почвоведения имени В.В. Докучаева – филиал ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева»

В статье рассматриваются данные по палеопочвам, минералогии и палеоботанике, полученные в результате изучения материала собранного из маастрихт-раннепалеоценовых отложений танюрерской свиты Южной Чукотки.

Ключевые слова: палеопочвоведение, кероген, минералогия, палеоботаника, палеоэкология.

#### ВВЕДЕНИЕ

Погребенные почвы исследовались в местах находки ископаемого леса Южной Чукотки. Остатки ископаемого леса были обнаружены в бухте Анадырского лимана южнее и восточнее мыса Дионисия [2, 11]. Всего было открыто два местонахождения с вертикально стоящими стволами ископаемых деревьев, погребенных осадочными отложениями танюрерской свиты, которая датируется поздним маастрихтом — ранним палеоценом [1, 2]. Это единственная находка окаменевших деревьев в Арктике, погребенных в местах своего изначального произрастания. Вопрос о принадлежности окаменевших деревьев к какой-либо извест-

Исследования проведены при поддержке ресурсных центров научного парка СПбГУ «Микроскопии и микроанализа» (проект № 112-8199) и «Оптические и лазерные методы исследования вещества» (проект № 113-8345).

Е.Ю. Сухачева, Е.В. Мингареева, Е.А. Шевчук, 2020

<sup>©</sup> Б.Ф. Апарин, С.Ю. Янсон, А.А. Грабовский,

ной ископаемой флоре и характер погребенной почвы имеет принципиальное значение для реконструкции экологических условий произрастания и погребения ископаемого леса.

В последние годы в окрестностях города Анадыря А.А. Грабовским была обнаружена новая, необычная по составу флора, которая не соответствует ни одной из изученных флор Анадырско-Корякского региона. Эта флора, получившая название тэмлянской, имеет некоторое сходство с рарыткинской флорой из верхней части рарыткинской свиты, но отличается от нее большим количеством реликтовых голосеменных [2]. Тэмлянская флора насчитывает 25 видов ископаемых растений. В нее входят печеночники, хвощи, папоротники, плауновидные, цикадовые, гинкговые, чекановскиевые, хвойные и цветковые растения. Хвойные растения являются наиболее разнообразной группой растений тэмлянской флоры. Тэмлянская флора характеризует последние этапы развития и существования реликтовых юрскомеловых таксонов на территории Северной Пацифики. Находка реликтовых групп растений в тэмлянской флоре свидетельствует об особо изолированных климатических условиях, в которых произрастали эти растения на границе позднего мела — раннего палеоцена.



Рисунок 1. Местонахождение с остатками погребенных деревьев, Анадырский лиман, южнее мыса Дионисия. Осадочные отложения, перекрытые базальтами.

Остатки окаменевшего дерева, доступные для исследования, были найдены в нижней части крутого склона, обращенного к лиману, восточнее мыса Дионисия (рис. 1). В результате процессов выветривания осадочных отложений на контакте с атмосферой плотно сцементированные породы на склонах превращаются в рыхлые темно-серые или светлосерые глины свежего облика. Они смываются дождями и талыми водами, что приводит к высвобождению окаменевших деревьев и их разрушению. Сохраняются только центральные и нижние части стволов с корнями. Высота таких стволов в районе исследования составляет от 3-4 до 15 м. Обломки окаменевших деревьев часто встречаются на поверхности прибрежной части лимана. Склон представляет собой обнажение горной породы высотой около 20 м. состоящее из двух слоев. Нижний слой сложен плотной сцементированной буровато-серого цвета осадочной породой, покрытой тонким чехлом рыхлой, вязкой, глинистой массы, толщиной около 3-5 см. Осадочная порода перекрыта массивом темно-коричневого базальта мощностью около 4 м. Внизу осадочная порода резко переходит в подножие склона бухты, на песчаной поверхности которой встречаются обломки окаменевшей древесины буроваточерного цвета. Под тонким слоем песка был вскрыт маломощный насыщенный водой слой породы, обогащенный углистым веществом черного цвета.

Окаменевший обломанный ствол дерева, вертикально стоящий, выступает над поверхностью породы на 30 см (рис. 2). Ствол расположен на стыке осадочной породы двух консистенций (твердой и рыхлой). Боковая часть ствола, обращенная к лиману, погружена в рыхлую осадочную породу. Его противоположная часть образует монолитную толщу с плотной породой. По цвету и текстуре рыхлая и плотная порода являются идентичными.



Рисунок 2. Профиль разреза в древней ложбине стока. Справа вертикальный ствол окаменевшего дерева.

В рыхлых отложениях непосредственно около ствола был заложен разрез размером  $70\times100$  см. Превышение поверхности разреза над уровнем моря составило около 3 м. Расстояние от кромки воды до разреза в период максимального прилива -10 м.

Крупные обломки плотной черной породы ограничили глубину заложения разреза, которая составила 130 см от поверхности скола ствола окаменевшего дерева. В нижней части разреза видно, что ствол раздваивается (рис. 2), а в его правой части хорошо сохранилась окаменевшая ветка. Следует отметить, что это очень редкий случай сохранения ветвей у окаменевших деревьев. Обычно сохраняется только стволы деревьев. Характер сложения нижней части ствола дает основания предположить, что его корни находятся на 100–150 см глубже дна раскопа.

По всей площади разреза на глубине 30 см от поверхности под буровато-серой рыхлой массой был вскрыт горизонт рыхлой вязкой влажной породы черного цвета (рис. 3). С одной стороны разреза рыхлая черная суглинистая порода ограничивалась стволом дерева, а с другой — плотной каменистой породой черного цвета. Черный цвет и структура рыхлой массы подобна сильно гумусированной почве суглинистого состава.

Рыхлый черный материал, заполняющий пространство между стволом и породой, по текстуре не отличается от плотной черной породы. На контакте между ними выделяется маломощный переходный слой по плотности сложения. Можно предположить, что рыхлый материал является продуктом преобразования плотной черной породы.

В разрезе можно выделить, по крайней мере, 3 слоя, различающихся окраской и соотношением породы черного и серого цветов.

На высоте 35 см от поверхности скола ствола тело рыхлой черной породы сужается до 10–15 см и уходит внутрь буровато-серой плотной породы, вероятно, по древней эрозионной ложбине стока. В целом, черная порода (плотная и рыхлая) представляет собой обособленное тело во вмещающей буровато-серой плотной осадочной породе. Плотная каменистая порода

буровато-серого и черного цвета практически не отличается по текстуре и, очевидно, является генетически однотипной. Осадки, под которыми погребен лес, представляют собой однородную буровато-серую с желтоватым оттенком породу с включением рассеянного органического вещества. В ее строении хорошо выделяется каменистое плотное ядро желтоватосерой окраски и покрывающий его тонкий (3–5 см) на контакте с атмосферой чехол рыхлой породы той же окраски, представленный вязкой глинистой массой.

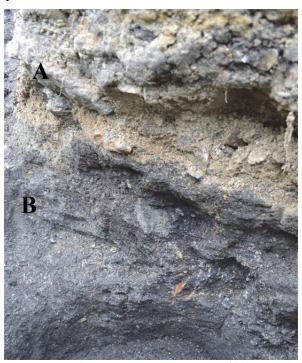


Рисунок 3. Контакт между буровато-серой рыхлой (А) и черной (В) породами.

Анализ особенностей строения осадочных отложений позволил выделить в их геологической истории по крайней мере 3 последовательных этапа (периода) и характерные для них процессы: первый — осадконакопление и погребение леса, второй — окаменение (трансформация) рыхлых отложений в плотные, третий — выветривание окаменевшей породы. Можно предполагать, что именно эти процессы должны найти отражение в минералогическом, химическом и гранулометрическом составах, текстуре осадков, характере погребенного, рассеянного в породе органического вещества и древесине.

Цель исследования выявить доминирующие процессы образования и трансформации осадочных отложений и их маркеры на разных этапах геологической истории.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектами исследованиями являются образцы рыхлых и плотных осадочных пород серого и черного цвета, окаменевшая древесина и рассеянное в породе органическое вещество (ОВ).

Для проведения аналитических исследований состава и свойств были отобраны образцы твердой и рыхлой породы черного и серого цветов на разных глубинах разреза, а также фрагменты окаменевшей ветки дерева.

Изучение строения, минералогического и химического составов образцов проводились методами классической оптической микроскопии, а также электронной микроскопии с микрозондовым анализом. Микроминералогические исследования проводились на оборудовании ресурсного центра СПбГУ «Микроскопии и микроанализа»: сканирующем электронном микроскопе Quanta 200 3D (FEI, Нидерланды) с аналитическим комплексом Pegasus 4000 (EDAX, USA) в режиме отраженных и вторичных электронов. Электронно-зондовый микроанализ выполнен на энергодисперсионном дифрактометре указанного микроскопа в условиях высокого вакуума при ускоряющем напряжении 20 кВ. Изучение рассеянного ОВ также проводилось в ресурсном центре СПбГУ «Оптические и лазерные методы исследования вещества».

Петрографические препараты (шлифы и аншлифы) были изготовлены из ненарушенных и неориентированных крупных агрегатов образцов. Шлифы из окаменевшей ветки древесины были сделаны поперек трахеид.

Исследования рыхлых образцов породы выполнялось по общепринятым методикам: pH водной суспензии потенциометрически [8], гумус по И.В. Тюрину в модификации В.В. Никитина [6], гранулометрический состав определялся седиментационным методом в модификации почвенного института им. В.В. Докучаева [7].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Все образцы представлены полифазными неравномерно-зернистыми породами. Размер обломков не превышает 3 мм. Относительно крупные (2–3 мм) зерна заключены в микрозернистый полиминеральный субстрат (цемент) с размером частиц от нанометров до микрометров. Частицы неоднородны по степени окатанности – от угловатых до средне и хорошо окатанных. Во всех образцах присутствует рассеянное органическое вещество различной формы зерен, размера и количества.

Цемент разнообразный по типу: базальный, поровый, реже контурный, иногда крустификационный.

Основная масса изученных образцов состоит из полевых шпатов и кварца с подчиненным количеством плагиоклаза, вторичных и акцессорных минералов. Вторичные минералы представлены слюдой, альбитом, пирофиллитом, глинистыми минералами группы смектитов, гидроксидами железа. Среди акцессорных минералов в образцах встречаются, главным образом, пирит, циркон, халькопирит, сфалерит, апатит, рутил.

Твердые породы серого и черного цвета имеют схожее строение по плотности сложения и структуре минеральной массы. Основное их отличие заключается в черной окраске, обусловленной рассеянным ОВ. Характерным для них морфологическим признаком являются многочисленные включения минерала белого цвета, менее твердого, чем вмещающая порода. При помещении в воду этот минерал набухает и приобретает студнеобразное состояние; при высыхании он уменьшается в объеме и затвердевает.

Серая порода сложена угловатыми или слегка окатанными зернами (размером до 0.2 мм). Отдельные зерна имеют следы кристаллографической огранки (рис. 4, b). Зерна не соприкасаются друг с другом, цемент базального структурного типа. Межзерновое пространство заполнено вторичными минералами, среди которых встречаются мелкие обломки реликтовых минералов. Вторичными замещениями минералы затронуты слабо. Зерна частично резорбированы.

Железо-содержащие минералы замещены новообразованными гидроксидами железа или органическим веществом. Минералы титана подверглись процессами лейкоксенизации с образованием рутила, кварца и оксидов (гидроксидов) железа. Обнаружены скопления изометричных зерен магнезиоферрита.

Измененные зерна полевого шпата сцементированы кварцево-глинистым цементом с включением мелких обломков разрушенных минералов (полевых шпатов, кварца, слюд). Акцессорные минералы представлены пиритом, цирконом, апатитом, сфалеритом.

Процессы, механизмы и условия образования и трансформации минеральных и органических веществ можно сгруппировать в три этапа.

Первый этап — последовательное формирование осадочных отложений. Вначале была эоловая седиментация, затем началась водная эрозия (водно-суспензионный процесс) за счет ложбинных и ручейковых потоков. Развитие эрозии приводило к разрушению почв и локальному размыву эоловых седиментов. Завершающим процессов первого этапа снова стал эоловый процесс. В результате первого короткого этапа произошло захоронение (погребение) деревьев.

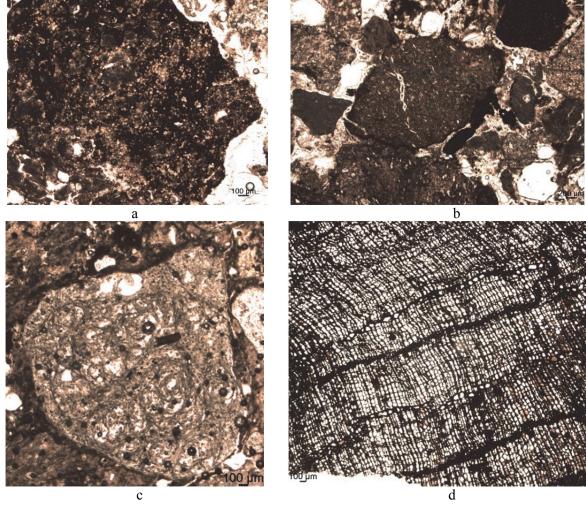


Рисунок 4. Строение органического вещества на петрографических шлифах (пояснение в тексте).

Второй этап — окаменение осадочных рыхлых отложений, включая погребенные деревья и рассеяние ОВ. Окаменение началось после извержения вулкана и перекрытия осадочных отложений потоками базальтовой лавы. Процессы, которые происходили в этот период — сжатие и переуплотнение. Одновременно шли разнообразные процессы:

- трансформация и минерализация органического вещества;
- растворение и разрушение минералов;
- образование новых первичных минералов оксидов железа, кремния и других химических элементов из продуктов трансформации (разрушения) первичных минералов;
  - замещение пустот и порового пространства новообразованными минералами;
- локальное перемещение растворов в результате градиентов температуры, влажности и испарение влаги из порового пространства;
- процессы трансформации калиево-полевых шпатов: альбитизация, серитизация, каолинитизация;
- микробное разложение древесины (целлюлозы, лигнина, дубильных веществ и др.), замещение разрушенных органических соединений кремнеземом, образование новых минералов (пирит, рутил);
- частичная микробная трансформация рассеянного органического вещества (в том числе органо-минеральных комплексов), относительное накопление наиболее устойчивых фракций гумуса гуминов (негидролизуемого остатка).

Эти процессы происходили с разной интенсивностью за весь геологический период (примерно 60 млн лет). Вероятно, масштабы и интенсивность процессов были наиболее значительны в начальный период окаменения и постепенно затухали.

Третий, последний, этап — современное выветривание. Он сопровождается преобразованием окаменевших осадочных отложений, разрушением, механическим перемещением минерального и органического веществ под действием градиентов температур и влажности.

Морфологическое строение OB в породе изучались на основе визуального анализа структурных отдельностей и шлифов.

В образцах твердой породы черного и серого цветов ОВ присутствует в виде включений («зерен») разной формы и размеров, рассеянных среди минеральной массы из первичных и вторичных минералов. На основном фоне поверхности шлифов зерна ОВ при небольшом увеличении (2.5х) выделяются черным цветом и однородной текстурой. Как правило, зерна окружены тонкодисперсным материалом, выполняющим роль цемента. Непосредственных контактов первичных минералов и зерен ОВ встречается очень мало.

При увеличении (10x) крупных зерен OB в черной породе выявляется три типа строения OB:

- 1. Однородное (гомогенное);
- 2. Пестрое: а) с высоким содержанием мелких зерен минералов, но с преобладанием черного OB; б) с преобладанием мелких зерен и черными сгустками OB, образующими сетчатый рисунок (рис. 4, a);
- 3. Пятнистое (на темно-сером фоне выделяются черные пятна разного размера и с диффузными границами). Иногда комбинация серого и черного цветов образует полигональный рисунок.

Сочетание крупных черных зерен OB и первичных минералов создают очень контрастный по цвету рисунок (рис. 4, b).

Крупные минеральные зерна часто имеют очень тонкую пленку темного цвета. Возможно, благодаря черной пленке ОВ, покрывающей минеральные зерна, порода имеет черную окраску, несмотря на относительно низкое содержание ОВ. Соотношение площадей на срезе зерен ОВ и минеральной части соотносится как 1:3 (1:5).

Количество зерен ОВ в серой породе значительно меньше, чем в черной. В ней преобладают мелкие разнозернистые включения ОВ имеющие неправильную угловатую форму. Округлые по форме крупные зерна встречаются редко и по размерам они значительно меньше, чем в черной породе (ЧП). Крупные зерна ОВ погружены в глинистый цемент, а мелкие – чаще рассеяны в тонкозернистой массе. В целом, ОВ рассеяно в массе породы неравномерно. Местами выделяются участки с повышенным содержанием разнозернистого ОВ. На рисунке 4 (а, b) наблюдается гетерогенность породы, состоящей из хорошо обособленных участков, различающихся структурой, степенью дисперсности и размером зерен. В серой породе (СП) присутствуют те же структуры ОВ, что и в ЧП. Выявлено несколько обособленных фрагментов с необычной текстурой рисунка. Один фрагмент представлен поперечным срезом окаменевшего стебля растения (рис. 4, с), на срезе хорошо видна серия концентрических образований, возможно стенок сосудистой системы растений. Другой фрагмент имеет ветвистую форму из узких каналов, заполненных мелкоземом и черными гумусовыми вкраплениями. Он повторяет форму корневой системы растений, замещенную минералами.

Рыхлые образцы горной породы имеют суглинистый гранулометрический состав. Соотношение фракций физического песка (>0.01 мм) и физической глины (<0.01 мм) близко (1/1). В составе физической глины большая доля приходится на илистую фракцию (<0.001 мм). Разница в гранулометрическом составе образцов черной и серой породы в целом незначительная, хотя в черной породе содержание среднего и мелкого песка заметно больше, чем в серой. Применение пирофосфата натрия для диспергирования агрегатов увеличило выход илистой фракции в 2.5 раза, по сравнению с использованием дистиллированной воды при подготовке образца к анализу. Это является косвенным свидетельством о водопрочности микроагрегатов.

Содержание углерода органических соединений (Сорг.) в мелкоземе ЧП варьирует от 0.16 до 0.35 %, а в серой породе Сорг. – не выявлено. В илистой фракции количество Сорг. в образцах СП составило 0.46 %, а в образцах из ЧП 0.98 %. Особенностью рыхлой породы яв-

ляется сильно щелочная реакция водной вытяжки (8.5–9.1). При этом порода при обработке 10 % HCl не вскипала. Высокая потеря при прокаливании во всех образцах связана с особенностями минералогического состава.

В шлифах структура распределения ОВ в рыхлой черной и серой породе по сравнению с плотной имеет существенные отличия. Они проявляются в большем однообразии строения по сравнению с твердой породой. Крупные формы ОВ большей частью дезинтегрированы и более равномерно распределены по всей площади. В светлой породе, размер контуров меньше, чем в черной. Форма их преимущественно вытянутая и имеют струйчатую структуру, границы изрезанные, часто фестончатые. В обоих образцах сохранились редкие крупные зерна ОВ. При увеличении они выглядят в форме хлопьев.

Хорошим доказательством механической дезинтеграции крупных зерен OB в черной рыхлой породе является скопление однородных сгустков черного цвета. Их форма и границы хорошо сопрягаются друг с другом (рис. 5). Количество сгустков OB в ЧП заметно больше, чем в серой.

Исследование шлифа окаменевшей ветки выявило высокую сохранность клеточной структуры при полном замещении растительной ткани минералами кварца. ОВ в окаменевшей древесине частично сохранилось лишь в межклеточных стенках. Характерной особенностью исследуемого шлифа является высокое содержание фрамбоидального пирита (рис. 6).

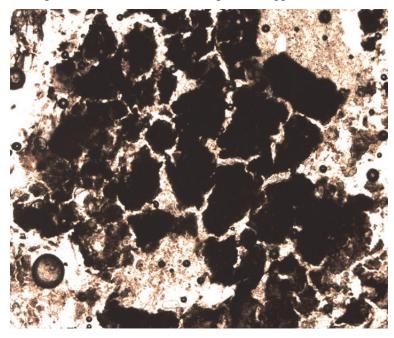


Рисунок 5. Фрагменты крупного зерна органического вещества в рыхлой черной породе.

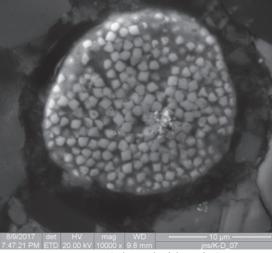


Рисунок 6. Фрамбоидальный пирит (Thromboid pyrite) в окаменевшей древесине.

ОВ в твердых породах находится преимущественно в рассеянном состоянии в виде морфологически обособленных зерен, имеющих разные размер, форму, строение и характер границ. Зерна представляют собой смесь гумусоподобного ОВ с минералами разной степени дисперсности. В рыхлой породе ОВ в основном имеет хлопьевидную форму. Состояние ОВ в твердой и рыхлой породе отличает его от первичных и вторичных минералов. Редкие включения в породу фрагментов растений, частично сохранивших форму и структуру растительных тканей, обнаружены только в рыхлой серой породе.

Природа ОВ рассеянного в твердой породе не ясна. Известно, что ОВ вкрапленное в минеральную массу в осадочных породах относится к керогенам. В настоящее время кероген часто используется для обозначения сингенетичного рассеянного ОВ любого генетического типа. Кероген – это ОВ не растворимое в органических растворителях. Он представляет собой коллоидальные частицы шарообразной формы диаметром от 20–140 мкм. Он образуется из ОВ разного генезиса под воздействием высокого давления и температуры. Химическая структура керогенов определяется главным образом состоянием исходного ОВ и химизмом его преобразования в диагенезе. В настоящее время основными являются три механизма консервации ОВ в породе [9]. Первый механизм связан с процессами деградации – распадом биогенных полимеров и «случайные» конденсации продуктов их распада в новый полимер кероген. Этот тип керогена образуется из водорослевых липидов или ОВ обогащенного липидами. Второй механизм представляет собой «природную вулканизацию» ОВ морского происхождения. Третий механизм сохранения ОВ в осадке называется «селективное сохранение». Он связан с остаточным накоплением наиболее устойчивых к факторам диагенеза органических молекул при деструкции менее устойчивых. Этот тип керогена образуется из разложившихся остатков высших наземных растений [9].

Кероген третьего типа включает в себя в основном конденсированные полиароматические или кислород содержащие функциональные группы (алифатические звенья играют незначительную роль). Кероген третьего типа имеет низкое отношение H/C (меньше 1.0) и высокое отношение O/C (0.2-0.3).

Как правило, разложение органических остатков происходит в субаэральных речных условиях. Их микробиальному разложению препятствует большая скорость накопления осадков и быстрое их захоронение в осадочных толщах континентальных окраин [10]. Отсутствие данных по химическому составу органического вещества в исследуемых образцах не позволяет прямым методом определить его исходное состояние и, тем самым, тип керогена. Однако такую возможность открывает анализ условий формирования осадочных отложений и механизма их образования.

Территория Южной Чукотки в позднем мелу — раннем палеоцене не была однородна в ландшафтном отношении. Помимо вулканов, а также вулканических плато, здесь существовали приморские низменности, предгорные долины и ложбины, которые заселяли древесные растения [2]. Данные полученные по шлифам древесины с мыса Дионисия [2] дают возможность отнести изученную древесину к гаммамелидовым или платановым, а также кипарисовым и сосновым. Вероятно, это был пойменный хвойно-широколиственный лес с доминированием хвойных растений. Погребенный лес занимал периферию дельты реки, переходящий в крутой склон вулканического плато.

Заполнение дельты осадочным материалом и захоронение деревьев было процессом единовременным. Вероятно, захоронение леса произошло в результате эолового переноса мелкозема по направлению от вулкана к дельте реки. В пользу этой гипотезы говорит размер осадочных частиц (меньше 2 мм) и присутствием рассеянного в наносе органического вещества преимущественно в коллоидной форме, а также очень редкие включения мелких слаборазложившихся органических остатков, отсутствие окатанности минеральных зерен и вертикальное расположение стволов, сохранившие боковые ветки.

Судя по характеру органических остатков на дренируемом плато в почвах преобладал дерново-гумусово-аккумулятивный процесс, развивавшийся под травянистой растительностью. Развитию древесно-кустарниковой растительности могла препятствовать повышенная

загазованность атмосферы вблизи территории активной деятельности вулканов, высокое содержание токсичных соединений (возможность кислотных дождей). О сильной загазованности атмосферы свидетельствуют наросты на внешних частях веток и стволов ископаемых деревьев в виде капов. Наросты расположены на внешней стороне веток, которые достигают 2—15 см в диаметре (рис. 7). Наросты образовывались в результате изменения роста камбия, вызванного загазованностью атмосферы из-за близко расположенных вулканов.

Формирование рыхлых осадочных отложений в дельте реки происходило в две фазы. В первую фазу произошло погребение леса эоловым наносом. Вторая фаза связана с процессами водной эрозии, вызванной выпадением жидких осадков. В результате перераспределения поверхностного стока на плато сформировались элементарные водосборные бассейны и эрозионно-ручейковая сеть. В нее поступал почвенный материал, принесенный с поверхностным стоком с водосборной площади.





Рисунок 7. Наросты на двухметровой окаменевшей ветке, мыс Дионисия.

Аккумулированный с большой площади мелкозёмистый водно-эрозионный материал, был по сравнению с дефляционным, больше обогащен органическим веществом и крупными фракциями мелкозема. Еще одним его отличительным признаком, была большая окатанность зерен и их округлая форма. Это подтверждается сравнительным анализом морфологического строения в шлифах черных и серых твёрдых пород.

По ложбинам стока в рыхлой серой породе водно-эрозионный материал переносился к подножию склона, образовывали локальные рыхлые скопления с характерной черной окраской благодаря гумусовым веществам. Гумусовые вещества, покрывающие поверхность песчаных частиц, в совокупности с органоминеральными (гумусово-глинистыми) агрегатами обусловливали черную окраску водно-эрозионного материала. Заложенным разрезом и была вскрыта такая эрозионная ложбина, заполненная черным материалом. Судя по размеру и форме эрозионных ложбин, осадки были не продолжительными. После их прекращения водно-эрозионный материал был погребен под эоловым наносом.

Движение рыхлого мелкодисперсного материала, засыпавшего ископаемый лес, происходило по направлению к северо-востоку со склона вулкана Тэмлян, ныне известного под названием горы Дионисия, находящейся в 10–13 км от места погребения. Формирование рыхлых осадков, засыпавших деревья, закончилось в связи с активизацией вулкана и извержением лавы. Базальтовая лава перекрыла рыхлые осадочные отложения, засыпавшие лес, и доступ в них кислорода и воды. Трансформация рассеянного органического вещества, а также ОВ в стволах древесины проходила в условие высоких температур и давления, при прогрессивной потере в начале капиллярной, затем и физически сорбированной влаги.

Характер изменения погребенного ОВ осадочных пород в коллоидальной форме был принципиально другим, чем в погребенных стволах древесины. Рассеянное ОВ находилось в отложениях в форме гумусово-глинистых комплексов и агрегатов с мелкодисперсными минералами. ОВ погребенной древесины было представлено растительной тканью, состоящей главным образом из целлюлозы и лигнина. Известно, что основным механизмом трансформации ОВ является микробное разложение. В древесине ствола благодаря сохра-

нению водопроводящей системы в течение продолжительного времени могло осуществляться движение растворов. Механизмом поступления химических соединений в ствол были градиенты температуры, давления, влажности и концентрации почвенного раствора на границе ствола и осадочной породы. В результате градиентов из породы в ствол могла поступать вода с растворенными в ней кремниевыми соединениями. Этот процесс мог продолжаться до полной потери капиллярной, а затем и пленочной влаги.

Внутриклеточное органическое вещество, представленное целлюлозой, как менее устойчивое к микробному разложению, в первую очередь, подвергалось разрушению. Освобождавшиеся пустоты заполняли кремнистые растворы. Происходил широко известный процесс замещения растительной ткани кремнием (опалом, халцедоном) с последующим образованием кварца. Поступлению кремнезема в ствол дерева через поры способствовал градиент реакции (кислой внутри древесины и щелочной в окружающем осадке). Кислая реакция внутри ствола создавалась за счет разрушения растительной ткани микроорганизмами, при которой образовывалась углекислота. Разложение оболочки клеток, состоящей из лигнина, и замещение их кремниземом, происходило во вторую очередь, что способствовало сохранению структуры растительных тканей. Процесс трансформации органического вещества в стволе завершился полным окаменением. По литературным данным [4, 5, 10] внутриклеточное замещение ОВ происходит в условиях погребения при высоком содержании воды. Обычно, это происходит при осадконакоплении в широком диапазоне фаций от морских до континентальных, чаще всего, в речных дельтах, руслах и прибрежных морских территориях. В нашем случае, никаких свидетельств избытка воды в осадочной породе нет. Условия и механизм осадконакопления, под которыми был погребен лес, были другими.

Изменения ОВ, рассеянного в породе, было менее существенными. Исходные гумусовые вещества, сорбированные глинистыми минералами, обладают высокой устойчивостью к микробному разложению. В первую очередь это касается гуминов, (негидролизуемой части гумусовых веществ почвы). Их доля может достигать в групповом составе гумуса значительных величин (70 % и более). В погребенных условиях могла усилиться сепарация гумусовых веществ под воздействием микроорганизмов. Менее устойчивые к микробному разложению фракции ФК и ГК подвергались минерализации с остаточным накоплением устойчивой фракции (гуминов). Потеря влаги и, вероятно, высокая температура привели к трансформации гуминов и превращению их в кероген третьей формы. Органическое вещество в результате приобрело твердую консистенцию, так же, как и глинистая порода. Процесс преобразования рассеянных гуминовых веществ в кероген и окремнение растительной древесной ткани завершился в результате потери свободной и физически сорбированной влаги.

Современный этап преобразования осадочных отложений связан с процессами преимущественно физического выветривания в поверхностном слое породы на контакте с атмосферой. Градиенты температуры и влажности являются главным фактором трансформации поверхностных плотных пород в рыхлые. Окаменевшая древесина не была затронута процессам выветривания. Существенные изменения рассеянного ОВ в слое выветривания проявились, прежде всего, в изменение его консистенции и формы. Что касается структуры, то существенных изменений в ней не произошло. Попытка выделить гуминовые кислоты по методу Тюрина не дали результата. Это дает основание предположить, что в составе ОВ преобладают гумины. Помимо прочности связи с глинистыми минералами, устойчивость ОВ к микробному воздействию способствует щелочная реакция почвенного раствора.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Погребение деревьев в осадочной породе танюрерской свиты связано с дефляционными процессами в период активизации вулканической деятельности. На дренированном вулканическом плато преобладал дерновый гумусово-аккумулятивный процесс почвообразования под степной растительностью. Гумусовое вещество, рассеянное в осадочной породе, было представлено группой, в основном, гуминов, устойчивых к микробному разложению. В результате воздействия высоких давлений и температур коллоидная форма гумуса транс-

формировалась в кероген. Органические соединения (целлюлоза, лигнин) в растительной ткани погребенных стволов деревьев были замещены соединениями кремния. Процессы выветривания затрагивали маломощный поверхностный слой плотной осадочной породы. Под воздействием градиента температуры и влажности произошло разрыхление рыхлой породы и дезинтеграция сгустков коллоидных форм гумуса.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Головнёва Л.Б., Грабовский А.А.* Стратиграфическое положение и местонахождения тэмлянской флоры бассейна нижнего течения р. Анадырь // Палеоботаника, 2015. Т. 6. С. 48–67.
- 2. Грабовский А.А. Погребенный позднемеловой-раннепалеоценовый лес из окрестностей Анадырского лимана (Южная Чукотка) // Материалы XIII Региональной молодежной экологической Школы-конференции в усадьбе «Сергиевка»: «Природные и культурные аспекты долгосрочных экологических исследований на Северо-Западе России», 28–29 ноября 2019, СПб, 2019. С. 132–137.
- 3. *Кизильштейн Л.Я*. Внутриклеточные структуры в ископаемых растительных тканях // Докл. РАН. 2002. Т. 383, № 2. С. 230–232.
- 4. Манская С.М., Дроздова Т.В. Геохимия органического вещества. М.: Наука. 1964. 314 с.
- 5. *Манская С.М., Кодина Л.А.* Исследование кремнефицированных растительных остатков // Геохимия. 1968. № 3. С. 355–362.
- 6. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во МГУ, 1981. 272 с.
- 7. Растворова О.Г. Физика почв (практическое руководство). Издательство: ЛГУ, 1983.
- 8. *Теория и практика химического анализа почв*. Под ред. Л.А. Воробьёвой. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
- 9. Тиссо Б., Вельте Д. Образование и распространение нефти. М.: Мир, 1981. 502 с.
- 10. *Хамадиев Р.И., Хасанов Р.Р.* Механизмы и условия замещения минералами кремнезема растительной ткани окаменевшей древесины // Учен. зап. Казан. ун-та. Сер. Естествен. Науки. 2015. Т. 157, кн. 2. С. 118–127.
- 11. *Aparin B., Sukhacheva E., Grabovskiy A.* The buried soils of the roof stratum of the late cretaceous fossil forest in eastern Chukotka // Cryosoils in Perspective: A View from the Permafrost Heartland. Proceedings of the VII International Conference on Cryopedology. Yakutsk, 2017. P. 11–12.

### TRANSFORMATION OF ORGANIC MINERALS OF PALEOSOL IN SEDIMENTARY DEPOSITS OF THE TANYURER FORMATION OF SOUTH CHUKOTKA

B.F. Aparin<sup>1,2</sup>, S.Yu. Janson<sup>1</sup>, A.A. Grabovsky<sup>1,2</sup>, E.Yu. Sukhacheva<sup>2</sup>, E.V. Mingareeva<sup>2</sup>, E.A. Shevchuk<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>St.Petersburg State University

<sup>2</sup>Central Soil Museum by V.V. Dokuchaev FRC V.V. Dokuchaev Soil Science Institute

The article discusses data on paleosol, mineralogy, and paleobotany obtained as a result of studying material collected from the Maastricht-Early Paleocene sediments of the Tanyurer Formation of South Chukotka. The burial of organic matter in the sedimentary rock of the Tanyurer Formation is associated with deflationary processes during the period of activation of volcanic activity. On the drained volcanic plateau of soil formation, a sod humus-accumulative process prevailed under the steppe vegetation. Humic substance dispersed in sedimentary rock was represented by a group of humins resistant to microbial decomposition. As a result of exposure to high pressures and temperatures, the colloidal form of humus was transformed into kerogen. Organic compounds (cellulose, lignin) in the plant tissue of buried tree trunks were replaced by silicon compounds. Weathering processes have affected the thin surface layer of dense sedimentary rock. Under the influence of the temperature and humidity gradient, loosening of loose rock and disintegration of clots of colloidal forms of humus occurred.

Keywords: paleosoil, kerogen, mineralogy, paleobotany, paleoecology.

#### «ДВА ЗАКОНА – ДВЕ НАУКИ»

#### М.К. Захарова, Б.Ф. Апарин, Е.В. Мингареева

Центральный музей почвоведения имени В.В. Докучаева – филиал ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева»

Выставка «Почвоведение – наука химическая» посвящена 150-летию открытия Д.И. Менделеевым периодического закона химических элементов. Она призвана популяризировать знания о почве и привлекать внимание школьников, студентов и молодежи к проблемам сохранения почв как важнейшего природного ресурса. Знакомясь с выставкой, посетители последовательно открывают для себя новые аспекты знаний о составе, строении, свойствах почвы, ее роли в функционировании биосферы и жизни человека. Выставка привлекает внимание к глобальным проблемам современности. Среди них – обеспечение продовольственной и экологической безопасности почв.

Ключевые слова: наука, выставка, почва, химический закон, химия, почвоведение.

2019 год был провозглашен Генеральной ассамблеей ООН Международным годом Периодической таблицы химических элементов (International Year of the Periodic Table of Chemical Elements – IYPT 2019) [10]. В России было проведено более 500 научно-популярных и образовательных мероприятий, посвященных 150-летию выдающегося открытия Д.И. Менделеева [11].

С 25 февраля по 2 марта 2019 г. в Санкт-Петербургском государственном университете (СПбГУ) и в Центральном музее почвоведения им. В.В. Докучаева (ЦМП) состоялась Международная научная конференция XXII Докучаевские молодежные чтения «Почва как система функциональных связей в природе». Чтения были посвящены 150-летию открытия Д.И. Менделеевым «Периодического закона химических элементов».

В Центральном музее почвоведения им. В.В. Докучаева была разработана и открыта выставка «Почвоведение – наука химическая», призванная популяризировать знания о почве и привлекать внимание школьников, студентов и молодежи к проблемам сохранения почв как важнейшего природного ресурса (рис. 1).







Рисунок 1. Открытие выставки «Почвоведение – наука химическая».

Научная концепция выставки была разработана научным руководителем ЦМП им. В.В. Докучаева, профессором, д.с.-х.н., Б.Ф. Апариным совместно с м.н.с. М.К. Захаровой. В насыщении выставки материалами также принимали участие научные сотрудники Музея: Ю.Р. Тимофеева, М.А. Лазарева, Е.В. Мингареева, Е.В. Пятина. Художественное оформление выставки выполнил А.Д. Жданов, член Санкт-Петербургского Союза дизайнеров.

Выставка имеет модульную структуру. Двигаясь последовательно, посетитель открывает для себя новые аспекты о составе, строении, свойствах почвы, ее роли в функционировании биосферы и жизни человека. Она состоит из 4-х блоков по 12-и тематическим разделам:

- 1 блок: темы «От A до Я», «Два закона две науки», «Химический портрет»;
- 2 блок: темы «Минералогический музей», «Кровь ландшафта», «Вдох выдох»;
- 3 блок: темы «Таинственная субстанция», «Пропитана жизнью», «Хлеб плодородия»;
- 4 блок: темы «Почва жизнь», «Будем жить», «Посланники прогресса».

Выставка открывается темой «Два закона – две науки». Она раскрывает вклад двух великих русских ученых Дмитрия Ивановича Менделеева и Василия Васильевича Докучаева в развитие естествознания [2]. Д.И. Менделеев, открыв 150 лет назад периодический закон химических элементов, не только заложил фундаментальные основы химии, но на многие десятилетия определил ее развитие. Спустя всего 15 лет В.В. Докучаев сформулировал основной закон естествознания — закон всеобщей функциональной связи в природе и создал новую науку — почвоведение. Он доказал, что почва — это самостоятельное природное тело, качественно отличающееся от всех иных тел природы, находящейся в центре современного учения «о соотношениях между так называемой живой и мертвой природой» [1] (рис. 2). Он открыл новую форму движения материи — почвообразование.



Рисунок 2. Генетическая закономерная связь в природе [1].

Закон всеобщей функциональной связи в природе (рис. 4) соответствует, по сути и по рангу периодическому закону химических элементов Д.И. Менделеева. Оба эти закона обладают предсказательной функцией. В 1869 г. было известно 63 химических элемента. За последние 150 лет, благодаря периодическому закону, были открыты 55 элементов: галлий (Ga), скандий (Sc), германий (Ge) и другие, благородные газы, природные и искусственно полученные радиоактивные элементы. Закон функциональной связи в природе позволил В.В. Докучаеву создать почвенную карту Северного полушария планеты задолго до первых исследований почв высоких широт.

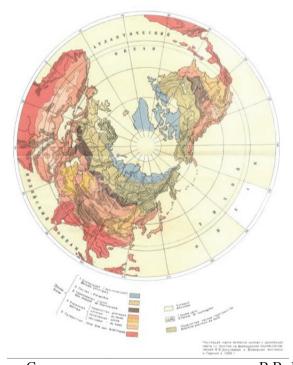


Рисунок 3. Почвенная карта Северного полушария, составленная В.В. Докучаевым в 1899 г. [6].

Связи между климатическими ареалами и генетическими типами почв (рис. 3), установленные В.Р. Волобуевым, являются ярким подтверждением действенности Докучаевского закона [4].

Датой основания науки о почве считается 11 декабря 1883 года – день защиты Докучаевым его научной работы «Русский чернозём». Оппонентами докторской диссертации были Д.И. Менделеев и А.А. Иностранцев. Вот оценка Менделеевым научного труда Докучаева: «Это не только вклад, за который Вам скажут спасибо в настоящем и будущем практические люди земли и государственники, но и честь понимания научных основ того строя, в котором живет Россия». В скупых фразах Менделеева отношение к Докучаеву как к равному: «Очень умный и знающий человек, славный товарищ»; «Действуйте спокойно ради любящих Вас и науки». Для Докучаева Д.И. Менделеев – «великий химик и мыслитель», «деятельнейший доброжелатель, дальновидный и мощный друг земледелия», «дорогой и знаменитейший на земле учитель» [1].

К концу 19 века, в значительной мере благодаря работам В.В. Докучаева и Д.И. Менделеева, сформировалось самостоятельное научное направление в почвоведении – химия почв (рис. 4) [1]. Выдающийся вклад в создание фундаментальных основ химии и химического анализа почв принадлежит К.К. Гедройцу.

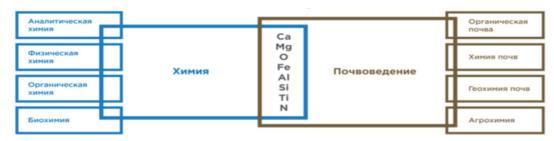


Рисунок 4. Связь наук.

Тема «От А до Я» посвящена химическим элементам в почвах различного генезиса. Химические элементы в них находятся в разных формах: в составе органического вещества, кристаллической решетке первичных и вторичных минералов, в органоминеральных соединениях, новообразованиях, в ионной форме — в почвенных растворах или в составе почвенного поглощающего комплекса.

Большое число химических элементов — первая особенность почв. Вторая состоит в высоком содержании углерода органических соединений и кремния, что связано с влиянием растительности и живых организмов на почвообразующие породы. Третья особенность почв заключается в значительном диапазоне колебаний концентраций химических элементов.

В почве содержатся практически все элементы таблицы Менделеева. В ней преобладают ( $\Sigma > 99$  %): О, Si, Fe, Ca, Mg, Al, C, K, Na, Ti, Mn, N, P, S. Элементы Ba, Sb, B, Rb, Cu, V, Cr, Ni, Co, Li, Mo, Se и др. содержатся в макроколичествах ( $\Sigma < 1$  %) [7].

В почвах протекают очень сложные химические процессы (гумификация, оподзоливание, оглеение, осолодение и другие). В результате этих процессов при различном сочетании факторов почвообразования (горных пород, климата, рельефа, живых организмов и времени) формируются почвы с различным химическим составом и свойствами. На планете преобладают (57 %) кислые (рН=4–6) сиалитные и алитизированные почвы.

Почва это 4х фазная (компонентная) система. Второй блок выставки знакомит посетителя с составляющими ее твердой, жидкой, газообразной фазами. Твердая фаза почвы представлена минеральной матрицей — рыхлым пористым телом из первичных и вторичных минералов (скелета почвы).

Почва является своего рода «минералогическим музеем». Чтобы увидеть разнообразие минералов необходимо изготовить очень тонкие срезы почвы — шлифы, освободить первичные минералы от покрывающих их пленок из глинистых минералов, гумуса и оксидов железа. Минералы — это структурированные комбинации химических элементов (рис. 5). В большинстве почв преобладают кварц, полевые шпаты, плагиоклаз, слюды, каолинит монтмориллонит, смешаннослойные глинистые минералы.



Рисунок 5. Минералы в почвах и их структурные формулы.

Поровое пространство минеральной матрицы почвы занимают «антагонисты» — вода и воздух. Чем больше в почве содержится воды, тем меньше воздуха. От их соотношения зависят окислительно-восстановительные процессы, которые играют важную роль в формировании «химического портрета» почвы.

По образному выражению В.В. Докучаева, почвенная влага — это своего рода кровь ландшафта. Почвенные капилляры и водотоки образуют единую кровеносную систему ландшафта (рис. 6).



Рисунок 6. Карта речной сети Ленинградской области.

Почвенный раствор, подобно крови, двигаясь по почвенным капиллярам, доставляет разнообразные химические элементы их основным потребителям (растениям, микроорганизмам, беспозвоночным и позвоночным животным). На рисунке 14 для сравнения представлены 2 круговые диаграммы химического состава почвенных растворов подзолистой почвы и чернозема и 3 вертикальные диаграммы химического состава водной вытяжки из почв — бурой почвы, такыра и солонца (рис. 7). Они показывают разнообразие химического состава почв различных типов.

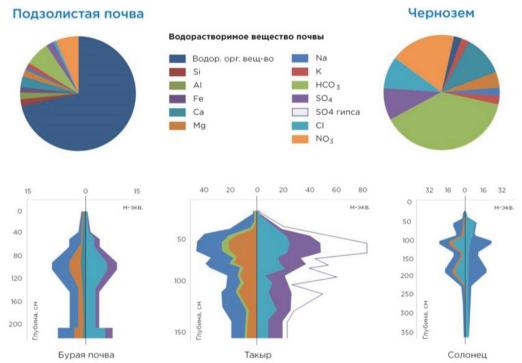


Рисунок 7. Химический состав некоторых почвенных растворов.

Почва, являясь глобальным звеном влагооборота, поглощает атмосферные осадки, отдавая часть из них поверхностным и грунтовым водам.

Почвенная влага (12 %) является частью поверхностной и атмосферной воды. В свою очередь, поверхностная и атмосферная составляет 1 % от общих запасов пресной воды. Всего же на долю пресной приходится лишь 3 % от общего объема воды на планеты.

Тема «Вдох — Выдох» посвящена газовой составляющей почвы. Почвенный воздух — смесь газов, находящихся в постоянном взаимодействии с атмосферой. Его состав и содержание связаны с жизнедеятельностью растений, животных, микроорганизмов, обменом с жидкой, твердой фазами и органическими веществами почвы, а также с газами, поступающими из глубоких слоев литосферы (эманация газов).

В процессе своеобразного «вдоха» почва поглощает из прилегающих слоев атмосферы кислород  $(O_2)$  и небольшое количество углекислого газа  $(CO_2)$  а в процессе «выдоха» выделяет углекислый газ  $(CO_2)$ , оксид азота  $(N_2O)$ , аммиак  $(NH_3)$ , метан  $(CH_4)$ , сероводород  $(H_2S)$  и другие газы. Концентрация  $O_2$  и  $CO_2$  в почвах может изменяться в очень широком диапазоне:  $O_2$  — от 0.05 до 21 %,  $CO_2$  — от 0.03 до 20.0 %. Основные потребители кислорода и продуценты углекислого газа в почве — корни растений, микроорганизмы и почвенные животные. При содержании кислорода менее 15–17 % у растений наблюдаются признаки кислородного голодания.

Современный состав атмосферы в значительной мере является результатом дыхания почв в бесконечных циклах почвообразования на разных этапах геологической истории.

Вклад почв в глобальную эмиссию углекислого газа среди техногенеза, океанов, животных и растений составляет 33 %, в эмиссию метана, также, 33 %, в эмиссию оксида азота – 73 % [8] (рис. 8). Среди почв лидеры по эмиссии метана – почвы торфяных болот и рисовых плантаций.

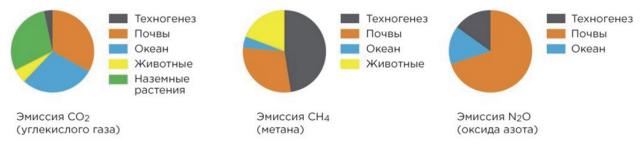


Рисунок 8. Относительный вклад почв в глобальную эмиссию парниковых газов.

По меткому выражению В.И. Вернадского, ученика Докучаева, почва пропитана жизнью. В словах ученого заложено понимание сущности почвы как биокосного тела – единства живой и неживой материи. Докучаев говорил: «Попробуйте вырезать из целинной древней степи кубик почвы, увидите вы в нем больше корней, трав, ходов жучков, личинок, чем земли. Все это бурлит, сверлит, точит, роет почву, и получается несравнимая ни с чем губка». Население почвы чрезвычайно разнообразно. В здоровой почве обитают: позвоночные животные, дождевые черви, нематоды, клещи, насекомые, сотни видов грибов, тысячи видов бактерий и актиномицетов. Его обитатели образуют биопедоценоз (устойчивые сообщества) со своими характерными особенностями взаимоотношений в каждом типе почв (рис. 9, 10).



Рисунок 9. Количество живых компонентов, содержащихся в 1 г почвы. Рисунок 10. Доли химических элементов в живызх организмах.

Основу многих почвенных процессов составляют органо-минеральные взаимодействия. Большая роль в них принадлежит сообществу микроорганизмов. Ученые подсчитали, что в одной чайной ложке здоровой почвы живых организмов больше, чем людей на планете Земля.

Исследование метагенома почв является актуальным и перспективным направлением не только для науки о почве, но и для естествознания в целом. Для наглядного восприятия приведена упрощенная схема исследования микробиома почв и получаемый результат (метагеном чернозема и микробиом гумусовых горизонтов естественных и городских почв) (рис. 11).

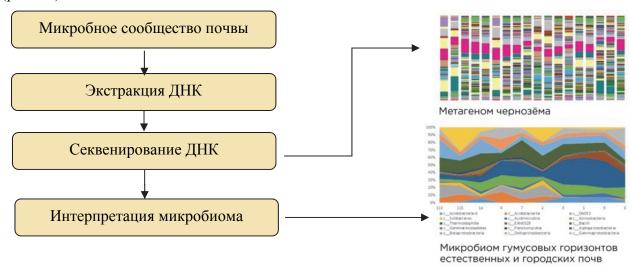


Рисунок 11. Исследование микробиома почвы.

Почвенный гумус (главный показатель богатства и плодородия почвы) по причине своей сложной организации и недостаточной изученности представлен на выставке как «Таинственная субстанция». Роль гумуса в жизни биосферы настолько многогранна и значима, что ученые выделяют особую гумусовую оболочку планеты — гумосферу. С гумусом связаны разнообразные функции почв: аккумуляция энергии и элементов питания растений, регулирование теплового режима, формирование почвенной структуры и улучшение воднофизических свойств почвы, биопротекторная и физиологическая функции [5]. Какие еще возможности таит в себе эта «таинственная субстанция» ученым еще предстоит раскрыть. Что мы знаем о гумусе? Это сложнейший продукт почвообразования, совокупность живой биомассы и органических остатков растений, животных, микроорганизмов, продуктов их метаболизма и специфических новообразованных органических веществ почвы.

Строение молекулы гумуса очень сложное. На рисунке 12 в узлах объемной модели заключены химические элементы (углерод, кремний, сера, азот, кислород, фосфор, водород, металлы.



Рисунок 12. Молекула гумуса. Структурная модель.

Почвы в разной степени обеспечены гумусом. Самая богатая гумусом почва — чернозём. По Докучаеву чернозем для России дороже всякой нефти, всякого каменного угля, дороже золотых и железных руд; в нем — вековечное неистощимое русское богатство.

Все глобальные проблемы современности (энергетическая, сохранение биоразнообразия, качества воды и др.) в той или иной мере взаимосвязаны с состоянием почв и их использованием. Наиболее острая проблема, стоящая в настоящий момент перед человечеством — обеспечение продовольственной безопасности. Чтобы накормить растущее население планеты продовольствием (рис. 13) к 2050 году потребуется удвоить и даже утроить производство сельскохозяйственной продукции.

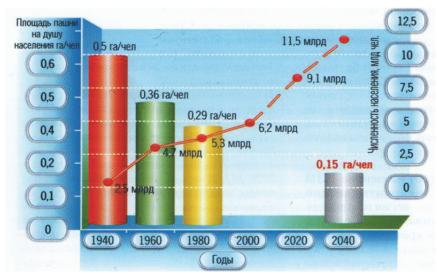


Рисунок 13. Рост населения и снижение площади пахотных земель на человека.

В сельскохозяйственных растениях, содержится более 70 химических элементов. Углерод, водород и кислород поступают в растения в основном из атмосферы, все остальные элементы — из почвы. На разных стадиях роста культурные растения предъявляют различные требования к содержанию химических элементов в почвах (табл. 1).

Таблица 1. Потребность растений в химических элементах на разных стадиях развития [3].

Стадии роста						
Прорастание семян и	Вегетативный рост	Цветение и завязыва-	Плодоношение и под-			
начало роста	Встстативный рост	ние плода	готовка к зиме			
Микроэлементы, необходимые для поддержания роста						
Fe, Zn, Mn	Fe, Zn, Mn, Cu, B	Fe, B	Cu, Mo, B			

Негативное влияние на состояние растения оказывает не только недостаток, но и избыток химических элементов.

Выставка завершается обращением к Человеку о необходимости сохранения почв как основы жизни на Земле. Почва, благодаря своим уникальным свойствам выполняет множество различных функций [12, 13]. В XVI веке лучше всего значение почвы поэтическим языком выразил Уильям Шекспир [9]:

<Земля – праматерь всех живых пород – Их производит, их и погребет. Все, что на ней, весь мир ее зеленый Сосет ее, припав к родному лону. Среди пород нет лишней и пустой, Все с чем-нибудь, и все на свой покрой. Какие поразительные силы Земля в каменья и цветы вложила! На свете нет такого волокна, Которым не гордилась бы она, Как не отыщешь и такой основы, Где не было бы ничего дурного. Полезно все, что кстати, а не в срок Из блага превращается в порок.>

В настоящее время на земле обрабатывается около 1.4 млрд га (11 % суши). Пахотнопригодные почвы суши занимают только 22 % (рис. 14). На сельскохозяйственные непродуктивные земли приходится 33 %. Доля природно-непригодных для земледелия территорий составляет 19 %. Доля антропогенно-нарушенных земель составляет 15 % суши, то есть больше, чем используется в земледелии.

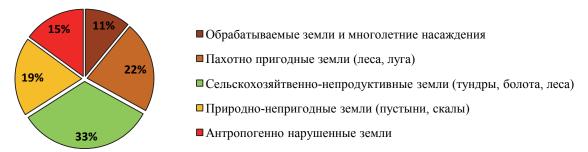


Рисунок 14. Земельный фонд планеты.

Темпы потерь продуктивных земель неуклонно возрастают. Ежегодно теряется около 6 млн га пахотных земель. Резерв продуктивных земель в большинстве стран практически исчерпан. Помимо отчуждения пахотных земель стремительно теряются земли в результате роста городов и их инфраструктуры.

Особое значение и вес в последние годы приобретает загрязнение почв. «Посланники прогресса» — тяжелые металлы и радионуклиды, основными источниками которых являются химизация сельского хозяйства, промышленность, транспорт, ядерная энергетика попадают в почвы, поглощаются корневой системой растений и проникают в стебель, листья, цветы и плод. Защита почв от химической деградации необходима для стабильного будущего и обеспечения продовольственной и экологической безопасности населения.

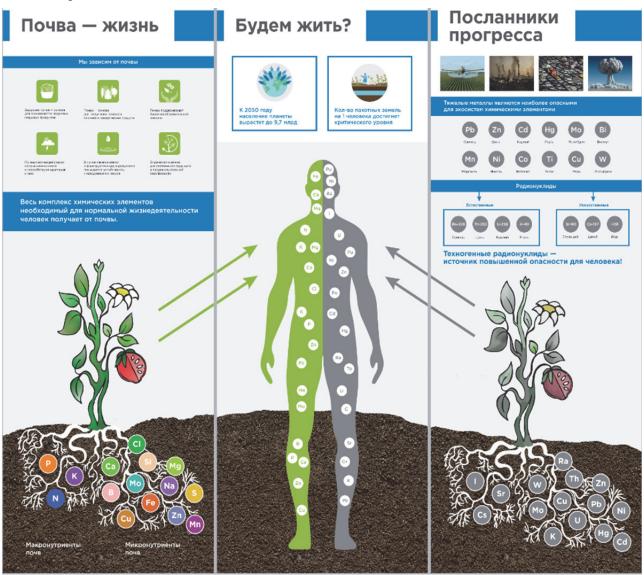


Рисунок 15. Обращение к человеку: «Будем жить?».

Четвертый блок посвящен человеку. Весь комплекс химических элементов необходимый для нормальной жизнедеятельности он получает из почвы. На рисунке 15 на теле человека значки химических элементов, приуроченные к внутренним органам или тканям тела по принципу необходимости или наибольшего влияния на их функционирование. В левой половине тела представлены химические элементы, поглощаемые из здоровых пищевых продуктов, выращенных на чистой почве, в правой – тяжелые металлы и радионуклиды, поступившие из зараженной.

Человечество стоит перед выбором: «крепко стоять на ногах» на здоровой почве или балансировать на грани выживания.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1. Апарин Б.Ф. Докучаевская парадигма естествознания. М.: Триз-Профи, 2006. 23 с.
- 2. *Апарин Б.Ф.* Ученик Менделеева, учитель Вернадского // Триз-профи: эффективные решения, 2007, № 2. с. 169–179.
- 3. *Вавилов.* П.П., Гриценко В.В., Кузнецов В.С. и др. Растениеводство / Под ред. П.П. Вавилова. 5-е изд. перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 512 с.
- 4. Волобуев В.Р. Введение в энергетику почвообразования. М.: Наука. 1974. 128 с.
- 5. Добровольский Г.В., Никитин Е.Д. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв). М.: Наука, 1990. 261 с.
- 6. Докучаев В.В. Сочинения: в 9 томах //М.: Изд-во Академии Наук СССР. 1949–1961.
- 7. *Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И.* Химия почв. М.: Высшая школа, 2005. 558 с
- 8. Смагин А.В. Газовая фаза почв. М.: Изд-во Московского государственного университета, 2005. 301 с.
- 9. Шекспир В. Ромео и Джульетта. Перевод Пастернака Б.И. Л.: Художественная литература, 1983.
- 10. International Year of Periodic table Международный год Периодической таблицы химических элементов. Официальный сайт: https://www.iypt2019.ru/. (дата обращения 15.01.2019)
- 11. *International Year of Periodic table* Международный год Периодической таблицы химических элементов. Официальный сайт: https://www.iypt2019.ru/. Раздел мероприятий (дата обращения 05.03.2019)
- 12. Lal R., Horn R., Kosaki T. (eds.) Soil and Sustainable Development Goals. Stuttgart: Catena-Schweizerbart. 2018.
- 13. *Lefèvre C. et al.* Soil organic carbon: the hidden potential. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2017. 77 p.

#### «TWO LAWS - TWO SCIENCES»

M.K. Zakharova, B.F. Aparin, E.V. Mingareeva

Central Soil Museum by V.V. Dokuchaev FRC V.V. Dokuchaev Soil Science Institute

The exhibition «soil science is chemical science» is dedicated to the 150th anniversary of the discovery of the periodic law of chemical elements by D.I. Mendeleev. It is intended to popularize knowledge about soil and to draw the attention of schoolchildren, students and young people to the problems of soil conservation as the most important natural resource. Getting acquainted with the exhibition, visitors consistently discover new aspects of knowledge about the composition, structure, properties of the soil, its role in the functioning of the biosphere and human life. The exhibition draws attention to the global problems of our time. Among them – ensuring food and environmental safety of soils.

Keywords: science, exhibition, soil, chemical law, chemistry, soil science.

#### НОВОЕ ПРОЧТЕНИЕ

### (РЕЦЕНЗИЯ НА МОНОГРАФИЮ «ПОЧВЫ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ» / В.В. ЛАПА [И ДР.] – МИНСК: ИВЦ МИНФИНА, 2019)

Б.Ф. Апарин

Центральный музей почвоведения имени В.В. Докучаева – филиал ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева»

Санкт-Петербургский государственный университет

В статье дается краткий анализ содержания монографии «Почвы Республики Беларусь», опубликованной в 2019 году в Минске. Книга представляет собой синтез главных достижений научной мысли в области теоретического и прикладного почвоведения. Она представляет собой новое прочтение накопленных за последние 40 лет в области генетических исследований почвенно-картографических и земельно-оценочных работ. Публикация «Почвы Республики Беларусь» вызовет интерес у специалистов и ученых разного естественно-научного профиля, а также у практиков, постоянно работающих на земле.

Ключевые слова: почвы Беларуси, деградация, оценка почв, агрогенная трансформация почв.

В 2019 году в научном сообществе почвоведов произошло знаменательное событие: вышла в свет монография «Почвы Республики Беларусь». Она подготовлена коллективом ученых института почвоведения и агрохимии (БелНИИПА), последователей выдающихся представителей Белорусской научной школы почвоведения: Я.Н. Афанасьева, П.П. Рогового, А.Г. Медведева, Т.Н. Кулаковской, Н.И. Смеяна. Следует отметить, что институт с 1931 года осуществляет научно-методическое обеспечение всей совокупности почвенных и агрохимических мероприятий для аграрного комплекса страны.

Эта публикация представляет интерес в двух аспектах не только для почвоведов и специалистов Беларуси, но и для почвоведов других научных школ, составлявших в недавнем прошлом единое сообщество ученых одной страны. Для большинства республик, входивших в состав СССР, прошедшие 30 лет стали периодом ломки устоев государственной системы землепользования, управления почвенными ресурсами и плодородием на основе регулярного агрохимического обследования почв. Последствием этого стало уменьшение площадей сельхозугодий, нарушение севооборотов, сокращение доз минеральных и органических удобрений, обострение деградационных процессов в почвах, падение их плодородия. Опыт Беларуси интересен тем, что в ней не произошло коренного переустройства в системе землепользования и управления почвенным плодородием. В республике сохранилась тесная взаимосвязь между производителями научных знаний и их непосредственным потребителем — земледельцами.

В рассматриваемой монографии прослеживается преемственность и традиции строго научного обобщения и интерпретации экспериментальных данных, свойственные двум предшествующим монографиям, посвященным почвам БССР (1952 г., 1974 г.). За последующие 40 лет в республике были проведены разносторонние фундаментальные и прикладные исследования почв, различным аспектам которых посвящено около двух десятков монографий. Характерной особенностью последней монографии является глубокий синтез главных достижений научной мысли в области теоретического и прикладного почвоведения.

Обобщать ученым института было что. С 1960 года, когда началось крупномасштабное исследование земель колхозов и совхозов, было проведено 13 туров обследования почв. В настоящее время все почвы сельхозугодий обследуются с периодичностью 1 раз в 4 года по следующим параметрам: степень кислотности, содержание гумуса, подвижных форм фосфора, калия, меди, бора, цинка, кальция, магния, а также цезия-137 и стронция-90.

В республике регулярно проводится известкование почв и внесение органических и минеральных удобрений. В целом, обеспечено постепенное улучшение агрохимических по-казателей пахотных почв, несмотря на уменьшение доз минеральных (до 150 кг/га д.в.) и ор-

© Б.Ф. Апарин, 2020

ганических удобрений (до 6.3 т/га) в период с 1991 по 2005 гг. К 2015 году дозы минеральных удобрений несколько превысили уровень 1990 г. и составили 263 кг/га д.в. За последние 40 лет кислотность снизилась в 1.1 раза, содержание гумуса возросло в 1.3 раза, подвижных форм фосфора и калия — в 1.9 и 2.1 раза, соответственно. Как следствие, урожайность зерновых и зернобобовых достигла 26.5 ц/га, картофеля около 400 ц/га. На сельскохозяйственные земли приходится 41.0 % от общего земельного фонда Республики. Беларусь входит в число первых 20 стран мира по величине доли пахотных земель на одного человека — 0.60 га. Учитывая стабильную урожайность сельскохозяйственных культур за последние годы, Беларусь в условиях нарастающего продовольственного кризиса обеспечила не только свою продовольственную безопасность, но и стала донором сельхозпродукции.

В этом успехе несомненен вклад сельскохозяйственной науки и в значительной мере БелНИИПА. Рецензируемая монография является хорошим подтверждением данного тезиса. Вопросами научного обеспечения с.-х. посвящено 4 из 8 глав монографии. В главе 3 рассматривается качественное состояние почв с.-х. земель республики. С 1995 г. произошло сокращение с.-х. земель на 837 тысяч гектар. Эти изменения произошли в результате оптимизации землепользования сельскохозяйственных организаций. Земли, оцениваемые величиной менее 20 баллов, были изъяты из сельскохозяйственного оборота и переданы лесохозяйственным и другим землепользователям. За последние 60 лет лесистость увеличилась почти вдвое и достигла максимальных значений за более чем столетний период (42.3 % земельного фонда).

В структуре с.-х. угодий преобладают пахотные земли – 67.4 %. На долю луговых приходится 31.2 %. Удельный вес осущенных с.-х. земель составляет около 40 %, в том числе земли, осущенные закрытым дренажем, составляют 65 %. Мелиоративные системы с двусторонним регулированием водного режима занимают 22 %. В компонентном составе почвенного покрова пахотных земель около 440 почвенных разновидностей, преобладают дерновоподзолистые (47 %) и дерновоподзолистые заболоченные (40.5 %). На долю торфяноболотных, дерновых и дерново-карбонатных заболоченных приходится около 10 %.

В республике проведены работы по оцифровке почвенных карт крупномасштабного картографирования сельскохозяйственных земель (1:10 000), создана и постоянно пополняется данными единая Почвенно-информационная система, ведутся работы по экспертной геоинформационной системе, соединяющей в себе базу данных характеристик почв и базу знаний по оптимизации условий возделывания сельскохозяйственных культур.

Важным результатом исследований ученых стала разносторонняя оценка качества почв сельхозугодий по многим параметрам их плодородия: увлажненности, завалуненности, контурности, агрохимическим показателям (NPK, pH, гумус, микроэлементы).

Обобщение и синтез материалов крупномасштабного картографирования почв выявил различные деградационные процессы на с.-х. угодьях: заболачивание, частичную или полную сработку органогенного слоя осушенных торфяных почв, погребение гумусового горизонта, потерю поглощенных оснований. В наибольшей мере деградационные процессы проявились в торфяных почвах. Всего процессы негативной антропогенной трансформации почв отмечены на 3.3 % от с.-х. угодий. Были исследованы причины и механизмы деградации почв и разработаны рекомендации по их предотвращению.

Агропроизводственная группировка почв для с.-х. целей сохраняет важное место в оценке почв (Глава 7). Первая группировка была создана в 1960 году. В ней было выделено 11 агрогрупп. По мере накопления знаний о почвах число агрогрупп увеличилось. Последующие работы по совершенствованию разделения почв на агрогруппы привело к созданию специализированных группировок по их пригодности для возделывания отдельных культур, а также для организации и введения севооборотов в хозяйствах. В качестве показателей степени пригодности под культуры (4 степени) были выбраны: тип почв, степень увлажнения, гранулометрический состав почв, материнской и подстилающих пород, эродированность, завалуненность и кислотность. Группировки почв, выполненные для территории всей республики и отдельных хозяйств, находят применение для целей планирования посевных площадей, при выращивании культур по полям севооборотов и т.д.

Завершается блок исследований по агропроизводственной характеристике почв материалами по оценке земель в условных единицах (Глава 8). Теория бонитировки в республике развивалась эволюционно по мере накопления новых знаний о почвах, реформирования в сельском хозяйстве и изменения земельных отношений. Основой оценки плодородия почв является шкала оценочных баллов, объективно отражающих их плодородие при возделывании различных с.-х. культур. Современная шкала балльной оценки включает 332 почвенных разновидностей по 16 с.-х. культурам. Баллы плодородия почв могут использоваться самостоятельно, а также служить основой для оценки технологических свойств и местоположения рабочих участков, оценки земли как средства с.-х. производства. Обобщающими показателями качества земельных участков являются дифференцированный и нормативно чистый доход, общий балл кадастровой оценки земель и её кадастровая стоимость.

Центральное место в монографии как по объему (378 с.), так и по информативной насыщенности занимает пятая глава, посвященная агрогенной трансформации состава и свойств основных типов почв с.-х. земель. Глава насыщена огромным количеством фактического материала, полученным в результате применения арсенала полевых и лабораторных исследований почв и процессов, статистической обработки данных всех туров агрохимического обследования земель. Несомненным достоинством оценки динамики почв является опора на фундаментальные исследования генезиса почв, их состава и свойств, почвообразующих процессов.

Характер и тренды агрогенной трансформации почв оценивались по оригинальной методике, разработанной в Институте почвоведения и агрохимии. Она состоит из нескольких разделов:

- Создание рядов основных типов пахотных почв разных сроков освоения и их естественных аналогов.
- Расчет среднестатистических величин свойств естественных и пахотных почв и установление генетических критериев, отражающих эти изменения.
- Определение величин отклонений свойств пахотных почв по сравнению с естественными аналогами.
  - Определение суммарного показателя степени изменения.
- Экологическая оценка степени трансформации почв (слабая, умеренная, сильная, очень сильная).

Изложенная в книге методика может быть успешно использована и в других регионах.

Главу 6 монографии можно рассматривать как тематическое продолжение пятой главы. В ней акценты делаются на выявление общих закономерностей в пространственновременном изменении почв под влиянием осущительной мелиорации, водной и ветровой эрозии, а также загрязнения почв соединениями хлора, натрия и техногенными радиоактивными элементами.

В начале главы авторы анализируют изменения минералогического и гранулометрического составов минеральной матрицы пахотных почв. Установлено, что в пахотных почвах республики синхронно протекают два противоположных процесса: аградация глинистых минералов и деградация. Баланс ила в гумусово-аккмулятивных горизонтах пахотных почв суглинистого гранулометрического состава отрицательный, песчаного – положительный. Причина этого явления не ясна.

Актуальной проблемой для Беларуси остается загрязнение почв цезием-137 и стронцием-90 в результате аварии на Чернобыльской АЭС. Мониторинг радионуклидов в почвах показал, что с 1992 по 2018 год наблюдается ежегодное сокращение площадей сельскохозяйственных земель с плотностью загрязнения выше 37 кБк/м $^2$  в среднем на 1.5–2 %; стронцием-90 с плотностью загрязнения выше 5.55 кБк/м $^2$  в среднем на 15–16 тысяч га ежегодно.

Почвоведы республики всегда уделяли внимание почвенному районированию, как основе планирования рационального использования почвенно-земельных ресурсов.

История и современное состояние районирования рассматриваются в главе 5. Первое почвенно-географическое районирование было опубликовано в книге «Почвы БССР» (1952).

Вторая схема почвенно-географического районирования была разработана в 70-х годах. В нем появился еще один таксономический уровень — провинция, число округов выросло до 7, число районов уменьшилось на 2 единицы. В 90-х годах было разработано почвенно-экологическое районирование, основной таксономической единицей которого был принят район. Это районирование стало базовым для дальнейших работ по интегральной оценке почвенно-земельных ресурсов административных районов, типизации земель, разработки систем земледелия и т.д.

Завершается монография главой 9 «Охрана почв Беларуси». Правовой базой охраны почв в республике в настоящее время признан «Кодекс Республики Беларусь о земле» (2008 г.) и закон Республики Беларусь «Об охране окружающей среды», в котором понятие «почва» подменяется понятием «земля». Остается пожелать почвоведам Беларуси добиться принятия самостоятельного закона об охране почв. Для этого есть все основания, как показывает рецензируемая монография.

Рецензируемая монография является плодом работы большого коллектива авторов, что не сказалось на целостности изложения объемного (632 с.) научного труда. Книга хорошо иллюстрирована многочисленными графиками, картами, таблицами, фотографиями. После каждой главы приводится обширный список литературных источников по рассматриваемой теме. Важно отметить, что авторы не замыкаются на региональных исследованиях, а широко используют труды ученых других научных школ. Вне всякого сомнения, монография «Почвы Республики Беларусь» вызовет интерес у специалистов и ученых разного естественнонаучного профиля, а также у практиков, постоянно работающих на земле.

#### **NEW READING**

(MONOGRAPH REVIEW «POCHVY RESPUBLIKI BELARUS» / V.V. LAPA [I DR.] – MINSK: IVC MINFINA, 2019)

B.F. Aparin

Central Soil Museum by V.V. Dokuchaev FRC V.V. Dokuchaev Soil Science Institute Saint-Petersburg State University

Summary. The article provides a brief analysis of the content of the monograph «Soils of the Belarus Republic», published in 2019 in Minsk. The book is a synthesis of the main achievements of the scientific thought in the field of theoretical and applied soil science. It represents a new reading of the soil-cartographic and land-valuation works accumulated over the past 40 years in the field of genetic research. The publication «Soils of the Belarus Republic» will be of interest to specialists and scientists of various natural sciences, as well as to experts who are constantly working on the ground.

Keywords: soils of the Belarus Republic, degradation, soil evaluation, agrogenic transformation of soils.

### СОДЕРЖАНИЕ

Булышева А.М., Лазарева М.А. XXII Докучаевские молодежные чтения	3
Александров Н.А. Исследование антропогенно измененных почв на примере опытных участков экологического стационара РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева	11
Васильева А.В., Куклина С.Л. Характеристика аллювиальных почв высокой поймы р. Белой (Приангарье)	17
Данилин И.В. Формы соединений калия ризосферы клена остролистного в подзолистой почве	22
Дудникова Т.С., Сушкова С.Н., Минкина Т.М., Антоненко Е.М., Барбашев А.И., Попилешко Я.А., Лобзенко И.П. Анализ содержания полициклических ароматических углеводородов в различных типах почв импактной зоны Новочеркасской ГРЭС	28
Едемская В.А., Степанов А.В. Функционально-экологическая оценка создаваемых конструктоземов для газонных экосистем	34
Енчилик П.Р., Семенков И.Н., Иовчева А.Д., Асеева Е.Н., Терская Е.В., Самонова О.А. Первые данные о поведении Со, Сг, Сu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sr, Ti, Zn, Zr в системе «почва – растения» катены в центрально-лесном заповеднике	40
Ильичева П.И. Интегральная оценка окислительно-восстановительного состояния почв	44
Искандирова Ю.Р. Влияние биоугля и растительных остатков на минерализацию азотсодержащих соединений при избытке кадмия в почве	49
Коваленко А.В. Эмиссия парниковых газов из почв и техногенных поверхностных образований селитебной зоны города (на примере поселка Коммунарка города Москвы)	53
Козлов А.В. Поведение водо- и кислоторастворимых форм кремния в дерново- подзолистой почве под действием диатомита	59
<i>Кравченко Е.И.</i> Применение методов ионометрии и рентгенофлуоресцентного анализа для оценки засоления почв	62
Лазарева М.А. Почвы различных природно-территориальных комплексов Ленинградской области	68
Ломовцева Д.Д., Сташкевич А.С., Киселева Н.Д. Использование почвенного покрова Нукутского района Иркутской области (Южное Приангарье)	74
<i>Мартынова Д.О., Знаменская Т.И.</i> Процессы водной эрозии в Приольхонье	79
<i>Мельникова А.А.</i> Фосфатный режим дерново-подзолистой почвы при интенсивном применении агрохимических средств	84

Мигдисова И.А., Абросимов К.Н. Томографическое исследование порового пространства почв: взаимосвязь томографических показателей и физических свойств почв
<i>Мингареева Е.В.</i> Радионуклиды ( $^{226}$ Ra, $^{232}$ Th, $^{40}$ K, $^{137}$ Cs) в почвах Северо-Западного региона России, сформированных на трех типах почвообразующих пород
Петросян Р.Д. Управление содержанием органического углерода в пахотных серых лесных почвах Владимирского Ополья
Решетов Р.С., Погожев Д.А., Кошелькова М.М., Лентина А.А., Безруких А.И., Чернова Т.В. Моделирование состава почвенно-грунтовой смеси для объектов озеленения Московского региона
Сафин А.Р., Головлева Ю.А. Гидрологический режим почв среднетаежной подзоны         Западно-Сибирской равнины       109
Скобликова Е.А., Куклина С.Л., Тания И.В., Сабекия Т.В. Изменение почвенных свойств при пастбищной нагрузке в Рицинском реликтовом национальном парке (республика Абхазия)
Смирнов М.В., Куклина С.Л., Козырев А.С., Стерхова И.В. Характеристика солифлюциированных отложений раннесартанского возраста на примере ГАО «Туяна» (республика Бурятия)
Тимофеева Ю.Р. Оценка агроресурсного потенциала почв Ленинградской области 125
Токмакова В.С. Изменение гидрофизических свойств почв Усинского района республики Коми под влиянием загрязнения углеводородами нефти и последующей рекультивации
<i>Толстыгин К.Д.</i> Изменение некоторых физических и химических свойств торфяных почв за 50-летний период
Трошина Е.А. Физико-химические свойства почв мыса Бурхан, о. Ольхон
Ускова Н.В. Оценка влияния длительного применения удобрений на гумусовое состояние почвы, структуру и качество урожая бессменно возделываемой озимой ржи
<i>Чаплыгин В.А., Бауэр Т.В., Коркин Г.О., Хассан Т.М.</i> Аккумуляция тяжелых металлов в растениях тростника южного ( <i>Phragmites australis</i> Cav.) в условиях экстремального техногенного загрязнения
Апарин Б.Ф., Янсон С.Ю., Грабовский, А.А., Сухачева Е.Ю., Мингареева Е.В., Шевчук, Е.А. Трансформация органических и минеральных веществ погребенной почвы в осадочных отложениях танюрерской свиты южной Чукотки
Захарова М.К., Апарин Б.Ф., Мингареева Е.В. «Два закона – две науки»167
Апарин Б.Ф. Новое прочтение (Рецензия на монографию «Почвы республики Беларусь» / В.В. Лапа [и лр.] – Минск: ИВИ Минфина. 2019)

#### Научное издание

### МАТЕРИАЛЫ ПО ИЗУЧЕНИЮ РУССКИХ ПОЧВ Выпуск 12 (39)

Компьютерная верстка А.Г. Рюмина

Подписано в печать с оригинал-макета заказчика 20.07.2020 г. Формат 60x84/8. Бумага офсетная. Печать офсетная. Печ. л. 23.0. Тираж 80 экз. 3аказ N<math>

Типография Издательства СПбГУ 199034, Санкт-Петербург, Менделеевская лин., д. 5