

НАУЧНЫЕ

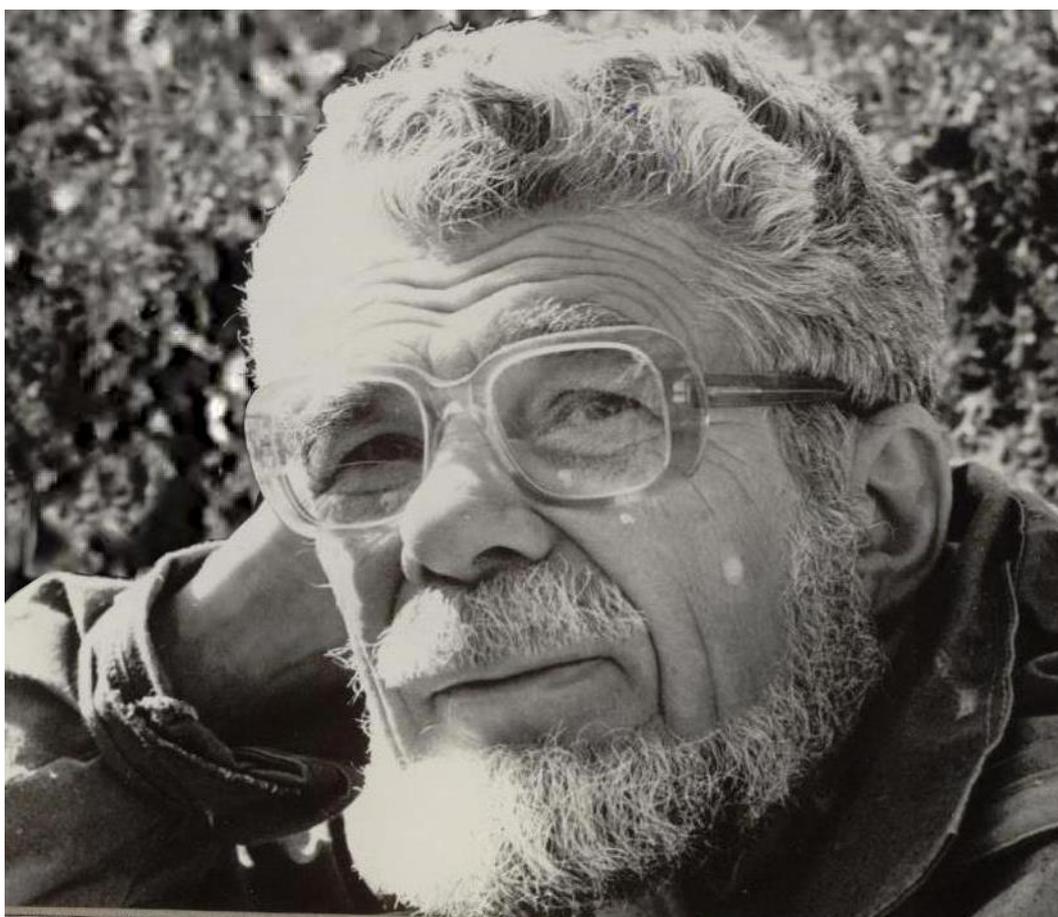


ИЗДАНИЯ

**ПРИРОДНАЯ
И АНТРОПОГЕННАЯ
НЕОДНОРОДНОСТЬ ПОЧВ
И СТАТИСТИЧЕСКИЕ
МЕТОДЫ ЕЕ ИЗУЧЕНИЯ**

СБОРНИК НАУЧНЫХ СТАТЕЙ





**Заслуженный профессор Московского университета
имени М.В. Ломоносова
Евгений Анатольевич Дмитриев
(1931-1999)**

**Всероссийская научная интернет-конференция
с международным участием,
посвященная 90-летию со дня рождения
заслуженного профессора Е.А. Дмитриева**

**ПРИРОДНАЯ И АНТРОПОГЕННАЯ
НЕОДНОРОДНОСТЬ ПОЧВ
И СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ЕЕ ИЗУЧЕНИЯ**

Сборник научных статей

Под общей редакцией
д.б.н. В.П. Самсоновой,
к.б.н. М.И. Кондрашкиной,
к.с.-х.н. Ю.Л. Мешалкиной

Москва
Издательско-торговая корпорация «Дашков и К°»
2022

УДК 631.4
ББК 26.31
П77

*Печатается по постановлению ученого совета факультета почвоведения
Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова
(протокол 16 от 23 декабря 2021 г.).*

П77 Природная и антропогенная неоднородность почв и статистические методы ее изучения : сборник научных статей по материалам Всероссийской научной интернет-конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня рождения заслуженного профессора Е.А. Дмитриева / под общ. ред. В.П. Самсоновой, М.И. Кондрашкиной, Ю.Л. Мешалкиной ; Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения. – Москва : Издательско-торговая корпорация «Дашков и К^о», 2022. – 248 с.

ISBN 978-5-394-05059-6.

DOI 10.29030/978-5-394-05059-6-2022.

Евгений Анатольевич Дмитриев вошел в историю российского почвоведения как ученый, многие работы которого посвящены применению статистических методов для исследования почв. Созданный им учебник «Математическая статистика в почвоведении» выдержал пять переизданий и не потерял своей актуальности в настоящее время. Теоретические работы Е.А. Дмитриева посвящены исследованиям генезиса данных о почве и почвенном покрове. Случайное и закономерное в приложении к почвенному покрову, проблемы адекватной организации почвенного эксперимента, предметная обоснованность статистических выводов, математика и классификация почв – вот далеко не полный перечень проблем, охватываемых в его исследованиях.

На Всероссийской научной интернет-конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня рождения заслуженного профессора Е.А. Дмитриева были представлены разнообразные работы, в которых используются идеи Е.А. Дмитриева.

Для специалистов в области почвоведения и экологии.

ОГЛАВЛЕНИЕ

| | |
|---|----|
| <i>Дядькина С.Е.</i> История математической статистики на факультете почвоведения МГУ | 9 |
| КЛАССИЧЕСКИЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ПОЧВОВЕДЕНИИ | 12 |
| <i>Самсонова Вера Петровна.</i> Научное наследие профессора Е.А. Дмитриева | 13 |
| <i>Хитров Николай Борисович.</i> Варьирование глубины и мощности горизонтов в структуре почвенного покрова опытной станции «Орошаемая»..... | 18 |
| <i>Михеева Ирина Викторовна, Оплеухин Алексей Александрович.</i> Информационная оценка современных изменений содержания ила в черноземах южных на юге Западной Сибири | 24 |
| <i>Липатов Денис Николаевич, Манахов Дмитрий Валентинович, Щеглов Алексей Иванович.</i> Применение иерархического дисперсионного анализа в оценке уровней пространственной неоднородности торфяных почв на северо-востоке о. Сахалин..... | 31 |
| <i>Симонова Юлия Владимировна, Русаков Алексей Валентинович, Рюмин Александр Георгиевич.</i> Вариабельность запасов углерода на уровне пробных площадок (Ярославская область, Верхняя Волга) | 37 |
| <i>Мешалкина Юлия Львовна.</i> Понятие «неопределенности» в почвоведении при картографировании количественных показателей ... | 43 |
| ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ | 48 |
| <i>Гумматов Низами Гулу оглы.</i> Анализ пространственной изменчивости физических свойств светло-каштановых почв | 49 |
| <i>Сулейманов Азамат Русланович.</i> Цифровое картографирование содержания почвенного органического углерода на пахотном участке Республики Башкортостан..... | 57 |

| | |
|--|-----|
| <i>Сахабиев Ильназ Алимович.</i> Оценка изменения пространственной структуры почвенных показателей территории многолетнего сортоиспытания (на примере Заинского государственного сортоиспытательного участка) | 61 |
| <i>Линник Виталий Григорьевич.</i> Иерархическая гетерогенность загрязнения цезием-137 на микроландшафтном уровне почв Брянской области..... | 67 |
| <i>Киндеев Аркадий Леонидович.</i> Учет пространственной неоднородности кислотности почвы для решения прикладных задач точного земледелия | 73 |
| <i>Железова Софья Владиславовна.</i> Точное земледелие: подбираем ключи к плодородию каждого поля | 79 |
| <i>Кондрашкина Марина Иосифовна.</i> Пространственная изменчивость содержания песчаной фракции и гумуса в пределах единичного сельскохозяйственного угодья | 84 |
| <i>Самофалова Ираида Алексеевна, Чащин Алексей Николаевич.</i> Эффективность методов интерполяции магнитной восприимчивости в горных почвах (хребет Басеги, Средний Урал)..... | 89 |
| <i>Андреева Виктория Леонидовна, Ефимова Ирина Аркадьевна.</i> Учет природной неоднородности почвенного покрова при проведении почвенно-экологической оценки земель | 94 |
| <i>Сазонов Алексей Александрович, Кунавич Кристина Витальевна.</i> Неоднородность почвенного покрова агроландшафтов юго-западного округа Белорусской гряды | 98 |
| <i>В.С. Кизеева.</i> Типизация земель по агрохимическим свойствам почвенного покрова с использованием методов площадной интерполяции | 104 |
| <i>Кислицын Дмитрий Андреевич.</i> Использование данных дистанционного зондирования земли для выявления различных видов деградации земель | 109 |
| БАЗЫ ДАННЫХ..... | 115 |
| <i>Алябина Ирина Олеговна, Голозубов Олег Модестович, Чернова Ольга Владимировна.</i> Некоторые направления применения статистических методов в рамках информационной системы «Почвенно-географическая база данных России» | 116 |

| | |
|---|-----|
| <i>Вологодина Ольга Сергеевна. ГИЛ как база актуализированной информации о состоянии почвенных ресурсов</i> | 122 |
| <i>Уланова Светлана Сергеевна, Маишыков Кирилл Владимирович. Создание базы данных пастбищных угодий пустынной зоны Республики Калмыкия по результатам долговременного геоботанического мониторинга</i> | 126 |
| <i>Штабровская Ирина Михайловна, Зенкова Ирина Викторовна. База данных температуры горных почв Хибинского горного массива (Мурманская область)</i> | 131 |
| <i>Рыжова Ирина Михайловна, Подвезенная Марина Александровна, Кириллова Наталия Петровна. Анализ влияния влажности на пространственную вариабельность запасов углерода в лесных почвах европейской территории России на основе баз данных</i> | 137 |
| РАЗЛИЧНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЧВЕННЫХ СВОЙСТВ | 142 |
| <i>Басевич Виктор Францевич. Факторы неоднородности подзолистых почв</i> | 143 |
| <i>Белобров Виктор Петрович, Юдин Сергей Анатольевич, Ермолаев Никита Романович. Зоотурбации черноземов и неоднородность почвенного покрова</i> | 149 |
| <i>Рахлеева Анна Алексеевна. Участие почвенных беспозвоночных животных – представителей макрофауны в создании и поддержании неоднородности почвенных свойств</i> | 155 |
| <i>Поляков Дмитрий Геннадьевич, Рябуха Анна Геннадьевна, Ковда Ирина Викторовна, Архангельская Татьяна Александровна. Пространственная неоднородность гранулометрического состава палеокриогенных почв</i> | 159 |
| <i>Снег Анна Арнольдовна, Балабко Петр Николаевич. Агроэкологический мониторинг аллювиальных почв долины верхней Оки при интенсивном с/х использовании</i> | 165 |
| <i>Шматова Анастасия Геннадьевна. Почвы под различными типами криогенных поверхностных образований в центральной части острова Колгуев</i> | 170 |

| | |
|---|------------|
| <i>Хуснетдинова Тамара Ивановна. Пространственное варьирование новообразований в профиле аллювиальных почв южной тайги</i> | 175 |
| <i>Решетникова Радислава Андреевна, Ковалева Наталия Олеговна. Пространственно-временная неоднородность почв оборонительных сооружений археологических памятников на примере Дмитровского Кремля</i> | 181 |
| <i>Ковалев Иван Васильевич, Ковалева Наталия Олеговна. К вопросу о достоверности характеристик содержания и свойств ортштейнов в осушенных почвах.....</i> | 186 |
| <i>Ковалева Наталия Олеговна, Ковалев Иван Васильевич. Неоднородность почвенного покрова осушенных ландшафтов</i> | 192 |
| <i>Карпиченко Александр Александрович, Кухлевский Егор Александрович. Анализ парагенных ассоциаций тяжелых металлов в почвах г. Минска.....</i> | 198 |
| <i>Куделин Владислав Николаевич, Макаров Олег Анатольевич, Строков Антон Сергеевич. Модели взаимосвязи между экономическими, почвенными и климатическими показателями в сельском хозяйстве Липецкой области</i> | 202 |
| <i>Мищенко Анастасия Вячеславовна, Карпова Дина Вячеславовна. Анализ структурного состояния агросерой почвы*</i> | 209 |
| <i>Кротов Дмитрий Геннадьевич. Пространственная изменчивость содержания аммиачного и нитратного азота после внесения жидкого аммиака в дерново-подзолистой и серой лесной почвах</i> | 215 |
| <i>Вертянкина Виктория Юрьевна, Колесникова Варвара Михайловна, Мешалкина Юлия Львовна, Иванов Антон Валерьевич. Некоторые свойства посталлювиальных почв центральной поймы реки Истры.....</i> | 220 |
| <i>Синих Юрий Николаевич. Применение методов дисперсионного и корреляционного анализа в опытном деле</i> | 225 |
| <i>Азовцева Н.А., Парфенова А.М., Францев В.В. Магнитные и некоторые другие свойства городских почв.....</i> | 230 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ | 233 |
| <i>Ю.Н. Благовещенский. Вдоль и поперек (монологи о почвах: из переписки с Е.А. Дмитриевым)</i> | 234 |

ИСТОРИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ НА ФАКУЛЬТЕТЕ ПОЧВОВЕДЕНИЯ МГУ

Дядькина С.Е.

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
факультет почвоведения, Москва, Россия
E-mail: S.E.Dyadkina@mail.ru

Аннотация. В статье рассказывается о развитии интереса и первых работах Е.А. Дмитриева по математической статистике, об отношении к статистике студентов и сотрудников факультета в прошлом веке.

Ключевые слова: математическая статистика, неоднородность почвенных свойств

В школе за успехи в математике Евгения Анатольевича очень любила учительница математики и его классный руководитель Дина Наумовна. Когда же после окончания школы Женя поступил на биолого-почвенный факультет, она даже обиделась на него. Но любовь к математике у него осталась на всю жизнь. Евгений Анатольевич видел, где можно применить математические методы и активно использовал свое умение.

В своей диссертационной работе Е.А. Дмитриев, анализируя теплоёмкость почв из 13 разрезов, расположенных на разных почвах, использует методы вариационной статистики. Он отмечает, что теплоёмкость колеблется в пределах 0,182-0,195 кал/г*град., но, «согласно обработки данных по методу вариационной статистики, эта разница является недоказанной». В своем автореферате он использует показатель относительной погрешности опыта и говорит, что «удельная теплоёмкость твердой фазы почв определяется значительно более сложными закономерностями, чем было нами показано».

В 1963 и 1964 годах выходят две работы Евгения Анатольевича, рассматривающие статистические показатели, характеризующие свойства почв, показатель относительной вероятной погрешности и оценку точности результатов анализов, проводимых без повторностей. В дальнейшем эти работы развивались и распространялись на другие свойства почв, а в 1965 году появилась совместная со Звягинцевым Д.Г. статья «Устранение некоторых недостатков метода подсчета почвенных микроорганизмов чашечным методом».

Потом появилась работа (совместно с Армандом Д.Л.) «К вопросу об использовании методов математической статистики в физической географии». Фактически эта работа стала первой у Евгения

Анатольевича, в которой говорится о применении математической статистики в науках, близких к почвоведению. В том же году вышли три работы («Об определении среднего арифметического и его ошибки», «Об определении необходимого числа повторностей в экспериментальной работе почвоведов» и «Использование вариационно-статистических методов при изучении физических свойств почв» 1966 г.), и математическая статистика в почвоведении стала искать свои пути развития и применения.

В эти же годы Галина Алексеевна, жена Евгения Анатольевича, писала кандидатскую диссертацию по росту и развитию гороха. Естественно, что Евгений Анатольевич консультировал её по математической статистике, и вместе они искали коэффициенты корреляции и составляли уравнения регрессии между длиной бутонов и размером всех частей цветка. Результаты такой работы были важны для определения состояния цветка, развития пыльцы, то, что важно при опылении. Потом эта глава вошла в докторскую диссертацию руководителя Галины Алексеевны.

К концу 60-х годов стало ясно, что неоднородность почв явление не только вертикальное, заметное всем, но и пространственное, которое можно обнаружить только с помощью отбора образцов и проведения анализов. Вышли работы «О точности механического анализа почв методом пипетки» и «Об асимметрии в распределении водопроницаемостей» (обе статьи совместно с Манучаровым А.С.). Следом вышли статьи «О математических методах в почвоведении» (1967), «О возможности использования непараметрической статистики в почвоведении» (1968), «Об использовании корреляционного анализа при работе с картами» (1968) и многие другие.

Заведующий кафедрой физики и мелиорации почв Н.А.Качинский заметил склонность Дмитриева к математике и предложил заняться разработкой и внедрением математических методов в почвоведение. Так на кафедре физики и мелиорации почв был разработан факультетский курс статистики для почвоведов и внесен в программу обучения на факультете почвоведения МГУ. В 1972 году вышел первый учебник по «Математической статистике в почвоведении», который сразу стал библиографической редкостью, хотя тираж его составил более 3000 экземпляров. В то время это было не так уж и мало. Книжки воровали из библиотек, и моя книга, которую я дала студентке старшего курса для написания диплома, ко мне не вернулась. Один из вышедших учебников ЕА подарил своей школьной учительнице по математике и классному руководителю Дине Наумовне.

Дмитриев стал использовать в своих исследованиях не разрезы, а траншеи. В них было лучше видно изменение свойств почвы в

пространстве. Студенты и аспиранты Евгения Анатольевича отбирали сотни образцов и делали сотни анализов. Результаты обрабатывались на арифмометрах и калькуляторах, считали на листочках в столбик. Экзаменаторы, оппоненты и рецензенты не всегда понимали, что означают те или иные цифры в работах студентов и аспирантов и как к ним подступить. «Математическая статистика», как предмет, часто пугала студентов своим количеством цифр и формул. На экзаменах студентам, не знающим, что такое дисперсия, ставили двойки. Но потом появились компьютеры и решение математических задач существенно облегчилось.

На факультете почвоведения не всегда видели необходимость этих работ, говорили, что работы математические, а не почвенные. При этом математики считали, что Дмитриев – лучший математик среди почвоведов, а почвоведы считали, что Евгений Анатольевич – лучший почвовед среди математиков. Докторскую диссертацию, написанную по математическому обоснованию классификации почв, отсоветовали представлять к защите. Не поймут. Пришлось защищать по совокупности работ, посвященных неоднородности почв. Глеб Всеволодович Добровольский как-то сказал Е.А. Дмитриеву, что его работы появились рано, что они будут актуальны лет через 15-20.

Конечно тогда, наверно, никто не мог себе даже представить, какое развитие получат статистические методы в почвоведении, какое значение будет играть эта наука для нас почвоведов в 21 веке, но все течет, все изменяется. Математическая статистика все активнее используется почвоведом, а публикация работ без статистической обработки имеет меньшую значимость.

HISTORY OF MATHEMATICAL STATISTICS AT THE FACULTY OF SOIL SCIENCE

Dyadkina S.E.

Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty,
Moscow, Russia

E-mail: S.E.Dyadkina@mail.ru

Abstract. The article tells about the development of interest and the first works of E.A. Dmitriev on mathematical statistics, about the attitude to statistics of students and faculty staff in the last century.

Keywords: mathematical statistics, heterogeneity of soil properties

**КЛАССИЧЕСКИЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В ПОЧВОВЕДЕНИИ**

НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ ПРОФЕССОРА Е.А. ДМИТРИЕВА

Самсонова Вера Петровна

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
факультет почвоведения, Москва, Россия
E-mail: vkbun@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются основные научные идеи, выдвинутые в работах профессора Е.А. Дмитриева. Показано, что на современном этапе развития почвоведения многие из них не утратили своей актуальности и все больше оказываются востребованными при анализе результатов почвенных исследований.

Ключевые слова: статистические методы, пространственная неоднородность почв

Евгений Анатольевич Дмитриев вошел в историю российского почвоведения как ученый, работы которого в основном посвящены применению различных статистических методов для исследования почв. Созданный им учебник «Математическая статистика в почвоведении» выдержал пять переизданий и не потерял своей актуальности и в настоящее время, хотя за прошедшие годы в арсенале методов обработки данных появились новые подходы и способы, особенно в области статистического моделирования.

Теоретические работы Е.А.Дмитриева посвящены генезису данных о почве и почвенном покрове. Случайное и закономерное в приложении к почвенному покрову, проблемы адекватной организации почвенного эксперимента, предметная обоснованность статистических выводов, математика и классификация почв – вот далеко не полный перечень вопросов, решаемых в его теоретических работах.

Начало применения статистических методов в почвоведении практически совпало со становлением почвоведения как науки. Наблюдения за водным режимом территорий требовали способов обобщения экспериментальных данных, которые и были заимствованы из математической статистики, которая в конце 19-начале 20 века бурно развивалась. В журнале Почвоведение, основанном выдающимся почвоведом- гидрологом П.В. Отоцким, появляются статьи [15], где методы и приемы математической статистики применяются к почвенным данным. А результаты работ С.И. Тюремнова [17] о возможности

использования характера варьирования содержания гумуса для классификации почв не потеряли значения и в настоящее время. Однако известные события 30-х годов, а затем Великая Отечественная война надолго прервали работы почвоведов в этой области. Возобновление активного применения статистических методов в 50-тых годах связано с развитием почвенного и агрохимического картирования [1].

Е.А. Дмитриев поступил на Биолого-почвенный факультет МГУ им. М.В. Ломоносова в 1949 г. После окончания он был оставлен на факультете и проработал сначала на кафедре физики и мелиорации почв, затем на кафедре общего земледелия до конца своей жизни. Заведующий кафедрой физики и мелиорации профессор Н.А. Качинский предложил ему создать курс статистики для студентов кафедры, который затем превратился в общефакультетский курс.

Еще в 1972 г в первом издании учебника «Математическая статистика в почвоведении» [3] Е.А.Дмитриев формулирует обоснование, почему моделью почвенных свойств может быть случайная величина. Разделение условий почвенных испытаний на общие и второстепенные, а затем детализация этих условий на относящиеся к объекту, способу опробования и способу определения дает основу для анализа практически любых результатов почвенных экспериментов.

В основе этого лежит постулат о том, что информация о непрерывном природном теле, каковым является почвенный покров, получается при помощи дискретных проб, размер которых ограничен. В пределах дискретных проб значения всегда усредняются. В многочисленных работах, выполненных под его руководством, убедительно показывается, что размер пробы может заметно влиять на статистические характеристики. Так, разный диаметр заливаемых площадей может изменить среднее значение водопроницаемости почвы в 2-3 раза [2]. Коэффициенты корреляции между почвенными свойствами при увеличении размера пробы могут меняться от значимых отрицательных до значимых положительных [4]. Влияние размеров проб заметно сказывается на показателях, определяемых как отношения – например, таких часто используемых в почвоведении отношений, как C:N, CГК:CФК, FeII:FeIII. Так, для последних величин средние при изменении размеров проб от 1 см³ до 630 см³ уменьшаются в 3 раза, а отношения средних – менее чем в два раза [5]. При опробовании почвенных объектов, в которых присутствуют латеральные неоднородности (например, перегнившие корни, ходы землероев и т.п.) формы отбираемых проб заметно сказываются на средних значениях таких

показателей, как содержание гумуса и подвижных катионов, о чем убедительно свидетельствуют результаты диссертационной работы, выполненной под его руководством М.И. Кондрашкиной [14].

Е.А. Дмитриев активно использовал траншейный метод при исследовании пространственных особенностей почвенного покрова на сравнительно небольших расстояниях. Такой подход позволяет проанализировать вдольповерхностные закономерности изменения отдельных почвенных свойств на разных глубинах, выделить границы однородных участков на разной глубине и сопоставить их с классификационными границами почвенных объектов [7]. Как правило, границы однородных участков на разных глубинах не совпадают, поэтому встает вопрос о том, как горизонтальная изменчивость соотносится с профильной изменчивостью, и, как следствие, как эта изменчивость отражается в классификации почв. Профиль почвы выступает как обобщающее сечение почвенного пространства и в то же время является объектом почвенных классификации. Вопрос о том, что классифицирует классификация почв, можно ли стандартизировать объекты почвенных классификаций – был поставлен Е.А. Дмитриевым [6], однако и в настоящее время этот вопрос далек от разрешения.

Ограниченность модели свойства почвы как случайной величины оказалась очевидной при детальных исследованиях пространственной неоднородности, выполненных под руководством Е.А. Дмитриева в 1980-1990 гг. На близких расстояниях почвенные свойства оказываются взаимосвязанными, что приводит к нарушениям основного требования модели случайной величины – независимости результатов повторных испытаний. Вслед за Ф.И. Козловским [13], Е.А. Дмитриев в этом случае в качестве модели почвенного свойства использовал случайную функцию координат, что позволило проанализировать и выделить различные составляющие варьирования в почвенном пространстве для морфологических, химических, физических свойств, дискретных новообразований. В 90-е годы идея пространственной зависимости использовалась для площадного картирования участков сельскохозяйственных угодий, что можно рассматривать преддверие точного земледелия [16].

Организация почвенного пространства, с одной стороны, является следствием почвообразовательных процессов, а с другой изменяет и направляет эти процессы. Е.А. Дмитриев в работе о водном режиме [8] показывает, что понимание происходящих в почве процессов невозможно без учета размеров ее иерархических уровней организации.

Динамика почвенных свойств – еще одна область исследований Е.А. Дмитриева. На примере влажности и рН при помощи иерархического дисперсионного анализа показано, что пространственная организация почвенных свойств может существенно изменяться во времени, а оценки средних значений показателей сопровождаются большими ошибками, которые также изменяются во времени [9].

Обобщением его работ стала концепция представления о почве как функции методов ее изучения, изложенная в ряде работ позднего периода [10, 11, 12]. Некоторые следствия, вытекающие из этой концепции: соответствие методов исследования целям этих исследований; результаты исследований должны распространяться лишь на соответствующие уровни организации почвы и почвенного покрова; картирование почв и картирование почвенных свойств отражают разные уровни пространственной организации и могут не совпадать друг с другом.

Е.А. Дмитриев проявил себя не только как теоретик, но и как блестящий почвовед-экспериментатор. Он разработал полевые методы выявления неоднородности движения влаги в почве, методы «проявления» распределения железистых конкреций, метод фиксации неоднородностей при помощи полевого пантографа, устройство для послойной обработки почвенных мини-монолитов. Все эти приемы широко использовались его учениками при проведении полевых работ.

Список литературы

1. Важенин И.Г., Музычкин И.А. Проведение крупномасштабных агрохимических исследований почв колхозов и совхозов // Руководство по составлению почвенных и агрономических карт. М.: Колос, 1964.
2. Дмитриев Е.А., Манучаров А.С. Об асимметрии в распределении водопроницаемостей // Почвоведение. 1967. № 5. С. 46-54.
3. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1972. 292 с.
4. Дмитриев Е.А., Биндюков В.Г. Содержание подвижных форм соединений железа в образцах почвы малого объема // Вестник Моск. ун-та, Сер. 17. Почвоведение. 1984. № 2. С. 18-24.
5. Дмитриев Е.А. Отношения средних и средние отношения в характеристике почв // Тезисы докл. VII Делегатск. съезда ВОП. Ташкент, 1985. Т. 1. С. 136.
6. Дмитриев Е.А. Что классифицирует классификация почв (к дискуссии по классификации почв) // Почвоведение. 1991. № 2. С. 122-133.
7. Дмитриев Е.А. О почвенных границах и элементах организации почвы // Почвоведение. 1994. № 11. С. 5-13.

8. Дмитриев Е.А. Водный режим почвенных тел разной мерности // Почвоведение. 1996. № 5. С. 667-678.
9. Дмитриев Е.А., Николаенко А.В. Пространственно-временная изменчивость почв и погрешности экстраполяционных оценок влажности и рН // Вестник Моск. ун-та, Сер. 17. Почвоведение. 1996. № 4. С. 3-14.
10. Дмитриев Е.А. Некоторые методологические аспекты изучения почв // Вестник Моск. ун-та. Сер.17. Почвоведение. 1997. № 2. С. 3-9.
11. Дмитриев Е.А. О понятии случайного и неслучайного в почвоведении // Вестник Моск. ун-та, Сер.17. Почвоведение. 1998. № 4. С. 41-49.
12. Дмитриев Е.А. Представление о почвах как функция методов ее изучения // Почвоведение. 1999. № 1. С. 145-151.
13. Козловский Ф.И. Почвенный индивидуум и методы его определения // В сб.: Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. М.: Наука, 1970. 219 с.
14. Кондрашкина М.И. Влияние размера и формы образца на информацию о почвенном объекте: автореф. дисс. на соискание ученой степени канд. биол. наук. М., 1991. 24 с.
15. Отоцкий П.В. О связи между высотой местности и характером чернозема в Полтавской губернии // Почвоведение. 1901. № 2. С. 197-206.
16. Самсонова В.П., Мешалкина Ю.Л., Дмитриев Е.А. Структуры пространственной вариабельности агрохимически важных свойств пахотной дерново-подзолистой почвы // Почвоведение. 1999. № 11. С. 1359-1366.
17. Тюремнов С.И. Северная граница чернозема в Центральной Европейской части СССР // Почвоведение. 1925. № 1-2. С. 77-94.

SCIENTIFIC HERITAGE OF PROFESSOR E.A. DMITRIEV

Samsonova Vera Petrovna

Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty,
Moscow, Russia
E-mail: vkbun@mail.ru

Abstract. The main scientific ideas put forward in the works of Professor E.A. Dmitriev are considered. It is shown that at the present stage of development of soil science, many of them have not lost their relevance and are increasingly in demand when analyzing the results of soil research.

Keywords: statistical methods, spatial heterogeneity of soils

**ВАРЬИРОВАНИЕ ГЛУБИНЫ И МОЩНОСТИ ГОРИЗОНТОВ
В СТРУКТУРЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ОПЫТНОЙ
СТАНЦИИ «ОРОШАЕМАЯ»**

Хитров Николай Борисович

ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, Россия
E-mail: khitrovn@gmail.com

Аннотация. Статистический портрет почвенного покрова хозяйства представлен серией кумулятивных распределений глубины и мощности почвенных горизонтов. Почвенные комбинации включают орошаемые и богарные комплексы светло-каштановых солонцеватых и несолонцеватых почв, степных солонцов и луговато-каштановых почв.

Ключевые слова: кумулятивное статистическое распределение, орошаемые почвы, карбонатный профиль почв

Введение. Неоднородность почвенных тел проявляется на всех иерархических уровнях их строения от индивидуальных твердых частиц до почвенного покрова и педосферы в целом. Характеристика структуры почвенного покрова включает оценку разных показателей почвенных комбинаций, элементарных почвенных ареалов, свойств отдельных почв [2]. Цель – представить статистический портрет почвенного покрова хозяйства в виде серии кумулятивных распределений глубины и мощности почвенных горизонтов.

Объекты и методы. Объектом является почвенный покров опытной станции «Орошаемая» Всероссийского НИИ орошаемого земледелия, расположенной на юго-западной оконечности Приволжской возвышенности в Волгоградской области. До орошения преобладающими почвами были светло-каштановые солонцеватые и несолонцеватые суглинистые почвы в комплексе с каштановыми степными солонцами на водоразделе и склонах, луговато- и лугово-каштановыми почвами в западинах и ложбинах.

В течение последнего полувека почвенный покров испытывал преобразование под влиянием испытания и эксплуатации разных способов и техники орошения и сопутствующих агротехнических и мелиоративных воздействий. По классификации почв СССР к указанным выше названиям почв добавляются определения «пахотная» для богарных вариантов, «орошаемая» для орошаемых вариантов, «смытая» для некоторых вариантов и тех, и других. Заметное антропогенное преобразование почв иначе отражено по классификации почв России.

Почвы представлены агрокаштановыми солонцеватыми, агроземами аккумулятивно-карбонатными солонцеватыми и несолонцеватыми, агроземами глинисто-иллювиальными, агросолонцами, просто агроземами без срединных горизонтов, а также стратоземами и разными стратифицированными почвами. Согласно международной классификации WRB-2015 это *haplic or Luvic Kastanozems (Aric, Loamic)*, *haplic Solonetz (Aric, Loamic, Cutanic)*.

Территория опытной станции литологически неоднородна. Почвообразующими породами являются преобладающие палево-бурые четвертичные опесчаненные суглинки с линзами песка и супеси на глубине 1.5-3 м, разные двучленные отложения, представленные указанными выше суглинками, подстилаемыми с 50-120 см песками разного цвета и карбонатности, супесями и слоистыми песчано-суглинистыми отложениями, а также щебнисто-суглинисто-песчаными и щебнисто-суглинистыми отложениями с фрагментами опоки.

В текущее время основной способ орошения – дождевание «Фрегатами» или дождевальными установками барабанного типа.

Полевое обследование почв опытной станции выполнялось в 2020-2021 гг. на основе предварительного дешифрирования космических снимков с последующим заложением системы почвенных разрезов на ключевых участках, расположенных на основных элементах мезорельефа в разных условиях антропогенных воздействий. В пределах ключевого участка опробование почв включало группы разрезов, отстоящих друг от друга на малых расстояниях (15-30 м) в соответствии с наблюдаемой на космическом снимке неоднородности значений спектральной яркости, катен поперек ложбин и вдоль склона, сетки площадного опробования через 5-15 м вскипания от НСІ с дневной поверхности, для отдельных участков каменистости на поверхности.

Для всех точек опробования определяли географические координаты с помощью GPS. Почвенные разрезы связывали нивелирными ходами, общая длина которых составила более 5 км. Большинство разрезов после вскрытия основных горизонтов почв углубляли буром до 2-3 м. Индексацию диагностических горизонтов и признаков выполняли по [1].

Для статистической обработки результатов создана база данных, включающая номер и привязку разреза, названия почв по трем классификациям (СССР; России; WRB), наличие или отсутствие диагностического горизонта или признака, его верхнюю и нижнюю границы, мощность. На момент подготовки тезисов база данных включает записи 182 почвенных профилей. Рассчитаны непараметрические показатели эмпирических статистических распределений: минимум, нижний и верхний квартили, медиана, максимум, в необходимых ситуациях персентили. Построены дифференциальные и

кумулятивные статистические распределения глубины и мощности горизонтов или признаков. Оценили возможность аппроксимации эмпирического распределения нормальным или логнормальным. Все расчеты выполнены в Excel для выборки в целом и для отдельных выборок, включающих почвенные профили сходного строения по задаваемым критериям.

Результаты и обсуждение. По данным площадной оценки на 10 ключевых участках половина почв опытной станции содержат карбонаты в поверхностном слое, хотя для исходных почв вскипание от HCl было характерно с некоторой глубиной. На этом основании было выделено две группы почв: с отсутствием (1) и наличием (2) вскипания от HCl с дневной поверхности. Их соотношение на разных участках зависит от сочетания природных и антропогенных факторов. Доля карбонатных с поверхности почв в текущее время варьирует от 10 до 68% с медианой 49%. Такие почвы распространены на полях, где имели место разнообразные мелиоративные воздействия: планировки поверхности, глубокие мелиоративные вспашки, орошение.

На территории опытной станции появлению карбонатных с поверхности почв способствовали 4 процесса: 1) растворение части карбонатов срединных горизонтов во время поливов и подтягивание растворов в пахотный горизонт с осаждением карбонатов при потреблении воды растениями; 2) припашка карбонатных горизонтов при глубоких обработках и в условиях эрозионного смыва части пахотного горизонта; 3) насыпка карбонатного материала на поверхность при планировках поверхности; 4) локальный намыв карбонатного материала с соседних участков при поливе или естественных ливнях.

Каждая из указанных выше групп подразделена еще на две подгруппы по характеру карбонатного профиля: 1.1 – глубина вскипания глубже нижней границы пахотного горизонта (условно, почвы с естественной глубиной вскипания); 1.2 – вскипание в пределах пахотного горизонта, но не с поверхности; 2.1 – все горизонты до 2-3 м имеют вскипание (полностью карбонатный профиль); 2.2 – наличие не вскипающего горизонта внутри профиля при вскипании с поверхности (условно, намытые почвы). Подгруппы заметно различаются по мощности части пахотного горизонта с припаханными фрагментами нижележащих горизонтов, параметров аккумулятивно-карбонатного горизонта и проявления солонцеватости (рис. 1).

Примеры кумулятивных распределений мощности разных горизонтов для общей выборки представлены на рис. 2. Ни одно из них не может быть аппроксимировано нормальным распределением. Для их характеристики удобнее использовать непараметрические показатели.

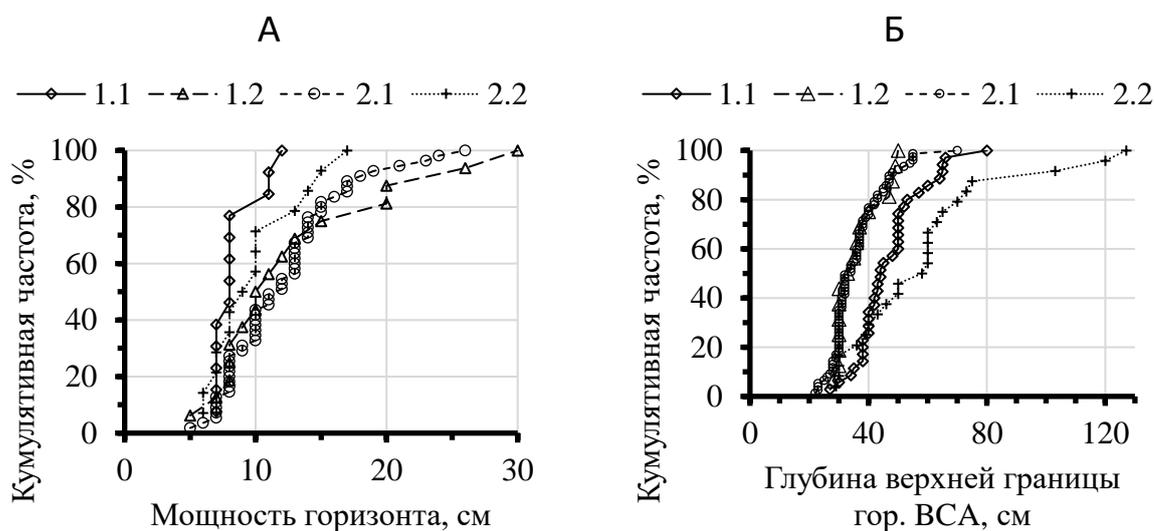


Рис. 1. Кумулятивные статистические распределения (А) мощности части пахотного горизонта с припаханными фрагментами нижних горизонтов и (Б) глубины верхней границы гор. ВСА. Обозначение подгрупп см. в тексте.

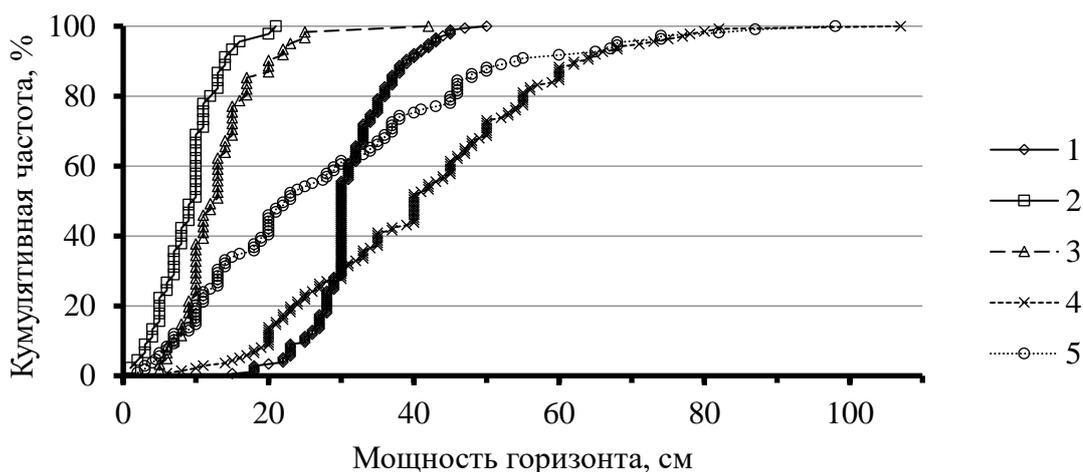


Рис. 2. Эмпирические кумулятивные статистические распределения мощности горизонтов (общая выборка): 1 – гор. Р (агрогумусовый, $n = 178$); 2 – гор. ВМК (ксерометаморфический, $n = 45$); 3 – гор. Вса (недиагностический горизонт, вскипающий от HCl и не содержащий карбонатных новообразований, $n = 61$); 4 – гор. ВСА (аккумулятивно-карбонатный, $n = 137$); 5 – признак sp (солонцеватый, $n = 109$).

Современные почвы опытной станции имеют сравнительно мощный агрогумусовый горизонт Р, созданный человеком, и широкий диапазон изменения мощности слоя с признаками солонцеватости первичной и вторичной (полив водами с повышенным содержанием натрия) природы. Большой диапазон изменения мощности горизонта ВСА от 6 до 107 см свидетельствует о существенной роли эрозионных процессов в ирригационном агроландшафте.

Сравнение серии кумулятивных распределений глубины границ горизонтов двух типов по классификации почв России: агрокаштановых почв (профиль Р-ВМКsn-Вса,sn-ВСапс,sn-ВСапс-ВСа) и агроземов аккумулятивно-карбонатных (профиль Р-(Вса,sn)-ВСапс,sn-ВСапс-ВСа), которые по классификации СССР относятся к одному подтипу светло-каштановых почв, демонстрирует заметное их различие по глубине вскипания, верхней границе гор. ВСапс и нижней границе распространения признаков солонцеватости, а также отсутствию ВМК в агроземах (рис. 3).

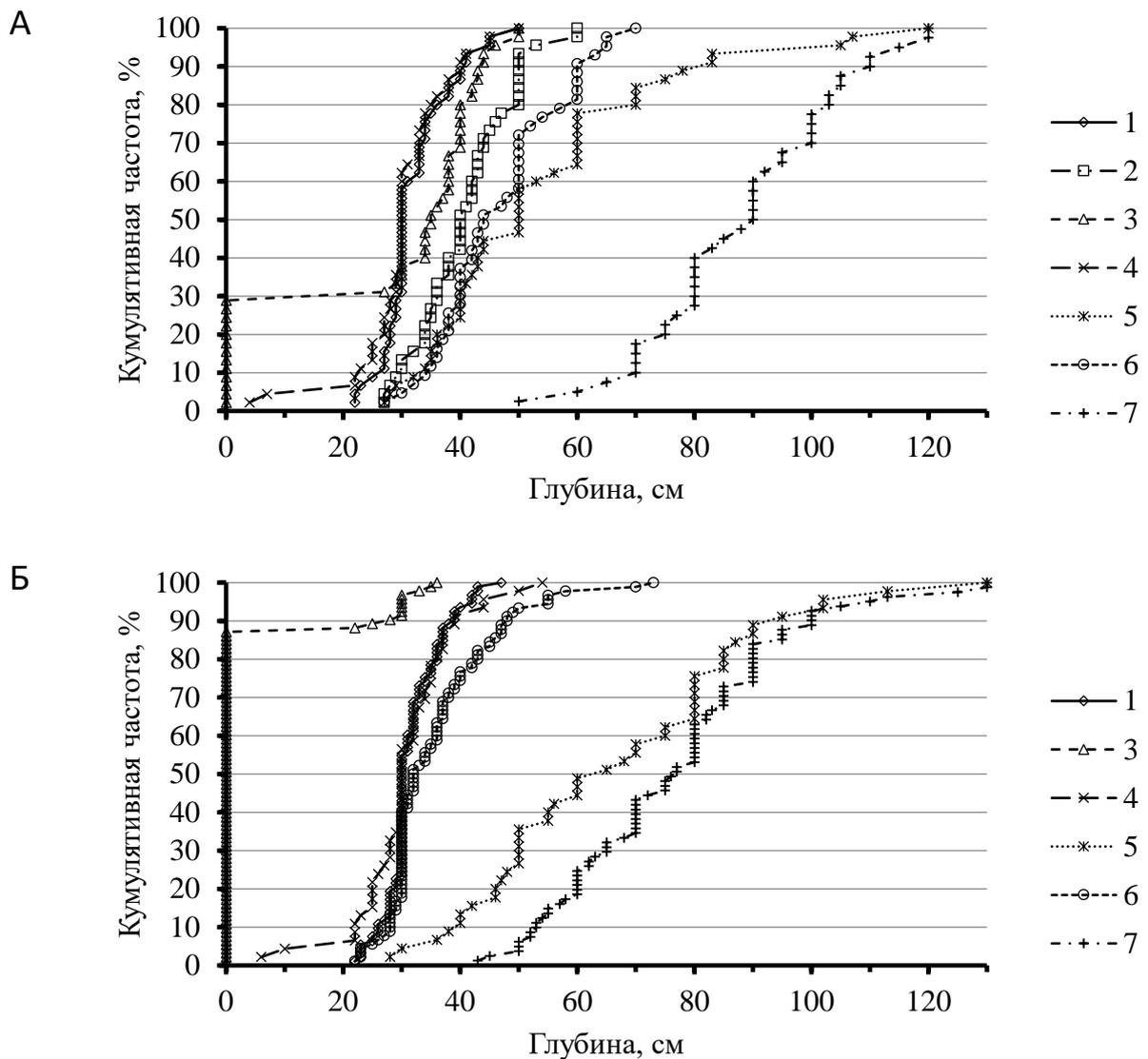


Рис. 3. Статистические портреты агрокаштановых почв (А) и агроземов аккумулятивно-карбонатных (Б) опытной станции по эмпирическим распределениям глубины границ разных горизонтов: 1 – нижняя граница гор. Р (агрогумусового); 2 – нижняя граница гор. ВМК (ксерометаморфического); 3 – верхняя граница вскипания от HCl; 4 и 5 – верхняя и нижняя границы признаков солонцеватости, соответственно; 6 и 7 – верхняя и нижняя границы гор. ВСа (аккумулятивно-карбонатного).

Выводы

1. Эмпирические распределения глубины и мощности разных горизонтов почв как для всей выборки, так и для выборок отдельных почв не могут быть аппроксимированы нормальным распределением.

2. Типы по классификации почв России в пределах опытной станции заметно различаются по совокупности распределений глубины горизонтов.

Благодарности

Автор выражает признательность и.о. директора ВНИИОЗа доктору технических наук А.Е. Новикову за содействие в проведении полевых работ.

Список литературы

1. Полевой определитель почв России. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2008. 182 с.
2. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972. 335 с.

VARIATION OF DEPTH AND THICKNESS OF HORIZONS IN SOIL COVER PATTERN AT EXPERIMENTAL STATION «IRRIGATED»

Khitrov Nikolay Borisovich

Federal Research Centre V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
Moscow, Russia

E-mail: khitrovnb@gmail.com

Abstract. Statistical portrait of the farm's soil cover is represented as series of cumulative statistical distributions of soil horizon's depth and thickness. Soil cover pattern concise irrigated and dry-land soil combinations of Haplic or Luvic Protosodic Kastanozems and Solonetz.

Keywords: cumulative statistical distribution, irrigated soils, carbonate soil profile

УДК 631.4:519.2

ИНФОРМАЦИОННАЯ ОЦЕНКА СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ СОДЕРЖАНИЯ ИЛА В ЧЕРНОЗЕМАХ ЮЖНЫХ НА ЮГЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Михеева Ирина Викторовна, Оплеухин Алексей Александрович

ФГБУН Институт почвоведения и агрохимии СО РАН,

Новосибирск, Россия

E-mail: mikheeva@issa-siberia.ru

Аннотация. Оценка изменений почв проведена на основе модели, представляющей совокупность вероятностных распределений свойств, которые были определены на основе базы данных, созданной по материалам исследований почв Прииртышской равнины. Произведены расчеты и анализ информационной энтропии и дивергенции.

Ключевые слова: современная эволюция почв, гранулометрический состав, вероятностные распределения, информационные энтропия и дивергенция

Введение. Пахотное использование почв вызывает существенные изменения почвенного профиля. Агрогенез весьма разнообразно влияет на почвообразовательные процессы, в том числе вызывает трансформацию глинистых минералов, в почвенном профиле усиливается миграция твердого вещества, которая представляет собой комплекс природно-агрогенных ускоренных необратимых процессов: элювиирования суспензий из верхних горизонтов и их иллювиирования в более глубокие слои почвы. Эти изменения необратимы и являются длительной памятью почв [10]. В результате суммарного действия этих процессов происходят более или менее выраженные в пространстве изменения содержания илистой фракций в почвенном профиле, которые сопровождаются трансформацией пространственной вариабельности. Даже небольшие по величине, но выраженные на обширной территории, эти изменения могут существенно влиять на экологические и утилитарные функции почвы. Поэтому важно дать достоверную количественную оценку этим современным процессам, особенно в интенсивно используемых пахотных почвах агроландшафтов юга Западной Сибири. Свойства почв характеризуются значительной пространственной вариабельностью, поэтому для количественной оценки ее трансформаций, особенно на больших территориях необходимы вероятностно-статистический и информационный подходы.

Методология. Обычно при оценке изменений свойств почв используют анализ изменений средних значений признаков, реже характеристик варьирования. Проведенные ранее исследования [3, 5] показали, что количественные изменения почв заключаются в трансформации структуры варьирования свойств, что может отражаться или не отражаться в существенных изменениях средних значений. При этом происходит перестройка вероятностей значений свойств, увеличение или уменьшение разброса, появление или устранение асимметрии и эксцесса статистического распределения. Поэтому функции вероятностно-статистических распределений содержат больше информации о количественной выраженности изучаемых свойств и их изменениях в результате как антропогенных, так и природных процессов, чем отдельные статистические показатели. Предложенная нами количественная модель состояния почвы представляет собой набор вероятностно-статистических распределений (ВСП) свойств почвы в пределах исследуемого объекта [7]. Методика идентификации ВСП почвенных свойств на основе статистических выборок фактических данных с использованием ППП "ISW" [2] изложена в [8]. Предлагаемый информационный подход позволяет количественно оценивать трансформации почв по динамике информационных показателей ВСП их свойств [4, 6].

При этом характеристика варьирования свойства дается с помощью информационной энтропии, рассчитываемой по его ВСП $f(x)$ [1]:

$$s = - \int f(x) \ln f(x) dx . \quad (1)$$

Изменения ВСП оцениваются с помощью информационных показателей - относительного изменения информационной энтропии

$$\Delta s = \frac{s_1 - s_2}{s_1} \times 100 , \% \quad (2)$$

где s_1 и s_2 – значения энтропии в моменты времени t_1 и t_2 ; и дивергенцией

$$d = \int (W1(x) - W2(x)) \ln \left(\frac{W1(x)}{W2(x)} \right) dx \quad (3)$$

где $W1(x)$ и $W2(x)$ – сравниваемые функции ВСП. Для расчета информационных показателей использована программная среда «R».

Объекты и методы. В статье представлены результаты вероятностно-статистической и информационной оценки свойств почв значительной территории юга Западной Сибири. В геоморфологическом отношении территория является центральной частью Прииртышской

равнины, сложенной породами супесчаного, легкосуглинистого и среднесуглинистого гранулометрического состава. Основная площадь данной территории использовалась и продолжает интенсивно использоваться под пахотное земледелие для выращивания пшеницы, кукурузы, многолетних трав. Почвы преимущественно черноземные южные (Haplic Chernozem Pachic). На изученной территории наиболее распространены почвы легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава, поэтому в данной статье дана оценка состояния этих почв.

Методы и исходные данные. В статье анализируются и оцениваются изменения ВСП содержания ила (по Качинскому) в слоях почвы 0-20, 20-30, 30-50 и 50-100 см в начале шестидесятых и конце восьмидесятых годов двадцатого столетия. Исходными данными послужили материалы крупномасштабных (1:25000) почвенных исследований, проведенных на территории в разное время стандартными методами [9]. Все полученные данные служили для создания банка данных. Каждая информационная строка в базах данных характеризует такие параметры почвы, как глубина слоя, содержание гумуса, рН, содержание гранулометрических фракций и др. Первым обязательным этапом анализа данных была группировка данных по почвенно-генетическому принципу. Каждая группа относится к одному моменту времени, одному подтипу и литологической разновидности почвы. Объем полученных статистических выборок составлял 39-130 почвенных разрезов, в зависимости от распространенности конкретной группы почв, что было достаточно для проведения вероятностно-статистического и информационного анализа. Правильность и достоверность группировки была доказана унимодальностью полученных вероятностных распределений и высоким уровнем значимости.

Результаты исследования. Полученные статистические характеристики содержания ила в черноземах южных, на начало и конец исследуемого тридцатилетнего периода, показали, что в легкосуглинистой (так и в среднесуглинистой) разновидности черноземов южных существенно увеличились средние значения содержания ила, что особенно выражено в поверхностном слое. При этом в верхнем полуметре в обеих разновидностях черноземов южных произошло весьма значительное уменьшение стандартного отклонения. Для информационного анализа изменений были определены модели ВСП содержания ила (СИ) на начало и конец исследуемого периода (табл. 1). Полученные функции ВСП относятся к двум группам - симметричные с разной выраженностью концентрации центральной части (нормальное,

логистическое, Коши, Лапласа, двойное экспоненциальное) и несимметричные, обладающие в той или иной степени выраженной правой асимметрией и более или менее выраженной центральной частью (Ln-нормальное, Su-Джонсона). ВСР СИ в легкосуглинистой разновидности в начале 60-х годов в слоях верхней полуметровой толщи характеризовались симметричными функциями (нормальное, логистическое, Коши), и во втором полуметре ВСР СИ обладало небольшой асимметрией (Ln-нормальное).

Таблица 1. Вероятностно-статистические распределения содержания ила в черноземах южных легкосуглинистых

| Слой, см | Функция | Параметры ^a θ_0, θ_1 | Достигнутая вероятность p по критериям | | | | p сред. |
|---------------|----------|--|---|----------|------------|------------|--------------|
| | | | Колмогорова | Смирнова | ω^2 | Ω^2 | |
| 1963 (n = 53) | | | | | | | |
| 0-20 | N | 12,16; 2,03 | 0,22 | 0,44 | 0,26 | 0,35 | 0,32 |
| 20-30 | Логист. | 15,63; 1,8 | 0,99 | 0,98 | 1,00 | 1,00 | 0,99 |
| 30-50 | Коши | 14,91; 1,85 | 0,61 | 0,53 | 0,54 | 0,34 | 0,51 |
| 50-100 | Ln-норм. | 2,68; 0,23 | 0,65 | 0,88 | 0,70 | 0,82 | 0,76 |
| 1989 (n = 65) | | | | | | | |
| 0-20 | N | 15,97; 1,69 | 0,59 | 0,36 | 0,45 | 0,49 | 0,47 |
| 20-30 | Ln-норм. | 2,80; 0,12 | 0,35 | 0,70 | 0,59 | 0,51 | 0,54 |
| 30-50 | Ln-норм. | 2,81; 0,15 | 0,80 | 0,94 | 0,94 | 0,90 | 0,89 |
| 50-100 | Ln-норм. | 2,70; 0,20 | 0,90 | 0,56 | 0,84 | 0,82 | 0,78 |

^a Порядок параметров: θ_0 - сдвига, θ_1 - масштаба

За исследуемый период ВСР СИ в поверхностном горизонте сместилось вправо в сторону повышенных значений. Среднее значение, которое, в случае нормального распределения является параметром сдвига, увеличилось на 3,8%, при небольшом уменьшении параметра масштаба, в данном случае, дисперсии. Тип ВСР при этом не изменился, однако вероятность пониженных значений содержания ила 5-10% уменьшилась практически до нуля, зато значительно увеличилась вероятность значений 15-20% (рис. 1).

В слоях 20-30 и 30-50 см перестройка ВСР СИ также заключается в уменьшении вероятностей пониженных для данных горизонтов, на начало периода, значений содержания ила и небольшом увеличении вероятностей повышенных значений. Эти изменения выражены в этих слоях намного менее значительно, чем в поверхностном горизонте и не привели к существенным смещениям ВСР, несмотря на выраженные

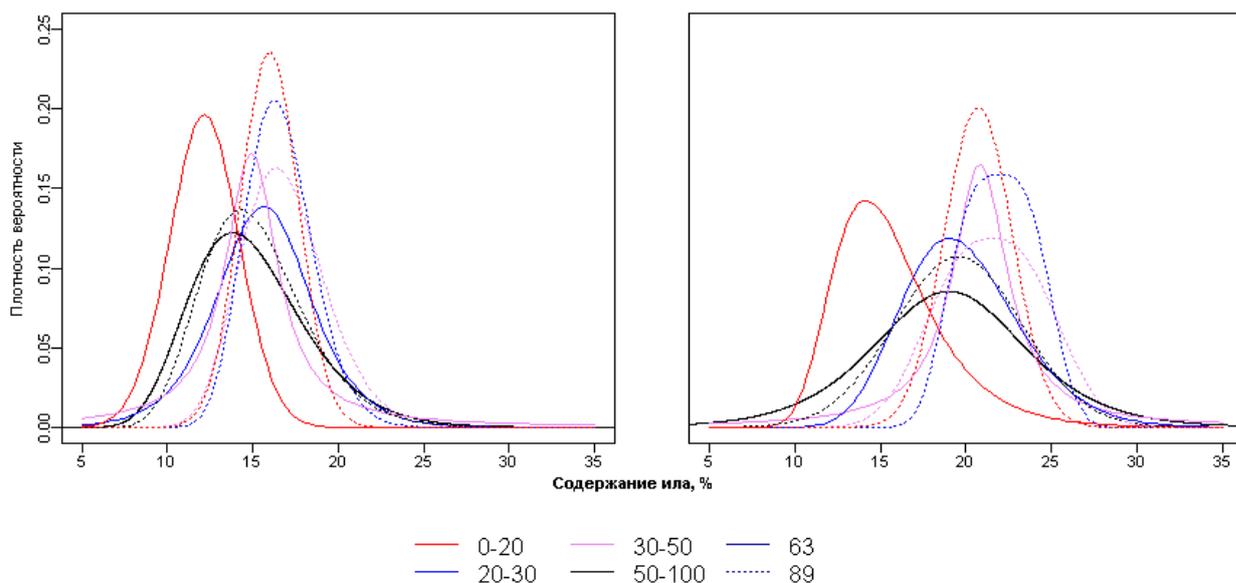


Рис. 1. Функции вероятностно-статистического распределения содержания ила в черноземах южных в 1963 и 1989 годах: слева - легкосуглинистый; справа - среднесуглинистый.

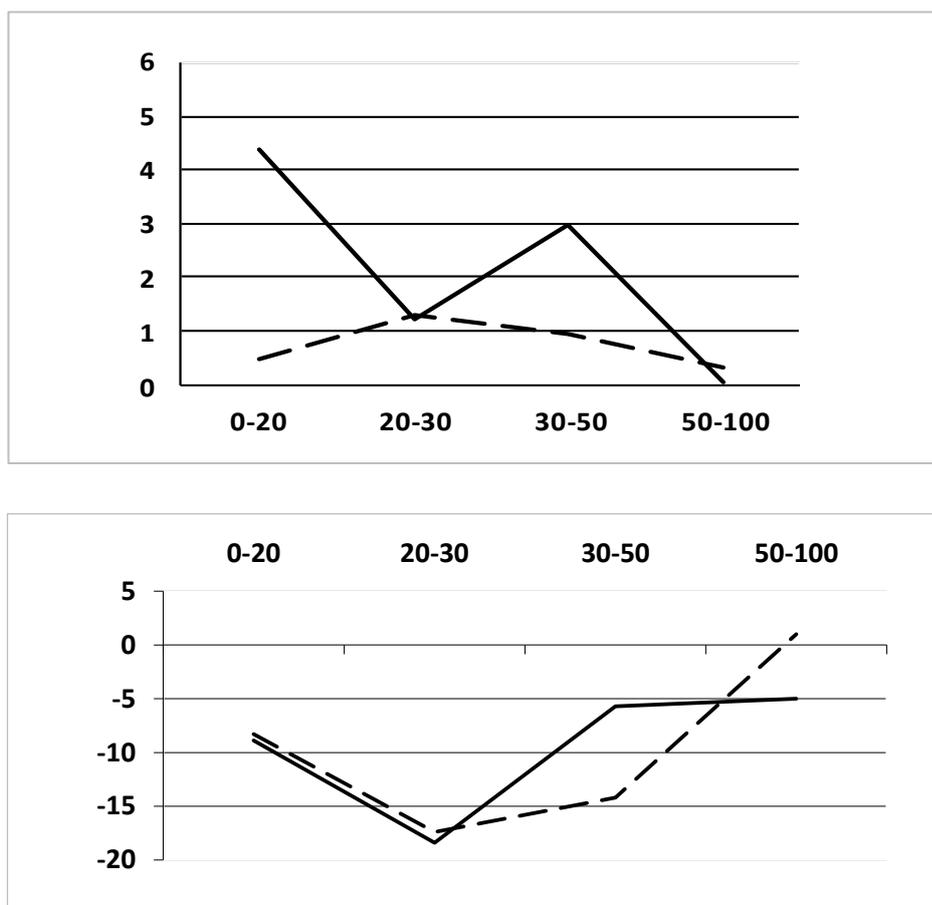


Рис. 2. Информационные характеристики содержания ила (сплошная линия) в черноземе южном легкосуглинистом за период 1963-1989 гг: слева - относительное (%) изменение информационной энтропии; справа - информационная дивергенция.

изменения средних значений. Однако перестройка структуры вероятностей привела к изменению типов распределений исходно симметричных логистического и Коши в Ln-нормальное, с небольшой степенью выраженности правой асимметрии. В слое 50-100 перестройка ВСП СИ аналогична, но выражена в гораздо меньшей степени, чем в более высоких горизонтах, при этом его тип и параметры существенно не изменились.

Графики, представленные на рисунке (рис. 2, слева), показывают, что относительное изменение информационной энтропии (ИЭ) содержания ила за исследованный период отрицательно практически во всех слоях почвы, что говорит об убывании ИЭ, которое произошло, как было показано выше, вследствие перестройки ВСП, а в некоторых случаях сдвига. Относительное убывание ИЭ СИ в наибольшей степени (-18,4%) выражено в слое 20-30 см. В других слоях почвы это убывание менее 10%.

Информационная дивергенция (ИД) СИ (рис. 2, справа) максимальна в поверхностном горизонте и в слое 30-50 см. Вспашка приводит к смешиванию верхнего почвенного горизонта и гомогенизирует верхний слой. Информационная дивергенция ВСП СИ произошла в результате выраженной тенденции к увеличению нижнего лимита варьирования.

Трансформация ВСП СИ внутри почвенного профиля, по-видимому, вызвана усилением внутрипрофильного перемещения илистых частиц из верхних горизонтов почвы в более глубокие слои. Данный процесс можно оценить как слабый или умеренный, поскольку изменения коснулись только нижней части интервала варьирования и не привели к смещению верхнего лимита варьирования.

Заключение. ИЭ и ИД являются скалярными индикаторами при оценке изменений свойств в результате эволюционных трансформаций почв. Полученные ВСП СИ являются вероятностно-статистическими эталонами для сравнения с прошедшими, текущими и будущими результатами исследований почв на изученной и соседних территориях для изучения современных эволюционных процессов.

Благодарности. Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН.

Список литературы

1. Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. М.: Наука, 1987. 304 с.
2. Лемешко Б.Ю. Статистический анализ одномерных наблюдений случайных величин: Программная система. Новосибирск: Новосиб. гос. техн. ун-т., 1995. 125 с.

3. Михеева И.В. Вероятностно-статистические модели свойств почв (на примере каштановых почв Кулундинской степи). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 200 с.
4. Михеева И.В. Статистическая энтропия как критерий оценки эволюции и динамики почвенного покрова // Сибирский экологический журнал. 2004. № 3. С. 445-454.
5. Михеева И.В. Вероятностно-статистическая оценка устойчивости и изменчивости природных объектов при современных процессах (на примере каштановых почв Кулундинской степи). Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005. 103 с.
6. Михеева И.В. Дивергенция вероятностных распределений свойств почв как количественная характеристика трансформации почвенного покрова // Сибирский экологический журнал. 2009. № 6. С. 231-236.
7. Михеева И.В. Вероятностно-статистическая и информационная оценка современных процессов в природных объектах на основе данных почвенного мониторинга // Вестник СГУГиТ. 2017. Том 22. № 4. С. 220-236.
8. Михеева И.В., Оплеухин А.А. Идентификация вероятностно-статистических моделей свойств экологических систем и их информационная оценка // Вестник СГУГиТ. Т. 23. № 4. 2018. С. 226-248.
9. Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных карт землепользования. М.: Колос, 1973.
10. Память почв: почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий / отв. ред. В.О. Таргульян, С.В. Горячкин. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 692 с.

INFORMATIONAL ASSESSMENT OF MODERN CHANGES IN SILT CONTENT IN THE CHERNOZEM SOUTHERN IN SOUTH OF WESTERN SIBERIA

Mikheeva Irina Viktorovna, Opleukhin Alexey Alexandrovich

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS,

Novosibirsk, Russia

E-mail: mikheeva@issa-siberia.ru

Abstract. The assessment of soil changes was carried out on the basis of a model representing a set of probabilistic distributions of properties, which were determined on the basis of database created from soil studies of Priirtishskaia Plain. Calculations and analysis of information entropy and divergence were made.

Keywords: modern soil evolution, granulometric composition, probabilistic distributions, informational entropy and divergence

**ПРИМЕНЕНИЕ ИЕРАРХИЧЕСКОГО ДИСПЕРСИОННОГО
АНАЛИЗА В ОЦЕНКЕ УРОВНЕЙ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ
НЕОДНОРОДНОСТИ ТОРФЯНЫХ ПОЧВ
НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ О. САХАЛИН**

*Липатов Денис Николаевич, Манахов Дмитрий Валентинович,
Щеглов Алексей Иванович*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
факультет почвоведения, Москва, Россия
E-mail: dlip@soil.msu.ru

Аннотация. На основе иерархического дисперсионного анализа выявлено, что свойства подстилочного горизонта характеризуются значительным микроварьированием (в пределах 10×10 метров). В верхних торфяных горизонтах для зольности, рН, влажности отмечены пространственные структуры протяженностью 50×50 и 1000×1000 метров.

Ключевые слова: олиготрофный торф, торфяно-глееземы, болотные почвы, пространственное варьирование

Введение. Торфам присуща вертикальная и латеральная неоднородность морфологических, физических и химических свойств. На острове Сахалин болота занимают около 7,5% общей площади территории. Запасы торфа в Сахалинской области оцениваются в 5,8 миллиардов тонн. На о. Сахалин преобладающим типом торфообразования является олиготрофный (или верховой) [2], типичны болота выпуклого типа [3]. В различных районах Сахалинской области широко распространены заболоченные леса, однако их почвенный покров остается недостаточно изученным. Цель работы – оценить неоднородность некоторых физических и химических свойств торфяных почв на нескольких пространственных уровнях в границах заболоченной территории площадью 1 км^2 на северо-востоке о. Сахалина.

Объекты и методы. Полевые исследования проводились в 2012 году на территории болотных угодий и заболоченных лесов в междуречье рек Оркуньи и Ватунг с географическими координатами: $51^\circ 24' - 51^\circ 26'$ северной широты и $143^\circ 21' - 143^\circ 23'$ восточной долготы в Ногликском районе Сахалинской области. Применялась иерархическая трехуровневая схема опробования. В углах территории площадью $1 \times 1 \text{ км}$ были выбраны 4 квадрата 50×50 метров, в каждом из которых проводили пробоотбор в 25 точках по равномерной сетке с шагом $10 \times 10 \text{ м}$. Образцы отбирались из подстилочного (очеса) и

нижележащего торфяного до глубины 25 см. В ходе полевых работ в каждой точке измеряли мощность очеса и проводили отбор кернов для определения плотности и влажности торфяных почв [4]. В лабораторных исследованиях влажность оценивали термостатно-весовым методом; рН_{сол} – в солевой вытяжке потенциометрически; зольность – с помощью озоления навесок и прокаливания остатка при температуре 540 °С.

Результаты и обсуждение. Почвенный покров исследованных болотных угодий состоит из торфяных олиготрофных, торфяных олиготрофных глеевых и пирогенных торфяных глеевых почв. В заболоченных лиственничных лесах характерны торфяные олиготрофные глеевые почвы и торфяно-глееземы.

Пространственное распределение мощности очеса для торфяных олиготрофных глеевых почв удовлетворяло нормальному закону, тогда как для торфяных олиготрофных и торфяно-глееземов отмечена логнормальность (табл. 1). Для торфяных олиготрофных почв зафиксированы максимальные значения и размах варьирования мощности очеса (гор. Оч). Минимум мощности подстилочного горизонта выявлен в пирогенной торфяной глеевой почве вследствие ее слабого развития после пожаров. Зафиксированные на болотных угодьях, мощности подстилочного горизонта были более высокие, чем в заболоченных лесах. Это связано с замедленностью процессов разложения органических остатков в болотных экосистемах. Коэффициенты вариации для мощности гор. Оч в исследованных болотных и заболоченных экосистемах составили 20,4–47,6%. Они в 2–4 раза меньше коэффициентов вариации, характерных для мощности подстилки в лесных биогеоценозах [1].

Размах варьирования влажности верхних горизонтов в исследованных почвах составлял более 500% (табл. 1), отражая неравномерность накопления влаги атмосферных осадков и иссушения в очесе и торфяных горизонтах. Максимальные значения влажности отмечены в точках с локальным переувлажнением, приуроченным к микропонижениям. Минимальные значения влажности, ниже 100 %, отмечены в морфонах пирогенного гор. Т_{Ориг} и гор. Т_{тг} с высокой степенью разложения торфа и примесью минеральной массы.

Плотность гор. Оч исследованных почв варьирует в диапазоне 0,01–0,11 г/см³. Горизонты Т_{Ориг} и Т_{тг} более плотные, чем Оч и Т_{О1}. Пространственное распределение влажности и плотности торфяных почв в большинстве случаев удовлетворяло нормальному закону. Коэффициенты вариации влажности и плотности торфяных почв в несколько раз выше установленных в автоморфных почвах.

Таблица 1. Статистические показатели свойств в верхних горизонтах (n = 25 для каждой исследованной почвы)

| Статистические характеристики | Мощность, см | Влажность, % (масса) | Плотность, г/см ³ | pH _{сол} | | Зольность, % | | | |
|---|--------------|----------------------|------------------------------|-------------------|-------|--------------|-------|------|-------|
| Торфяная олиготрофная среднemoshная (№ 1) | | | | | | | | | |
| | Гор. Оч | Оч | ТО1 | Оч | ТО1 | Оч | ТО1 | Оч | ТО1 |
| Среднее | 9,5 | 461 | 575 | 0,07 | 0,13 | 3,06 | 3,00 | 8,8 | 4,4 |
| Минимум | 5,6 | 285 | 388 | 0,02 | 0,09 | 2,91 | 2,86 | 2,5 | 2,9 |
| Максимум | 25,0 | 926 | 850 | 0,10 | 0,19 | 3,21 | 3,30 | 25,4 | 7,7 |
| Квар., % | 44,3 | 34,9 | 19,6 | 28,9 | 21,0 | 2,6 | 3,2 | 52,1 | 23,0 |
| Закон распр. | LN | LN | N | N | N | N | N | LN | – |
| Торфяная олиготрофная глеевая остаточно-эутрофная иловато-торфяная (№ 2) | | | | | | | | | |
| | Гор. Оч | Оч | ТО1 | Оч | ТО1 | Оч | ТО1 | Оч | ТО1 |
| Среднее | 6,3 | 518 | 441 | 0,05 | 0,20 | 3,13 | 3,35 | 8,6 | 29,1 |
| Минимум | 3,7 | 113 | 89 | 0,03 | 0,04 | 2,94 | 2,90 | 3,9 | 5,5 |
| Максимум | 9,0 | 1049 | 803 | 0,09 | 0,53 | 3,34 | 3,85 | 34,8 | 79,4 |
| Квар., % | 20,4 | 56,0 | 49,4 | 31,1 | 74,0 | 3,2 | 7,3 | 77,4 | 95,5 |
| Закон распр. | N | N | N | N | LN | N | N | – | LN |
| Пирогенная торфяная олиготрофная глеевая (№ 3) | | | | | | | | | |
| | Гор. Оpir | Оpir | ТОpir | Оpir | ТОpir | Оpir | ТОpir | Оpir | ТОpir |
| Среднее | 8,7 | 515 | 364 | 0,05 | 0,34 | 3,26 | 3,22 | 7,0 | 23,7 |
| Минимум | 2,0 | 253 | 34 | 0,01 | 0,09 | 2,98 | 2,89 | 3,9 | 3,1 |
| Максимум | 17,3 | 852 | 659 | 0,11 | 1,11 | 3,94 | 3,87 | 22,7 | 91,4 |
| Квар., % | 47,6 | 28,8 | 54,8 | 46,1 | 94,3 | 6,9 | 9,5 | 51,5 | 140,8 |
| Закон распр. | N | N | N | N | LN | LN | LN | – | (2M) |
| Торфяно-глеезем потечно-гумусовый иловато-торфяный ожелезненный (№ 4) | | | | | | | | | |
| | Гор. Оч | Оч | Тmr | Оч | Тmr | Оч | Тmr | Оч | Тmr |
| Среднее | 6,3 | 377 | 254 | | 0,34 | 3,30 | 3,51 | 7,1 | 51,3 |
| Минимум | 3,5 | 118 | 70 | | 0,07 | 3,03 | 3,14 | 4,8 | 6,4 |
| Максимум | 12,0 | 665 | 607 | | 0,85 | 3,70 | 3,87 | 8,8 | 86,5 |
| Квар., % | 33,7 | 40,9 | 69,0 | | 58,4 | 6,3 | 5,9 | 13,5 | 57,0 |
| Закон распр. | LN | N | LN | | N | N | N | N | (2M) |

Примечание. Законы распределения: N – нормальный, LN – логнормальный, прочерк – не подчиняется этим законам, (2M) – двумодальное распределение.

Значения рН_{сол} в верхних горизонтах исследованных торфяных почв соответствуют очень сильнокислой реакции среды (рН_{сол} < 3,5). Наибольшая кислотность отмечена в торфяной олиготрофной почве. В пирогенной торфяной глеевой почве и торфяно-глееземе размах варьирования рН_{сол} шире за счет увеличения максимальных значений. Во многих почвенных горизонтах подтвержден нормальный закон распределения рН_{сол} (см. табл. 1), однако в гор. Т_{ориг} пирогенной торфяной глеевой почвы зафиксирована логнормальность, обусловленная локальным подщелачиванием среды в прослоях золы.

Средние значения зольности в гор. Оч сходны для всех исследованных почв и составляют 7,0–8,8 %, тогда как в верхних торфяных горизонтах отмечены значительные различия. Наименьшая зольность отмечена в гор. Т_{О1} торфяной олиготрофной почвы, а наибольшая – в гор. Т_{тг} торфяно-глеезема. Пространственное распределение зольности в верхних горизонтах торфяных почв характеризуется коэффициентами вариации от 13,5 до 140,8 % (см. табл. 1). В гор. Оч торфяной олиготрофной и гор. Т_{О1} торфяной глеевой почвы отмечен логнормальный закон распределения зольности. В гор. Т_{ориг} и Т_{тг} распределение зольности проявляет двумодальность, при этом моды в области высоких значений относятся к торфу с прослоями углей и минеральной массы. Варьирование зольности в очесе и торфяных горизонтах связано с изменениями состава растительных остатков в различных биогеоценологических условиях, с неоднородностью процессов торфонакопления, а также с процессами вторичной минерализации торфов и локальными пирогенными явлениями.

Реализованная в работе, схема почвенного опробования формирует двухфакторный иерархический дисперсионный комплекс. При этом варьирование на всей исследованной территории 1 км² между 4 квадратами можно рассматривать в качестве макроварьирования. Варьирование внутри этих квадратов 50 × 50 метров между малыми квадратами 10 × 10 метров соответствует мезоварьированию. В такой схеме микроварьирование между точками внутри малых квадратов 10 × 10 метров формирует случайную составляющую иерархического дисперсионного комплекса. Дисперсионный анализ проведен для переменных после их логарифмического преобразования. Результаты иерархического дисперсионного анализа представлены на основе полученных значений F-критерия Фишера и оценок долей дисперсии, соответствующих каждому пространственному уровню (табл. 2).

В подстилочном горизонте значительный вклад в дисперсию почвенных показателей вносит микронеоднородность в пределах квадратов 10 × 10 м. При этом не зафиксировано статистически значимого увеличения варьирования в квадратах 50 × 50 метров для

плотности, а в квадрате 1×1 км для зольности горизонта Оч. По-видимому, основная доля варьирования этих показателей сформирована в пределах отдельных биогеоценозов. Микровариабельность очеса на болотах может развиваться под влиянием неоднородности мохового и кустарничкового покрова, а в заболоченных лесах формироваться вследствие парцеллярной структуры фитоценозов.

Таблица 2. Результаты двухфакторного дисперсионного анализа для варьирования свойств верхних горизонтов исследованных почв на различных пространственных масштабах

| Показатели, горизонт | F-критерий Фишера | | Доля дисперсии, % | | |
|-------------------------|----------------------|------------------|--------------------|---------------------|---------------------|
| | 1×1 км | 50×50 м | 1×1 км | 50×50 м | 10×10 м |
| Мощность гор. Оч | 4,62* | 2,02* | 29,2 | 16,2 | 54,6 |
| Влажность гор. Оч | 3,65* | 2,14* | 23,4 | 18,7 | 57,9 |
| Влажность гор. ТО1(Т) | 4,07* | 4,60* | 34,9 | 35,6 | 29,5 |
| Плотность гор. Оч | 5,57* | 1,15 | 25,5 | 2,9 | 71,6 |
| Плотность гор. ТО1(Т) | 2,44 | 2,71* | 15,3 | 26,8 | 57,9 |
| pH гор. Оч | 4,12* | 2,26* | 38,3 | 15,4 | 46,3 |
| pH гор. ТО1(Т) | 10,0* | 3,9* | 65,2 | 21,5 | 13,3 |
| Зольность гор. Оч | 0,67 | 2,92* | 5,6 | 34,0 | 70,4 |
| Зольность гор. ТО1(Т) | 7,58* | 4,95* | 58,3 | 28,3 | 13,4 |

Примечание. Статистически значимые $F^* > F_{0,05}$

В верхней торфяной толще для зольности, влажности и pH_{сол} статистически значимо выражена макронеоднородность между различными подтипами почв, выделенными на исследованной территории 1×1 км. Плотность верхних торфяных горизонтов характеризуется значимым увеличением дисперсии при переходе к квадратам 50×50 метров. Выявленные особенности пространственного варьирования свойств торфяных почв могут использоваться для оптимизации систем пробоотбора.

Выводы

1. Пространственное варьирование свойств исследованных торфяных почв сформировано процессами, выраженными на разномасштабных уровнях организации.
2. Вариабельность свойств подстилочного горизонта определяется влиянием локальных факторов с участием неравномерности мохово-кустарничковой растительности.

3. Пространственная неоднородность зольности, кислотности и влажности верхних торфяных горизонтов обусловлена процессами, характеризующимися латеральной протяженностью в сотни и тысячи метров, и связана со структурой почвенного покрова болотных и заболоченных угодий.

Благодарности

Исследование проводилось при поддержке Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ им. М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

Список литературы

1. Благовещенский Ю.Н., Богатырев Л.Г., Соломатова Е.А., Самсонова В.П. Пространственная изменчивость мощности подстилки в лесах Карелии // Почвоведение. 2006. № 9. С. 1029-1035.
2. Властова Н.В. Торфяные болота Сахалина. Л.: Изд-во Академии наук СССР. 1960. 167 с.
3. Инишева Л.И. Болотоведение: учебник для вузов. Томск: Изд-во ТГПУ, 2009. 210 с.
4. Шваров А.П., Смагин А.В., Дембовецкий А.В., Умарова А.Б., Поздняков А.И., Фаустова Е.В. Полевые методы определения физических свойств торфяных и минеральных почв / под ред. проф. Е.В. Шеина. М.: Гриф и К, 2012. 140 с.

APPLICATION OF HIERARCHICAL ANOVA IN ASSESSING THE LEVELS OF SPATIAL HETEROGENEITY OF PEAT SOILS IN THE NORTH-EAST OF SAKHALIN ISLAND

Lipatov Denis, Manakhov Dmitry, Shcheglov Alexey

Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty,
Moscow, Russia

E-mail: dlip@soil.msu.ru

Abstract. Based on the hierarchical analysis of variance, it was revealed that the properties of the litter horizon are characterized by a significant microvariation (10 × 10 meters). In the upper peat horizons, spatial structures with a length of 50 × 50 and 1000 × 1000 meters are marked for ash content, pH, and moisture.

Keywords: oligotrophic peat, peat-glezes, wetland soils, spatial variation

**ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА НА УРОВНЕ
ПРОБНЫХ ПЛОЩАДОК
(ЯРОСЛАВСКАЯ ОБЛАСТЬ, ВЕРХНЯЯ ВОЛГА)**

*Симонова Юлия Владимировна, Русаков Алексей Валентинович,
Рюмин Александр Георгиевич*

Санкт-Петербургский государственный университет,
Санкт-Петербург, Россия,
E-mail: uvsim@yandex.ru

Аннотация. В работе обсуждаются запасы углерода залежных и пахотных почв южной тайги и их неоднородность на уровне участка. По запасам углерода большинство площадок имеют низкие коэффициенты вариации (< 15%) и не имеют между собой значимых различий, оцененных с помощью попарного сравнения по критерию Тьюки.

Ключевые слова: залежи, критерий Тьюки, неоднородность.

Введение. Локальная пространственная изменчивость существенно влияет на оценку содержания и запасов элементов, которые особенно чувствительны к изменениям вида землепользования, поэтому влияние горизонтальной неоднородности не следует игнорировать при планировании дальнейшего использования площадей в сельском хозяйстве, получения устойчивого урожая [5], оценки региональных углеродных пулов [3] и достоверности временной динамики [2].

Задача настоящего исследования состояла в оценке запасов углерода, их пространственной изменчивости и различий на уровне пробных площадок залежных и пахотных почв южной тайги территории Ярославского Поволжья.

Объекты и методы. Исследования проводились в Пошехонском районе, на севере Ярославской области (Россия) вблизи Рыбинского водохранилища бассейна Верхней Волги. Всего почвенное обследование было выполнено на 12 пробных площадках размером 20 × 20 м. Отбор проб на каждом участке производился из 9 разрезов. Точки отбора проб были заложены по равномерной сети с шагом 10 м. В пределах верхней толщи (0–20 см) пробы отбирались из 2–3 слоев.

В образцах почв на анализаторе CHN628 (LECO) определялось общее содержание углерода (Сорг). Запас Сорг оценивался с учетом плотности сложения каждого из слоев. Плотность сложения определялась методом режущих цилиндров. Запасы Сорг в каждом разрезе были рассчитаны как средневзвешенные значения на 20-сантиметровую мощность.

Описательная статистика, разведочный и дисперсионный анализ выполнялись в пакете R ver. 4.1.0.

Результаты и обсуждение. Из 12 изученных площадок 10 представляли собой постагрогенные злаково-разнотравные луговые фитоценозы разного возраста, а 2 были заняты пашней (лен). Статистическая характеристика пробных площадок приведена в табл. 1.

Анализ полученных величин выявил наиболее высокие средние значения запасов Сорг на площадке 2, занятой молодой (до 10 лет) некосимой залежью. Здесь же была обнаружена минимальная величина коэффициента вариации (8,2%). Остальные площадки также характеризовались низкой вариабельностью (< 15%), только для двух площадок коэффициент вариации незначительно превышал 20%. Минимальные средние значения запасов Сорг имели площадка 6 (7–10-летняя залежь) и площадки 4 и 5 (пахотные почвы). Степень варьирования пахотных почв по запасам Сорг занимала промежуточное положение в ряду залежных почв.

Полученные величины запасов Сорг (2,90–5,00 кг/м²) типичны для почв молодых и средневозрастных залежей южной тайги [4]. На фоне высокого разнообразия факторов, которые обусловили выраженность микропестроты пробных площадок, неоднородность запасов Сорг на уровне пробной площадки оказалась невысока. В ряде исследований [3, 1] наблюдали более высокую степень пространственной изменчивости на залежах по сравнению с пахотными почвами. Однако, в нашем исследовании почвы молодых (до 10 лет) залежей (площадки 2 и 6) характеризовались низкими величинами вариабельности запасов Сорг, сравнимыми с пашней или даже меньшими. Более того, при сопоставлении пахотной почвы (площадка 4) с ее полным постагрогенным аналогом (площадка 12), занятым 30-летней залежью, выяснилось, что пашня имела несколько более высокую вариабельность. Выбранные для изучения участки не являлись исходно однородными с точки зрения почвенных свойств и истории землепользования, поэтому их текущие различия не могут объясняться исключительно давностью забрасывания. В то же время, принимая во внимание размах вариации, интересно было понять, существенно ли различие запасов углерода по площадкам, и если таковое имеется, то какие именно площадки отличаются друг от друга.

Попарное сравнение групповых средних выполнялось с помощью теста Тьюки, учитывающего эффект множественных сравнений. Перед проведением дисперсионного анализа проверялись основные условия его применимости: нормальное распределение данных в пределах каждой группы и однородность групповых дисперсий.

Таблица 1. Результаты описательной статистики и разведочного анализа данных по запасам Сорг (кг/м²) для 20 см слоя

| № плоч. | мин | макс | среднее | SE | CI | SD | CV, % | W | p |
|------------|---|------|---------|------|------|------|-------|-------|-------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| 1 | Агродерново-подзолистая глееватая постагрогенная среднесуглинистая на карбонатных покровных суглинках, n = 9 | | | | | | | | |
| | 2,78 | 4,23 | 3,48 | 0,16 | 0,36 | 0,47 | 13,6 | 0,950 | 0,694 |
| 2 | Агрозем текстурно-дифференцированный глееватый постагрогенный среднесуглинистый на покровных суглинках, подстилаемых карбонатной мореной, n = 9 | | | | | | | | |
| | 4,42 | 5,58 | 5,00 | 0,14 | 0,32 | 0,41 | 8,2 | 0,931 | 0,494 |
| 3 | Агрозем светлый постагрогенный супесчаный на озерно-ледниковых отложениях, n = 9 | | | | | | | | |
| | 2,51 | 5,07 | 3,69 | 0,26 | 0,61 | 0,79 | 21,4 | 0,986 | 0,989 |
| 4 | Агрозем светлый среднепахотный супесчаный на озерных супесях, подстилаемых крупнопылеватыми озерными суглинками, n = 9 | | | | | | | | |
| | 2,56 | 3,88 | 3,07 | 0,14 | 0,32 | 0,42 | 13,6 | 0,947 | 0,658 |
| 5 | Агродерново-подзолистая глубокопахотная легкосуглинистая на покровных суглинках, подстилаемых мореной, n = 9 | | | | | | | | |
| | 2,80 | 3,67 | 3,14 | 0,09 | 0,21 | 0,27 | 8,5 | 0,916 | 0,357 |
| 6 | Агрозем текстурно-дифференцированный глееватый постагрогенный легкосуглинистый на карбонатных покровных суглинках, n = 9 | | | | | | | | |
| | 2,47 | 3,38 | 2,90 | 0,11 | 0,26 | 0,34 | 11,7 | 0,927 | 0,454 |
| 7 | Агродерново-подзолистая глееватая постагрогенная легкосуглинистая на покровных суглинках, подстилаемых мореной, n = 9 | | | | | | | | |
| | 2,78 | 4,06 | 3,47 | 0,16 | 0,38 | 0,49 | 14,1 | 0,907 | 0,293 |
| 8 | Агродерново-подзолистая глееватая постагрогенная легкосуглинистая на покровных суглинках, подстилаемых карбонатной мореной, n = 9 | | | | | | | | |
| | 2,66 | 5,01 | 3,46 | 0,24 | 0,55 | 0,72 | 20,8 | 0,916 | 0,363 |
| 9 | Агродерново-подзолистая глееватая постагрогенная среднесуглинистая на покровных суглинках, подстилаемых карбонатной мореной, n = 9 | | | | | | | | |
| | 3,18 | 5,23 | 3,78 | 0,23 | 0,53 | 0,69 | 18,2 | 0,857 | 0,090 |
| 10 | Агродерново-подзолистая постагрогенная легкосуглинистая на покровных суглинках, подстилаемых карбонатной мореной, n = 9 | | | | | | | | |
| | 2,84 | 3,81 | 3,33 | 0,13 | 0,30 | 0,39 | 11,6 | 0,854 | 0,082 |
| 11 | Агродерново-подзолистая постагрогенная на покровных суглинках, подстилаемых озерными супесями, n = 9 | | | | | | | | |
| | 2,65 | 4,51 | 3,60 | 0,17 | 0,40 | 0,52 | 14,5 | 0,968 | 0,875 |
| 12 | Серогумусовая постагрогенная супесчаная на озерных супесях, подстилаемых озерными суглинками, n = 9 | | | | | | | | |
| | 2,56 | 3,54 | 3,21 | 0,10 | 0,22 | 0,29 | 9,0 | 0,835 | 0,050 |

Примечание. n – число наблюдений; SE – стандартная ошибка; CI – доверительный интервал (при уровне значимости $\alpha = 5\%$); SD – стандартное отклонение; CV – коэффициент вариации; W – критерий Шапиро-Уилка; p – значение критерия.

Всего в сравнении участвовало 12 групп, по количеству площадок, каждая из которых была проверена на нормальность распределения с помощью критерия Шапиро-Уилка (см. табл. 1). Распределение значений переменной в одной из групп (площадка 9) оказалось отличным от нормального, поэтому было выполнено преобразование данных с помощью логарифмирования. После этого все анализируемые распределения не отличались от нормального ($p > 0,05$).

Следующим шагом разведочного анализа была проверка однородности групповых дисперсий с помощью теста Левене. Результаты теста оказались статистически незначимыми (F-статистика теста = 1,307, $p = 0,232 > 0,05$), что указывало на однородность групповых дисперсий.

Для оценки существенности разности между площадками в целом был выполнен однофакторный дисперсионный анализ (функция `aov` в R). Анализ показал (F-статистика теста = 8,816, $p = 1,25 \cdot 10^{-10} < 0,05$), что площадки статистически значимо различались по запасам Сорг. Затем, чтобы установить, какие именно площадки различались между собой, был применен критерий Тьюки (функция `Tukey HSD` в R). На диаграмме (рис. 1) приведены разности между групповыми средними и их доверительные интервалы, учитывающие групповую вероятность ошибки (95% family-wise confidence level).

Таким образом, с помощью однофакторного дисперсионного анализа было установлено наличие существенно значимой разницы между площадками. Затем с помощью множественного попарного сравнения по критерию Тьюки было уточнено, что отличие имелось для площадки 2 с максимальным средним значением запасов Сорг абсолютно от всех площадок, а также между площадками 9 и 6 с контрастными значениями запасов Сорг. Однако, несмотря на разнообразие, обусловленное почвообразующими породами, гранулометрическим составом, типом почв, видом землепользования и возрастом забрасывания, доверительные интервалы включали нулевые значения, что указывало на отсутствие различий между соответствующими площадками.

Широкий охват почвенного разнообразия изученной территории позволяет принять во внимание результаты настоящего исследования при оценке продуктивности почв и их изменений в процессе постагрогенной сукцессии в масштабе водораздела и на региональном уровне.

Выводы

Исследованные почвы южной тайги с возрастом забрасывания от 7 до 34 лет характеризовались запасами Сорг в слое 0-20 см от 2,90 до 5,00 кг/м². По сравнению с залежами почвы пашни обладали одними из

самых низких запасов Сорг - 3.07 и 3.14 кг/м². Максимальные запасы Сорг обнаружены в почве, сформированной на покровных суглинках, подстилаемых карбонатной мореной, под молодой (до 10 лет) некосимой залежью.

По запасам Сорг изученные площадки характеризовались низкой и средней вариабельностью: 10 площадок с коэффициентом вариации < 15%, 2 площадки с коэффициентом вариации, не превышающим 21,4%. Почва с максимальными запасами углерода отличалась минимальной вариабельностью (коэффициент вариации – 8.2%).

Множественное попарное сравнение с помощью теста Тьюки показало, что изученные участки, несмотря на разнообразие условий почвообразования, в подавляющем большинстве случаев не имели между собой статистически значимых различий по запасам углерода.

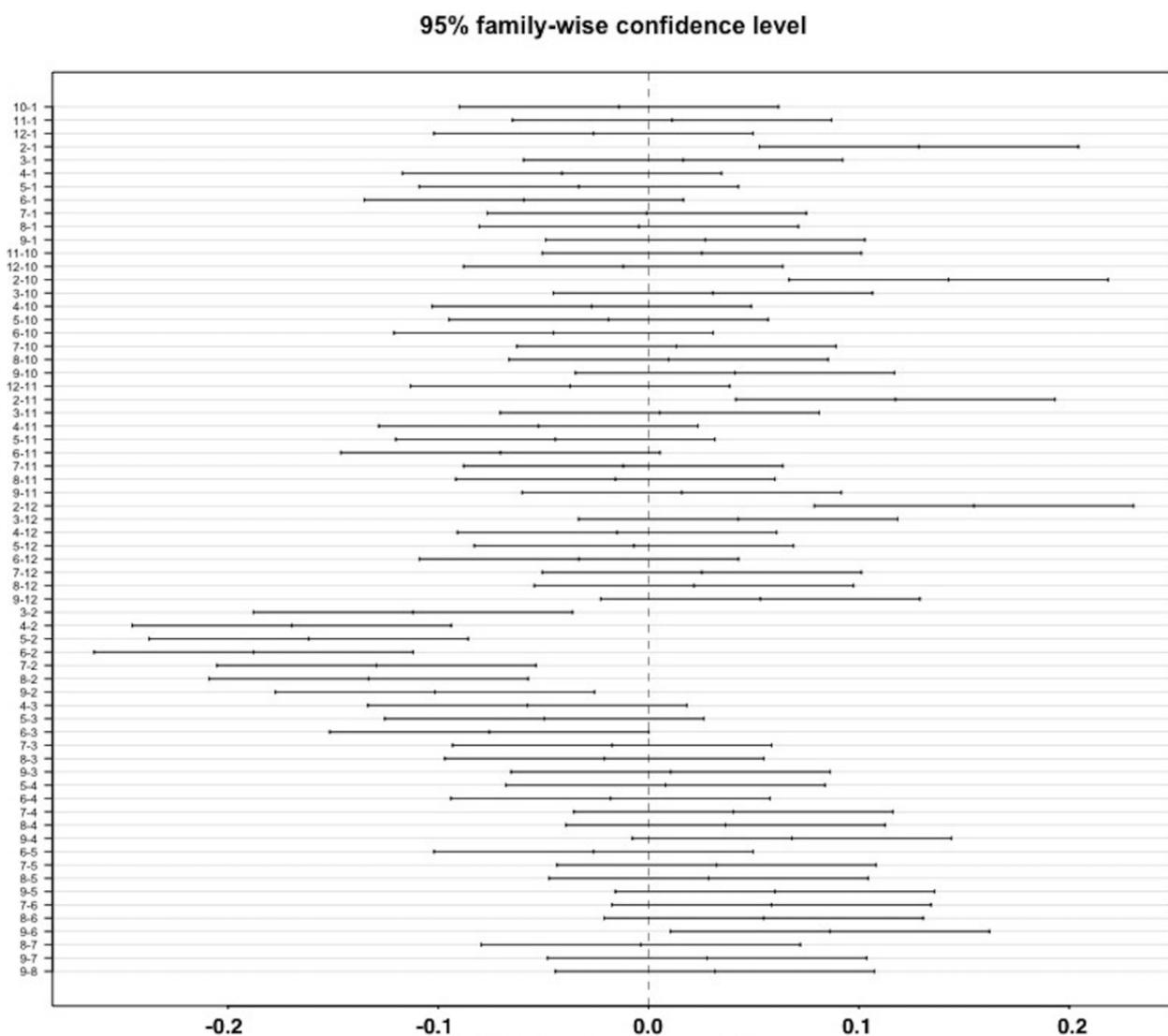


Рис. 1. Различия средних уровней запасов Сорг по площадкам 1-12

Благодарности

Исследования выполнены при поддержке Гранта РФФИ № 19-29-05243.

Список литературы

1. Борисов Б.А., Ганжара Н.Ф. Географические закономерности распределения и обновления легкоразлагаемого органического вещества целинных и пахотных почв зонального ряда европейской части России // Почвоведение. 2008. № 9. С. 1071-1078.
2. Владыченский А.С., Рыжова И.М., Телеснина В.М., Галиахметов Р.Т. Пространственно-временная динамика содержания органического углерода в дерново-подзолистых почвах постагрогенных БГЦ // Вестник Моск. ун-та. Серия 17. Почвоведение. 2009. № 2. С. 3-9.
3. Рыжова И.М., Подвезенная М.А. Пространственная вариабельность запасов органического углерода в почвах лесных и степных биогеоценозов // Почвоведение. 2008. № 12. С. 1429-1437.
4. Телеснина В.М., Ваганов И.Е., Карлсен А.А., Иванова А.Е., Жуков М.А., Лебедев С.М. Особенности морфологии и химических свойств постагрогенных почв южной тайги на легких отложениях (Костромская область) // Почвоведение. 2016. № 1. С. 115-129.
5. Tan Z.X., Lal R., Smeck N.E., Calhoun F.G. Relationships between surface soil organic carbon pool and site variables // Geoderma. 2004. Vol. 121. No. 3-4. P. 187–195.

VARIABILITY OF CARBON STOCKS AT THE SITE-SCALE: A CASE STUDY FROM THE YAROSLAVL OBLAST, UPPER VOLGA

Julia Simonova, Alexey Rusakov, Alexander Ryumin

Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia

E-mail: uvsim@yandex.ru

Abstract. Carbon stocks and heterogeneity at the site scale of agricultural and abandoned lands in southern taiga zone were discussed. In most of the sites the coefficient of variation for carbon stocks was low (< 15%). Tukey's test showed no significant difference of carbon stocks between most of the soils.

Keywords: abandoned lands, Tukey's test, spatial heterogeneity.

**ПОНЯТИЕ «НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ»
В ПОЧВОВЕДЕНИИ ПРИ КАРТОГРАФИРОВАНИИ
КОЛИЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ**

Мешалкина Юлия Львовна^{1,2}

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
факультет почвоведения, Москва, Россия

² Российский государственный аграрный университет -
МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия

E-mail: jlmesh@list.ru

Аннотация. В работе обсуждаются теоретические и практические подходы к определению неопределенности, которые могут использоваться для оценки карт количественных почвенных свойств.

Ключевые слова: точность карты, неоднородность почвенного покрова

Если обратиться к Google Академии (рис. 1), то видно, что число публикаций, где используется термины «неопределенность» и «почвоведение», возрастает по годам от начала девяностых, достигает пика в 2013-2017 годах и, затем, возможно, начинает снижаться. Таким образом, можно сказать, что в настоящее время в почвоведении данный термин является распространенным.

В почвоведении термин «неопределенность» стал широко использоваться после того, как этот термин был переосмыслен в теории измерений. В 1993 году вышло "Руководство по выражению неопределенности" [6] фактически ставшее международным стандартом в области метрологии. В теории измерений был совершен переход от концепции «точности» и «погрешности» к новым базовым понятиям [4]. При оценке результатов измерений перестали использоваться понятия: а) истинного значения физической величины, которое нельзя измерить; б) действительного значения физической величины, которое условно принимается за истинное значение; в) погрешности, то есть отклонения результата измерения от некоего истинного значения, неизвестного экспериментатору.

Новые базовые понятия – это «величина измерения» и «неопределенность измерения». Неопределенность измерения является «параметром, связанным с результатом измерения и характеризующим разброс значений, которые с достаточным основанием могут быть приписаны измеряемой величине. ... Этим параметром может быть, например, стандартное отклонение (или кратное ему число) или ширина

доверительного интервала» [5]. Таким образом, основное различие в концепциях неопределенности и погрешности состоит в том, к какой величине относят дисперсию: к действительному значению измеряемой величины или к результату измерения [2]. Использование термина «неопределенность» позволяет количественно сопоставлять и анализировать результатов измерений, проведенных в разных лабораториях и странах.

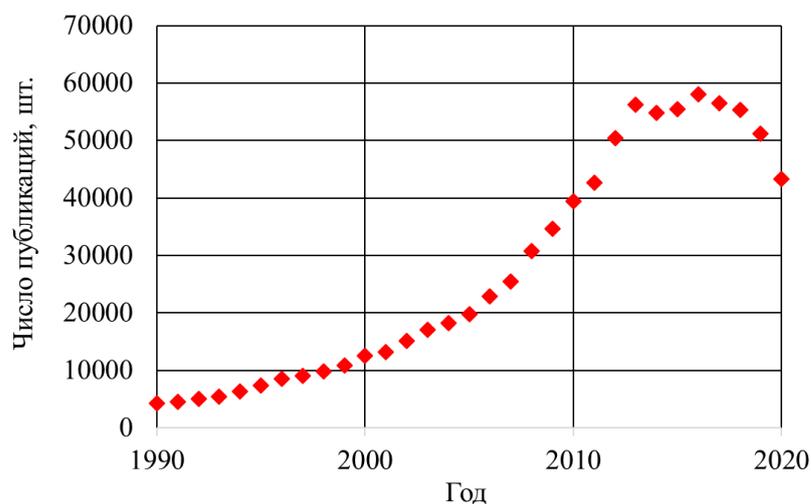


Рис. 1. Число публикации по годам с ключевыми словами «uncertainty & soil science» согласно Google Академии

Неопределенность можно проиллюстрировать стандартной формулой записи результата измерения:

$$Y = y \pm U, P = 0,95. \quad (1)$$

Из выражения видно, что вероятный разброс значения Y находится в диапазоне $\pm U$ относительно результата измерения y . Степень обоснованности нахождения Y в этом интервале определяется доверительной вероятностью $P = 0,95$.

По способу выражения неопределенности измерения подразделяют на абсолютные и относительные. В первом случае неопределенность измерения выражается в единицах измеряемой величины, а во втором – как отношение абсолютной неопределенности к результату измерений и выражается в процентах.

Если наблюдается несколько составляющих неопределенности, то суммарную неопределенность вычисляют по правилу суммирования дисперсий путем извлечения корня из суммы. Эта процедура имеет специальное название «закона распространения неопределенности». В почвоведении под термином «неопределенность» обычно понимается неоднозначность прогноза результатов наблюдений или моделирования.

Матероном в 1968 году были сформулированы положения об «истинной» и «наблюдаемой» пространственной вариабельности [3]. Истинной вариабельности соответствует почвенная неоднородность, а наблюдаемой – результат ее изучения. Е.А. Дмитриев [1] предложил различать понятия «неоднородность» как собственное свойство почвы и «пространственная вариабельность» как результат взаимодействия человека и природного объекта – почвы. Таким образом, исследование и описание пространственной вариабельности свойств почвы и ее классификационной принадлежности представляет собой переход от объективного, существующего отдельно от исследователя явления к его модели.

Любая оценка параметров модели отклоняется от истины, то есть содержит неопределенности, обусловленные: природной вариабельностью объекта исследования и отдельных его частей; ошибками измерений; ограниченностью числа точек наблюдения; разной трактовкой классификации почв; точностью позиционирования; разногласием в мнениях экспертов; совмещением данных, собранных на предыдущих этапах развития науки и т.п. Из-за этого практически невозможно получить полное представление об истинной неоднородности почв. Изучение закономерностей из-за низкой точности и фрагментарности знаний может дать результаты, неотличимые от полученных случайно. В этом случае почву можно рассматривать как «случайно-неоднородный объект» (термин был предложен Е.А. Дмитриевым в 1993 году [1]).

Адекватным инструментом для описания и изучения случайно-неоднородного объекта являются вероятностно-статистические модели. Такие модели широко используются в цифровой почвенной картографии (ЦПК) – современном направлении почвоведения, где традиционное генетическое почвоведение смыкается с современными компьютерными технологиями и разнообразными математическими методами для описания многообразия почвенного покрова.

Остановимся на некоторых ключевых работах, где в почвенной картографии исследовалась неопределенность прогнозирования. Одной из первых стала работа Гуверта «Геостатистическое моделирование неопределенности в почвоведении» [7]. В ней рассматривалось два подхода к оценке неопределенности при пространственном моделировании отдельного непрерывного почвенного свойства: на основе стохастического моделирования и на основе ошибки кригинга. В работе был сделан вывод, что: «Оценка неопределенности должна стать ключевым этапом любого геостатистического анализа почвенных данных. Она может принимать различные формы, такие как отображение

вероятности превышения пороговых значений или создание наборов реализаций пространственного распределения почвенных свойств...».

Ларк [8] предложил индекс качества для оценки дисперсии кригинга, который объединяет ошибку прогнозирования и дисперсию ошибки прогнозирования.

Мэлоун и др. [9] предложили дополнительные критерии для оценки качества цифровых карт почвенных свойств. Качество почвенной карты оценивается на основе проверки как точности прогнозов, так и их неопределенности, которые выражаются в виде доверительного интервала прогнозирования (PI). Первый критерий – это показатель точности, который отличается по форме от обычной среднеквадратичной ошибки (MSE), поскольку он также учитывает неопределенности прогнозирования. Эта мера представляет собой среднее (по пространству) статистическое ожидание среднеквадратичной ошибки моделируемого случайного значения (MSES). Вторым критерием является качество неопределенностей, которое оценивается как общая доля исследуемой области, где $(1-a)$ -PI покрывает истинное значение. В идеале, эта пропорция равна значению $(1 - a)$.

В работе Пиикки и др. [10] представлен список существующих статистических показателей, которые могут использоваться для оценки количественных почвенных карт. Обзор 188 работ показал, что большинство публикаций (97%) включали тот или иной тип проверки карт, в то же время только чуть более трети (35%) оценивали неопределенность карты. В ЦПК термин "точность" часто используется для того, чтобы показать, насколько прогнозируемое значение близко к истинному (или на практике наблюдаемому) значению. Вычислить точность означает вычислить ошибку. Термин "неопределенность" в цифровом картографировании почвы часто определяется как ожидаемое (или наблюдаемое) изменение прогноза для данной целевой переменной в каждой точке прогнозирования. Показатели точности вычисляются, в то время как показатели неопределенности – оцениваются.

Точность цифровой карты почвы может быть определена в местах отбора почвенных образцов, в то время как неопределенность одной и той же карты обычно оценивается для каждой ячейки раstra. В этом контексте можно отметить, что различия между прогнозами нескольких моделей почти во всех случаях приведут к грубому завышению точности цифровой карты почвенного свойства.

Моделирование неопределенностей не позволяет определить, какой из ответов верный, а указывает на то, каковы с практической точки зрения последствия неопределенности.

Список литературы

1. Дмитриев Е.А. Элементы организации почвы и структура почвенного покрова // Почвоведение. 1993. № 7. С. 23-30.
2. Кузнецов В.П. Сопоставительный анализ погрешности и неопределенности измерений // Измерительная техника. 2003. № 8. С. 21–27.
3. Матерон Ж. Основы прикладной геостатистики. М., 1968. 407 с.
4. Пронкин Н.С. Основы метрологии. Практикум по метрологии и измерениям. М.: Логос, 2007. 392 с.
5. Руководство ЕВРАХИМ/СИТАК «Количественное описание неопределенности в аналитических измерениях» / пер. с англ. Р.Л. Кадиса, Г.Р. Нежиховского, В.Б. Сими́на; под ред. Л.А. Конопелько. 2-е изд. СПб., 2002. 141 с.
6. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement. Geneva: ISO, 1993. 101 с.
7. Goovaerts, Pierre. Geostatistical Modelling of Uncertainty in Soil Science // Geoderma. 2001. N 103. С. 3-26. 10.1016/S0016-7061(01)00067-2.
8. Lark, R. M. A comparison of some robust estimators of the variogram for use in soil survey // European Journal of Soil Science. 2000. N 51. С. 137–157.
9. Malone, B. P., de Gruijter, J. J., McBratney, A. B., Minasny, B., & Brus, D. J. Using additional criteria for measuring the quality of predictions and their uncertainties in a digital soil mapping framework // Soil Science Society of America Journal. 2011. N 75. С. 1032–1043.
10. Piikki, K., Wetterlind, J., Söderström, M., & Stenberg, B. Perspectives on validation in digital soil mapping of continuous attributes. A review // Soil Use and Management. 2021. N 37. С. 7–21.

THE CONCEPT OF "UNCERTAINTY" IN SOIL SCIENCE WHEN MAPPING QUANTITATIVE INDICATORS

Meshalkina Joulia^{1, 2}

¹ Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty,
Moscow, Russia

² Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural
Academy, Moscow, Russia

E-mail: jlmesh@mail.ru

Abstract. The paper considers theoretical and practical approaches to determining uncertainty that can be used to evaluate soil maps of quantitative properties.

Keywords: map accuracy, soil cover heterogeneity

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ СТАТИСТИКИ
ДЛЯ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ**

АНАЛИЗ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СВЕТЛО-КАШТАНОВЫХ ПОЧВ

Гумматов Низами Гулу оглы

Научно-исследовательский институт земледелия, Баку, Азербайджан

E-mail: ngummatov@mail.ru

Аннотация. Обсуждаются закономерности пространственной изменчивости физических свойств и структурного состава светло-каштановых почв с применением классической статистики и геостатистики. Коэффициенты вариации свойств почв изменялись в диапазоне 6-60%.

Ключевые слова: пространственная изменчивость, геостатистика, кригинг-интерполяция, физические свойства почвы, структура почвы.

Введение. В результате действия внутренних и внешних факторов физические, химические и биологические свойства почвы изменяются в разных пространственных масштабах. Пространственная изменчивость свойств почв непосредственно обуславливает водный, воздушный и тепловой режимы, движение влаги и питательных веществ, процессы фотосинтеза и дыхания агрофитоценозов, развитие корневой системы и биологическую продуктивность растений. [11, 17, 19]. Высокая пространственная изменчивость свойств почвы приводит к значительным изменениям продуктивности в масштабе сельскохозяйственного поля [7, 9, 13]. Поэтому оценка масштаба пространственной изменчивости, определение характера распределения и структуры пространственной изменчивости физических свойств и структурного состава почвы в пределах сельскохозяйственного поля геостатистическими методами имеет большое научное и практическое значение для агрофизики и точного земледелия.

Объекты и методы. Исследования проводились на территории Гобустанской зональной опытной станции НИИ земледелия МСХ Азербайджанской республики. Территория станции относится к Горно-Ширванскому агроэкологическому району республики. Почвенный покров территории состоит в основном из каштановых и светло-каштановых почв. Опробование пахотного слоя (0-20 см) почвы проводилось на участке площадью 15 га (300x500 м) по регулярной сетке

с шагом 50 м, после уборки зерновых культур. При помощи GPS определили географические координаты каждой точки исследования и ее относительную высоту (h_i) над уровнем моря. На участке исследования координаты точек изменяются от $E48^{\circ}53'27''$ до $E48^{\circ}53'47''$ (X) и от $N40^{\circ}30'46''$ до $N40^{\circ}30'55''$ (Y), а высота точек колеблется в интервале 831-847 м.

Определения физических свойств и структурного состава почвы проводили стандартными агрофизическими методами [1, 10]. Так, влажность почвы определялась термостатно-весовым методом, при температуре $105^{\circ}C$, плотность – буровым методом, а структурный состав – методом Саввинова с некоторыми изменениями набора сит. Ряд агрофизических показателей было определено расчетным методом. Оценка статистических параметров свойств почв при 5%-ном уровне значимости получены с использованием пакета программ Minitab 14 [21] по соответствующим формулам [5]. Геостатистический анализ данных проведен с помощью пакета программ Surfer 8.0 и Vesper 1.6 [16, 25]. Теоретические основы геостатистики, ее практическое применение, процедура кригинг-интерполяции и вариографии достаточно отражены в научной литературе [2, 4, 8, 22, 26].

Результаты и обсуждение. Статистические характеристики изученных свойств почв представлены в таблице 1. Из таблицы видно, что физические показатели свойств почв имеют слабую пространственную вариабельность (CV 8-17%). По результатам анализа видно, что вариабельность агрономически ценных агрегатов ($\Sigma 10-0.25$ мм), агрегатов 2-1 и 1-0.5 мм слабая (CV < 15%). Кроме агрегатов >8 мм (CV > 50%), все остальные фракции агрегатов, так же $K_{стр}$ имеют среднюю вариабельность (CV 15-50%). Степень изменчивости изученных свойств почв соответствует общей тенденции, изложенной в научной литературе [3, 12, 18, 20, 24].

По равновесным значениям физических свойств и структурного состава исследуемая почва может характеризоваться оптимальным физическим состоянием (табл. 1) [6]. Так, средние значения плотности, общей пористости, количества агрегатов >10 мм, $\Sigma 10-0,25$ мм, <0,25 мм и коэффициента структурности ($K_{стр}$) составляют 1.2 г/см³, 53.6%, 7.7%, 80.0%, 12.3% и 4,3 соответственно. Скорее всего, низкое содержание влаги и ее запас связан с очень незначительным выпадением осадков в мае-августе (почти без осадков в июне-июле).

Таблица 1. Статистические характеристики физических свойств и структуры почвы

| Показатели | Статистические параметры | | | | | | | | |
|--|--------------------------|------------|-----------|------------------|------------|------------|-------|-------|-------|
| | X_{\min} | $X_{0,25}$ | \bar{X} | X_{med} | $X_{0,75}$ | X_{\max} | CV(%) | A_s | E_s |
| Физические свойства почвы | | | | | | | | | |
| W (%) | 4,18 | 5,84 | 6,24 | 6,19 | 6,63 | 8,40 | 12,9 | 0,13 | 0,99 |
| ρ_b (г/см ³) | 0,995 | 1,135 | 1,227 | 1,228 | 1,320 | 1,434 | 9,6 | 0,05 | -1,03 |
| ε_t (%) | 45,89 | 50,18 | 53,65 | 53,66 | 57,17 | 62,45 | 8,3 | 0,02 | -1,01 |
| ЗВ (мм) | 9,16 | 13,64 | 15,28 | 14,96 | 17,23 | 21,62 | 17,1 | 0,17 | -0,09 |
| Структурный состав: содержание (%), размер агрегата (мм) | | | | | | | | | |
| >10 | 1,39 | 4,93 | 7,69 | 7,04 | 9,10 | 23,25 | 56,4 | 1,31 | 2,36 |
| 10-8 | 0,00 | 0,30 | 0,51 | 0,50 | 0,69 | 1,55 | 60,3 | 0,85 | 1,59 |
| 8-5,5 | 3,07 | 4,89 | 6,63 | 6,46 | 8,18 | 11,89 | 33,4 | 0,44 | -0,35 |
| 5,5-2 | 11,70 | 16,74 | 19,41 | 19,88 | 21,86 | 26,73 | 17,8 | 0,19 | -0,56 |
| 2-1 | 13,38 | 18,58 | 19,99 | 19,89 | 21,69 | 24,67 | 12,0 | 0,20 | 0,02 |
| 1-0,5 | 13,37 | 20,45 | 22,07 | 21,69 | 23,64 | 31,46 | 13,4 | 0,31 | 1,83 |
| 0,5-0,25 | 6,21 | 9,93 | 11,44 | 11,10 | 12,85 | 16,40 | 18,9 | 0,30 | -0,16 |
| <0,25 | 7,74 | 10,15 | 12,26 | 11,90 | 13,31 | 21,07 | 22,8 | 1,02 | 1,69 |
| $\Sigma_{10-0,25}$ | 68,18 | 78,32 | 80,04 | 80,88 | 82,53 | 88,40 | 5,7 | 0,76 | 0,58 |
| $K_{\text{стр}}$ | 2,14 | 3,61 | 4,26 | 4,23 | 4,72 | 7,62 | 27,5 | 0,63 | 0,79 |
| h_i (м) | 831,0 | 836,0 | 838,8 | 839,0 | 842,0 | 847,0 | 0,42 | 0,14 | -0,44 |

Примечание. X_{\min} , X_{\max} , \bar{X} , X_{med} , $X_{0,25}$, $X_{0,75}$ – минимальная, максимальная, средняя, медианная, 1 и 3 квартильное значения соответственно; CV, A_s , E_s , $K_{\text{стр}}$ – коэффициенты вариации, асимметрии, эксцесса, структурности; W, ρ_b , ε_t , ЗВ – весовая влажность, плотность, общая пористость, запас влаги.

Пространственное распределение физических свойств почв слабо зависит от относительной высоты (h_i) над уровнем моря. h_i колеблется в пределах 831-847 м. Слабая зависимость физических свойств от высоты может быть связана с тем, что верхний слой почвы в данной территории в равной степени подвержен воздействию природных и антропогенных факторов, а диапазоны изменения взаимосвязанных свойств почвы незначительны. Исследования, проведенные на разных почвах, показывают, что зависимость физических свойств от рельефно-топографических положений разнообразна [15, 23].

Все изученные свойства почвы были проанализированы геостатистическими методами, построены их экспериментальные вариограммы и аппроксимированы соответствующими теоретическими моделями (рис. 1 и 2). Вариограммы некоторых физических показателей почвы не имеют пространственной структуры и характеризуется чистым наггет-эффектом (C_0). Однако на вариограммах плотности и общей

пористости дисперсия насыщения ($C_0 + C_1$) состоит только из пространственной дисперсии (C_1), характеризующей пространственную зависимость, а $C_0 \approx 0$. Результаты анализа показывают, что физические свойства почвы лучше всего аппроксимируются сферической моделью, а показатели структурного состава – линейной моделью с насыщением, за исключением агрегатов < 0.25 мм.

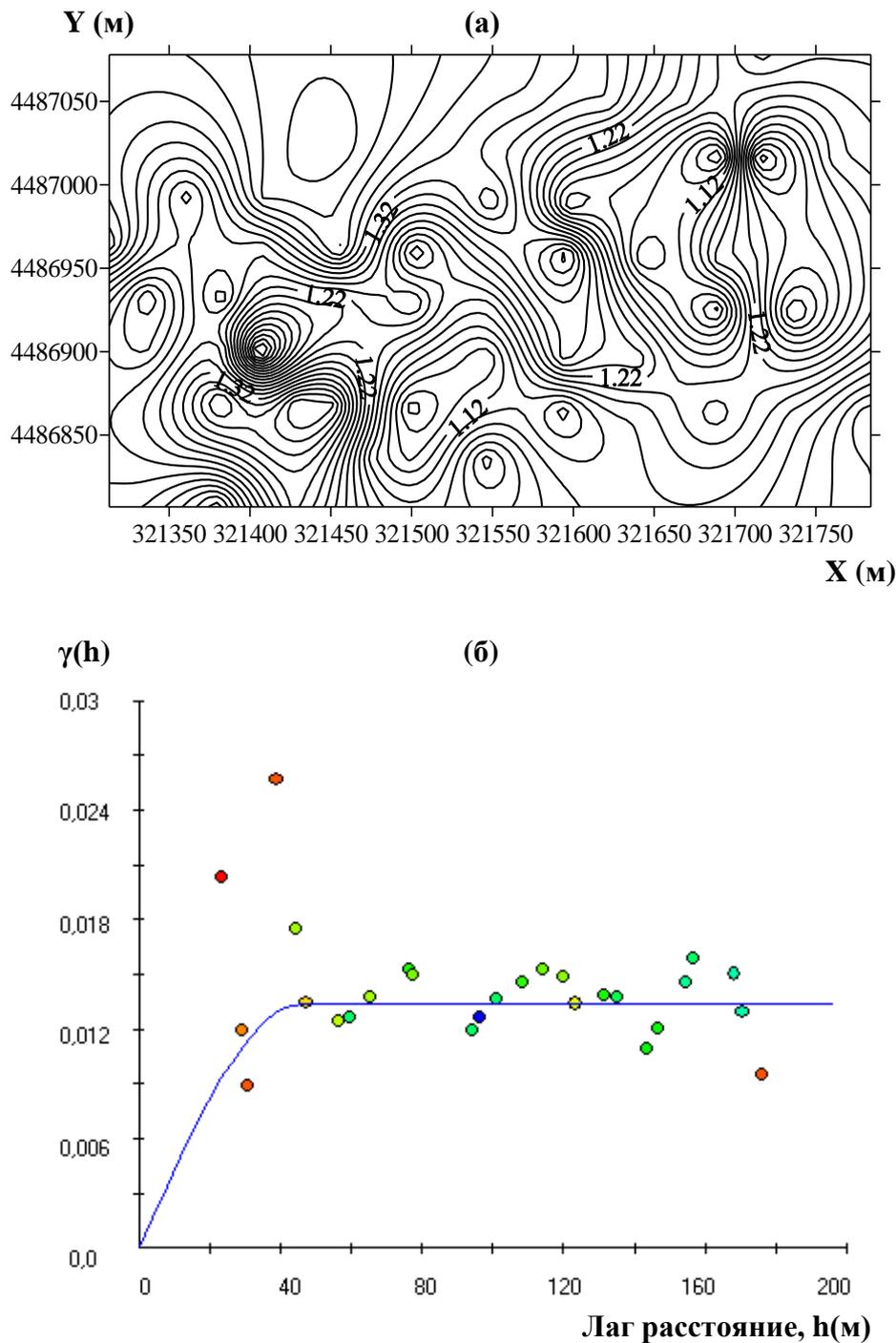


Рис. 1. Изоплеты (а) и вариограмма (б) плотности почвы

Топоизоплеты физических свойств и структурного состава почвы, построенные методом кригинг-интерполяции с учетом параметров моделей вариограмм представлены на рисунках 1 и 2. По сравнению с классическими методами, геостатистические методы позволяют учесть структуру пространственного распределения и несколько раз повысить точность оценки показателя.

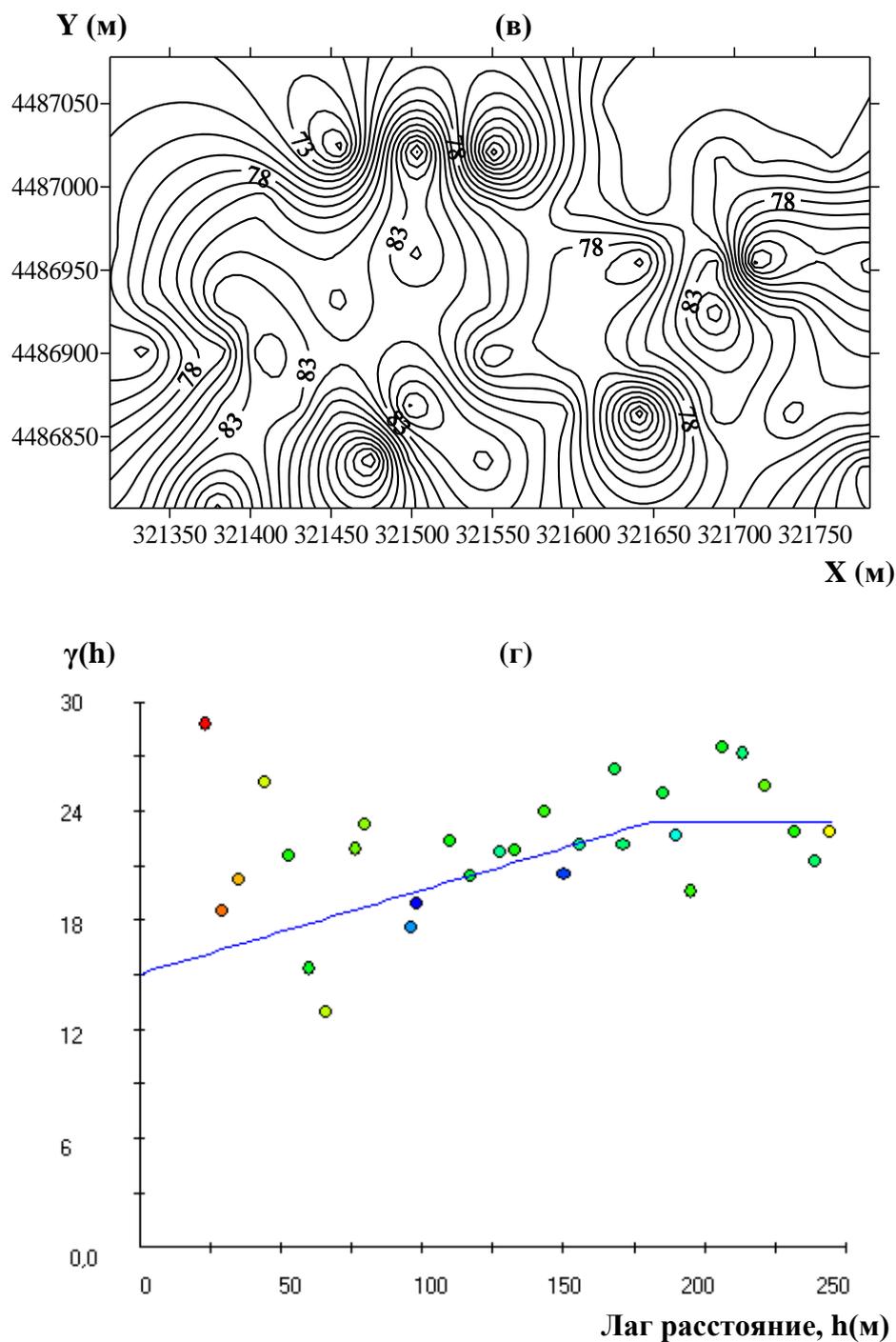


Рис. 2. Изоплеты (в) и вариограмма (г) содержания агрегатов 10-0.25 мм

Результаты вариограмного анализа свойств почв приведены в таблице 2. Радиус пространственной корреляции (A_0) исследуемых свойств почвы колеблется в пределах 36-185 м. Наименьший радиус корреляции обнаруживается для агрегатов $<0,25$ мм, а наибольший для $K_{стр}$. Радиус корреляции физических свойств почвы колеблется в пределах 46-57 м, за исключением весовой влажности (160 м). Радиус корреляции агрегатов >10 и $\Sigma 10-0,25$ мм составляет 171 и 180 м соответственно.

На основании показателя DSD [14] геостатистическая пространственная зависимость исследуемых свойств почвы выглядит следующим образом: W-слабая ($>75\%$); 3В, $K_{стр}$ и сумма агрегатов 10-0,25 мм - средне слабые (75-50%); агрегаты $<0,25$ и >10 мм - средне сильные (50-25%); ρ_b и ε_t – сильные ($<25\%$).

Таблица 2. Параметры аппроксимации моделей вариограмм физических свойств и структурного состава почвы

| Свойства | Модель | A_0 (м) | C_0 | C_1 | C_0+C_1 | $DSD = C_0 / (C_0+C_1)100$ |
|---------------------|--------|-----------|-------|-------|-----------|----------------------------|
| W | Сфер | 160,0 | 0,49 | 0,11 | 0,60 | 81,7 |
| ρ_b | Сфер | 46,2 | 0,0 | 0,01 | 0,01 | 0,0 |
| ε_t | Сфер | 46,3 | 0,0 | 18,90 | 18,90 | 0,0 |
| 3В | Сфер | 57,0 | 4,60 | 2,05 | 6,65 | 69,2 |
| >10 мм | Линн | 171,4 | 10,95 | 11,91 | 22,86 | 47,9 |
| $\Sigma 10-0.25$ мм | Линн | 180,5 | 15,04 | 8,34 | 23,38 | 64,3 |
| <0.25 мм | Эксп | 35,6 | 2,20 | 5,68 | 7,88 | 27,9 |
| $K_{стр}$ | Линн | 185,0 | 1,04 | 0,47 | 1,51 | 68,9 |

Примечание. Сфер, Линн, Эксп - сферическая, линейная с насыщением и экспоненциальная модель соответственно.

Заключение

Классический статистический анализ данных показывает слабую вариабельность физических свойств каштановых почв в богарных условиях Горного Ширвана. Кроме агрегатов >8 мм, все остальные фракции структурного состава имеют слабую и среднюю вариабельность. По средне-равновесным значениям физических свойств и структурного состава каштановая почва может характеризоваться оптимальным физическим состоянием. Геостатистический анализ данных показывают, что вариограммы физических свойств почвы лучше всего аппроксимируются сферической моделью, а показатели структурного состава – линейной моделью с насыщением, за

исключением агрегатов $<0,25$ мм. Расстояние пространственной корреляции показателей физического состояния почвы колеблется в пределах 36-185 м. По геостатистическим критериям весовая влажность показывает слабую; $3V$, $K_{стр}$, сумма агрегатов 10-0,25 мм – средне-слабую; агрегаты $<0,25$ мм и >10 мм – средне-сильную; ρ_b и ε_t – сильную пространственную зависимость.

Список литературы

1. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв: учеб. пособие. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
2. Геостатистика и география почв / отв. ред. П.В. Красильников. М.: Наука, 2007. 175 с.
3. Гумматов Н.Г. Пространственно-временная изменчивость гидрофизических характеристик серой лесной почвы: дис. ... канд. биол. наук. Пущино, 1991. 272 с.
4. Демьянов В.В., Савельева Е.А. Геостатистика: теория и практика. М.: Наука. 2010. 327 с.
5. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении: учебник. М.: КД «Либроком», 2009. 328 с.
6. Кузнецова И.В., Азовцева Н.А., Бондарев А.Г. Нормативы изменения физических свойств почв степной, сухостепной, полупустынной зон европейской территории России // Бюл. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. 2011. № 67. С. 3-19.
7. Медведев В.В. Неоднородность почв и точное земледелие. Часть 1. Введение в проблему. Харьков: Изд-во «13 типография». 2007. 296 с.
8. Мешалкина Ю.Л., Васенев И.И., Кузякова И.Ф., Романенков В.А. Геостатистика в почвоведении и экологии. Интерактивный курс. М.: РГАУ-МСХА, 2010. 95 с.
9. Самсонова В.П. Пространственная изменчивость почвенных свойств: на примере дерново-подзолистых почв. М.: Изд-во ЛКИ. 2008. 160 с.
10. Теории и методы физики почв. Коллективная монография / под ред. Е.В. Шеина, Л.О. Карпачевского. М.: Гриф и К, 2007. 616 с.
11. Шеин Е.В. Курс физики почв: учебник. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 с.
12. Шеин Е.В., Иванов А.Л., Бутылкина М.А. и др. Пространственно-временная изменчивость агрофизических свойств комплекса серых лесных почв в условиях интенсивного сельскохозяйственного использования // Почвоведение. 2001. № 5. С. 578-585.
13. Якушев В.П., Якушев В.В. Информационное обеспечение точного земледелия. СПб.: Изд-во ПИЯФ РАН. 2007. 382 с.
14. Cambardella C.A., Moorman T.B., Novak J.M., Parkin T.B. Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils // Soil Sci. Soc. Am. J. 1994. Vol. 58. P. 1501-1511.

15. Ceddia M.B., Vieira S.R., Villela A.L.O., Mota L.S., Anjos L.H.C., Carvalho D.F. Topography and spatial variability of soil physical properties // Sci. Agric. (Piracicaba, Braz.). 2009. Vol. 66. P. 338-352.
16. Golden Software. Surfer (Version 8). User's Guide. Colorado. 2002. 640 p.
17. Hillel D. Environmental soil physics. San Diego: Acad. Press. 1998. 771 p.
18. Hummatov N.G. Spatial variability of the structural state of soils in rainfed and irrigated regions of Azerbaijan // IOP Conf. Series: Earth and Environ. Sci. 368 (2019) 012018 doi:10.1088/1755-1315/368/1/012018
19. Lal R., Shukla M.K. Principles of soil physics. New York: Marcel Dekker, 2004. 716 p.
20. Lipiec J., Usowicz B. Spatial relationships among cereal yields and selected soil physical and chemical properties // Science of the Total Environment. 2018. Vol. 633. P. 1579-1590.
21. Minitab Inc., Minitab Statistical Software, Release 14 for Windows, State College. Pennsylvania. 2003.
22. Oliver M.A. Geostatistical applications for precision agriculture. London: Springer. 2010. 331 p.
23. Pachepsky Y.A., Timlin D.J., Rawls W.J. Soil water retention as related to topographic variables // Soil Sci. Soc. Am. J. 2001. Vol. 65. P. 1787-1795.
24. Rodrigues M.S., Corá J.E., Fernandes C. Spatial relationships between attributes and corn yield in no-tillage system // R. Bras. Si. Solo. 2012. Vol. 36. P. 599-609.
25. Vesper (Version 1.6). User's Manual, Australian Centre for Precision Agriculture, The University of Sydney. 2002. 25 p.
26. Webster R., Oliver M.A. Geostatistics for environmental scientists. Chichester: John Wiley & Sons. 2007. 315 p.

ANALYSIS OF SPATIAL VARIABILITY OF PHYSICAL PROPERTIES OF LIGHT CHESTNUT SOILS

Gummatov Nizami Gulu

Research Institute of Crop Husbandry, Baku, Azerbaijan

E-mail: ngummatov@mail.ru

Abstract. The article discusses regularities of spatial variability of physical properties and structural composition of light chestnut soils using classical statistics and geostatistics. The coefficients of variation of soil properties varied in the range of 6-60%.

Keywords: spatial variability, geostatistics, kriging-interpolation, soil physical properties, soil structure.

**ЦИФРОВОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СОДЕРЖАНИЯ
ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА ПАХОТНОМ
УЧАСТКЕ РЕСПУБЛИКИ БАШКОРСТОСТАН**

Сулейманов Азамат Русланович^{1, 2, 3}

¹ Уфимский Институт биологии УФИЦ РАН, Уфа, Россия

² Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа,
Россия

³ Башкирский государственный университет, Уфа, Россия

E-mail: filpip@yandex.ru

Аннотация. Представлены результаты изучения пространственного распределения почвенного органического углерода с использованием атрибутов рельефа и спутниковых данных Sentinel-2A. Исследования проводили на пахотном участке общей площадью 1200 га. Для создания прогнозной модели использовался алгоритм случайного леса (random forest). Получена прогнозная модель, объясняющая вариативность органического углерода ($R^2 = 0.41$; RMSE = 0.52).

Ключевые слова: цифровая почвенная картография, почвенный органический углерод, рельеф, Sentinel.

Введение. Сельскохозяйственное использование земель предъявляет все больше требований, необходимых для успешного производства культур. Изучение пространственного распределения почвенных свойств является одним из важнейших условий для рационального управления земельными ресурсами, особенно в условиях активного использования земель и трансформации климатических показателей [1]. Целью работы явилось цифровое картографирование содержания почвенного органического углерода в верхнем плодородном слое пахотного участка с применением топографических атрибутов и спутниковых данных.

Объекты и методы. Исследования проводили на пахотном участке общей площадью 1200 га в Предуральской лесостепной зоне Республики Башкортостан (Россия). Высота участков варьируется от 110 до 183 м. Высота склонов варьируется в диапазоне от 0 до 8 градусов. В мезорельефе выделяются небольшие всхолмления и понижения. Климат незначительно засушливый или засушливый (типичный континентальный). Для работы было отобрано 52 образца из верхнего горизонта с глубины 0-10 см. Содержания почвенного органического углерода определяли традиционным лабораторным методом [2].

В работе в качестве ковариат использовались топографические атрибуты, рассчитанные на основе цифровой модели рельефа SRTM и спутниковые данные Sentinel-2A. Для цифрового моделирования использовали метод случайного леса “random forest” с 10-кратной перекрестной проверкой. Точность прогнозной модели оценивали с помощью коэффициента детерминации (R^2) и среднеквадратичной ошибки предсказания (RMSE) в R 4.0.2 и Rstudio (версия 1.3.1073).

Результаты и обсуждение. Общие статистические параметры содержания почвенного органического углерода: среднее значение, минимум, максимум, стандартное отклонение (SD) и коэффициент вариации (CV) представлены в таблице 1. Исследуемые образцы характеризуются низким и средним содержанием органического углерода.

Наибольшее значение корреляции между органическим углеродом и переменными выявлен у спутникового канала B2 ($R = -0.40$). Данный канал является каналом видимого диапазона (Blue) с пространственным разрешением 10 м. С элементами рельефа достоверные взаимосвязи не выявлены.

Таблица 1. Статистические характеристики содержания почвенного органического углерода

| Параметр | Содержание почвенного органического углерода, % |
|----------|---|
| Среднее | 4,21 |
| Мин | 1,72 |
| Макс | 4,91 |
| SD | 0,66 |
| CV (%) | 15,68 |

В результате расчета получена модель для описания пространственного распределения органического углерода с коэффициентами $R^2 = 0.41$ и $RMSE = 0.52$. Наиболее важными переменными для предсказания явились мультимасштабный индекс плоскости MrRTF и каналы видимого диапазона: B2 (Blue) и B4 (Red).

Индекс MrRTF установлен как наиболее важный предиктор для моделирования органического углерода во многих других исследованиях. Так, Nabiollahi и др. [3] сообщают, что индексы MrRTF и MrVBF являются одними из самых важных переменных для исследования пространственной изменчивости запасов почвенного органического углерода на территории западного Ирана. В исследуемом регионе данный индекс также показал взаимосвязь с органическим углеродом [4, 5].

Материалы космической съемки успешно применяются для изучения и цифрового картографирования почвенного органического углерода [6, 7, 8]. Применение данных Sentinel-2 также показали взаимосвязь каналов V4, V5, V11 и V12 с содержанием органического углерода на нескольких пахотных участках в Чехии [9].

На основе полученной прогнозной модели создана цифровая карта для исследуемого участка (рис. 1). Карта позволила оценить пространственное распределения и выявить зоны с наибольшим и наименьшим содержанием органического углерода.

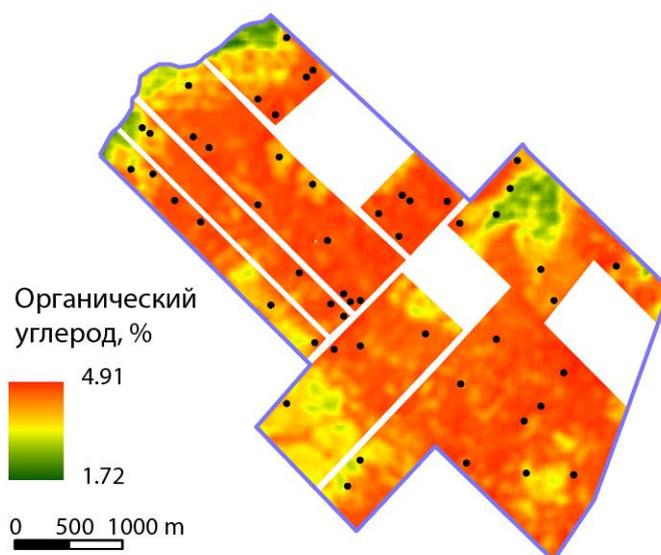


Рис. 1. Содержание почвенного органического углерода в слое 0-10 см (белым цветом замаскированы участки с растительностью)

Выводы

На основе алгоритма случайного леса с использованием топографических атрибутов и спутниковых данных в виде предикторов удалось создать цифровую карту содержания почвенного органического углерода в слое 0-10 см. Результаты показали, что главными переменными для моделирования являются как атрибуты рельефа, так и данные дистанционного зондирования. Представленный подход может быть адаптирован и использован для изучения пространственного распределения почвенных свойств в схожих ландшафтах.

Список литературы

1. Rodrigo-Comino J., Senciales J.M., Cerdà A., Brevik E.C. The multidisciplinary origin of soil geography: A review // *Earth-Science Reviews*. 2018. № 177. P. 114-123.
2. Pansu M., Gautheyrou J. *Handbook of Soil Analysis: Mineralogical, Organic and Inorganic Methods*; Springer: Berlin, Germany. 2006. 993 p.

3. Nabiollahi K., Eskandari Sh., Taghizadeh-Mehrjardi R., Kerry R., Triantafilis J. Assessing soil organic carbon stocks under land-use change scenarios using random forest models // Carbon Management. 2019. № 10:1. P. 63-77.
4. Сахабиев И.А., Рязанов С.С., Кольцова Т.Г., Григорьян Б.Р. Выбор метода геостатистической интерполяции свойств почв государственных сортоиспытательных участков при использовании параметров цифровой модели рельефа // Почвоведение. 2018. № 3. С. 259-273.
5. Suleymanov A., Abakumov E., Suleymanov R., Gabbasova I., Komissarov M. The Soil Nutrient Digital Mapping for Precision Agriculture Cases in the Trans-Ural Steppe Zone of Russia Using Topographic Attributes // ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2021. № 10. P.243.
6. Прудникова Е.Ю., Савин И.Ю. Спутниковая оценка дегумификации пахотных почв в Саратовском Поволжье // Почвоведение. 2015. № 5. С. 597-604.
7. Suleymanov A., Gabbasova I., Suleymanov R., Abakumov E., Polyakov V., Liebelt P. Mapping soil organic carbon under erosion processes using remote sensing // Hungarian Geographical Bulletin. 2021. № 70 (1). P. 49-64.
8. Сулейманов А.Р. Цифровое картографирование гумусного состояния с использованием спутниковых данных // Устойчивое развитие территорий: теория и практика: материалы Международной научно-практической конференции (19-21 ноября 2020 г.). Сибай: Сибайский информационный центр – филиал ГУП РБ Издательский дом «Республика Башкортостан», 2020. С. 239-240.
9. Gholizadeh A., Žižala D., Saberioon M. Borůvka L. Soil organic carbon and texture retrieving and mapping using proximal, airborne and Sentinel-2 spectral imaging // Remote Sensing of Environment. 2018. № 218. P. 89-103.

DIGITAL MAPPING OF SOIL ORGANIC CARBON CONTENT IN ARABLE LAND IN THE REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN

Suleymanov Azamat^{1, 2, 3}

¹ Ufa Institute of biology of the Ufa Federal Research Centre of the Russian Academy of Sciences, Ufa, Russia,

² Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russia

³ Bashkir State University, Ufa, Russia

E-mail: filpip@yandex.ru

Abstract. The results of studying the spatial distribution of soil organic carbon using relief attributes and Sentinel-2A satellite data are presented. The studies were carried out on an arable plot with a total area of 1200 ha. To create a predictive model, a random forest algorithm was used. A predictive model has been obtained that explains the variability of organic carbon ($R^2 = 0.41$; RMSE = 0.52).

Keywords: digital soil mapping, soil organic carbon, relief,

**ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ
ПОЧВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТЕРРИТОРИИ
МНОГОЛЕТНЕГО СОРТОИСПЫТАНИЯ (НА ПРИМЕРЕ
ЗАИНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
СОРТОИСПЫТАТЕЛЬНОГО УЧАСТКА)**

Сахабиев Ильназ Алимович

Казанский (Приволжский) федеральный университет, кафедра
почвоведения, Казань, Россия,
E-mail: ilnasoil@yandex.ru

Аннотация. В работе проведена сравнительная оценка пространственной структуры почвенных свойств на территории многолетнего сортоиспытания для двух периодов (1987 и 2011 год). Показано, что за 24 года произошли значимые различия для содержания гумуса, подвижного фосфора и значений кислотности. Однако радиусы корреляции почвенных свойств за прошедший период не показали значительных изменений, хотя в ряде случаев изменилась их пространственная зависимость.

Ключевые слова: автокорреляция, вариограмма, геостатистика, плодородие.

Введение. Своевременная оценка пространственного и временного изменения почвенного плодородия является важной частью рационального землепользования. Изменения почв сельскохозяйственных территорий могут быть вызваны антропогенными причинами, в тоже время показатели почвенного плодородия подвержены естественной вариабельности, которая является фундаментальным свойством почв и должна быть оценена. Вариабельность часто рассматривалась как помеха при агрохимическом обследовании сельскохозяйственных угодий и при проведении режимных наблюдений за свойствами почв [1]. Тем не менее, проблема вариабельности и неоднородности почв занимала одно из центральных положений в исследованиях почвенного покрова [1-5].

Особый интерес к исследованиям пространственной изменчивости почвенных свойств возник с 1980-х годов после внедрения в почвоведение геостатистических методов. К настоящему времени методы геостатистики, в частности ординарный и регрессионный кригинг, хорошо себя зарекомендовали и продолжают активно использоваться, так как они позволяют количественно определить масштаб пространственной изменчивости и содействуют лучшему

пониманию механизмов и процессов, которые управляют пространственными структурами [6].

Целью работы является сравнительная оценка пространственной структуры почвенных показателей территории сортоиспытания за 24-летний период с 1987 по 2011 годы.

Объекты и методы. Объектом исследования являлись выщелоченные черноземы Заинского государственного сортоиспытательного участка (ГСУ), расположенного в Восточном Закамье Республики Татарстан. Площадь ГСУ составляет около 100 га. Северо-западная часть участка является верхней частью водораздела, юго-восточная часть представлена слегка волнистым склоном. Перепад высот на участке составляет около 20 м.

В 2011 году на территории ГСУ проводилось агрохимическое обследование, в ходе которого было отобрано 60 объединенных почвенных проб. Для этого территория полей была поделена на прямоугольные элементарные участки размером 1-1,5 га, в каждом из которых ручным пробоотборником на глубину пахотного слоя отбиралось 20-25 единичных проб для составления объединенной пробы. Схема отбора проб повторяла схему предыдущего агрохимического обследования 1987 года. Объединенные пробы были пространственно привязаны к центрам элементарных участков. В образцах определялись содержание гумуса по Тюрину, содержание подвижных форм фосфора и калия по Чирикову и Кирсанову, рН водной вытяжки потенциметрически, содержание гидролизуемых форм азота по Корнфилду.

Полученные результаты сравнивались с данными агрохимического обследования 1987 года. Сравнение разновременных значений почвенных показателей осуществлялась с использованием нормализации:

$$X_p = \frac{X_i - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}},$$

где X_p – нормализованное значение, x_i – оригинальное значение, X_{\max} , X_{\min} – максимальное и минимальное значение атрибута, соответственно. Для определения различия между нормализованными почвенными значениями использовалась статистика Манна-Уитни.

Для оценки пространственной структуры использовался вариограммный анализ для предварительно стандартизированных почвенных свойств, а именно было вычтено среднее из каждого значения и поделено на стандартное отклонение. Статистическая обработка проводилась в среде объектно-ориентированного языка R, для вариограммного анализа использовался пакет gstat языка R.

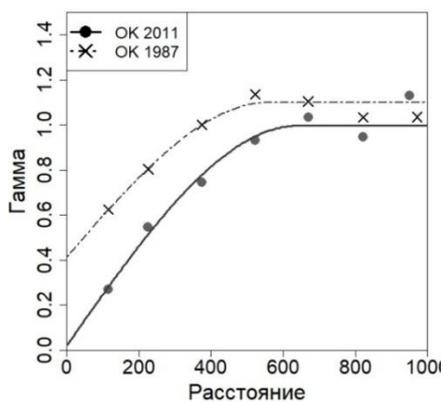
Результаты и обсуждение. Прямое сравнение разновременных результатов агрохимических обследований не представлялось возможным, поскольку методы определения почвенных показателей различались. К примеру, содержание подвижного фосфора в 1987 году определялось с помощью метода Труога, а в 2011 - по методу Чирикова, как и содержание подвижного калия, которое в 1987 году было определено по методу Масловой. Тем не менее, оценка была дана по градациям соответствующего показателя. Так, по содержанию гумуса на 1987 год почвы характеризуются как слабогумусированные, а к 2011 – как почвы с содержанием гумуса «меньше минимального». Содержание гидролизуемого азота в 1987 и 2011 году характеризуется как повышенное. В 1987 году содержание подвижных форм калия было повышенным, а подвижного фосфора – очень высоким. В 2011 году содержание подвижных форм калия и фосфора варьирует от высоких до очень высоких значений соответственно.

Вариабельность гумуса в 1987 году слабая, а в 2011 – средняя. Вариабельность гидролизуемого азота в разновременные даты оставалась средней. В 1987 году значениям подвижного фосфора и калия соответствовала очень сильная вариабельность, тогда как в 2011-м вариабельность подвижного фосфора характеризуется как очень сильная, а подвижного калия как средняя. Вариабельность кислотности слабая в 1987 году, в 2011 году она также остается слабой.

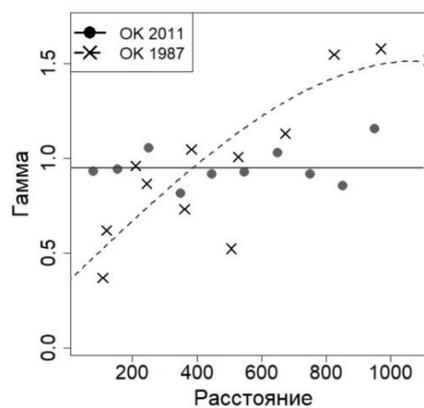
Результаты теста Манна-Уитни нормализованных значений почвенных свойств показали, что статистически значимые различия при уровне значимости $p = 0,05$ между разновременными значениями были зафиксированы для содержания гумуса, подвижного фосфора и кислотности.

Результаты вариограммного анализа разновременных исследований приведены на рисунке 1. Для сопоставления исследований разных лет вариограммы значений почвенных свойств были построены с удалением тренда (если тренд в оригинальных данных присутствовал) и без учета анизотропии. В 1987 году радиус корреляции содержания гумуса составлял 560 м, а в 2011 – 642 м. Подвижный калий характеризовался в 1987 году радиусом корреляции равным 544 м, тогда как в 2011 он снизился до 503 м. Радиус корреляции содержания подвижного фосфора в 1987 составлял 509 м, а в 2011 - 657 м. Лишь для гидролизуемого азота (1987 год) радиус корреляции превышает 1000 м, в 2011 году распределение в пространстве этого показателя является случайным и описывается «чистым» наггет-эффектом. Кислотность в 1987 году имеет тренд, который исчезает к 2011 году. В целом в 1987 году радиусы корреляции почвенных свойств изменяются в диапазоне 509-560 м, а в 2011 году радиус корреляции варьирует в пределах 503–841 м.

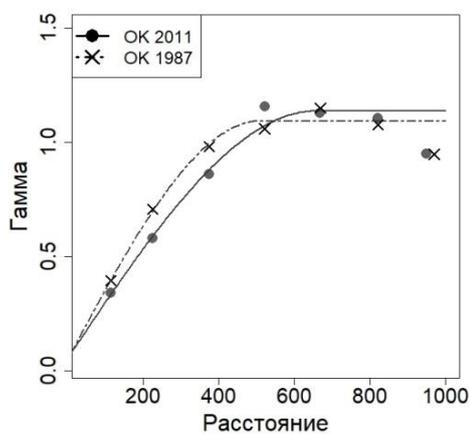
а) Гумус



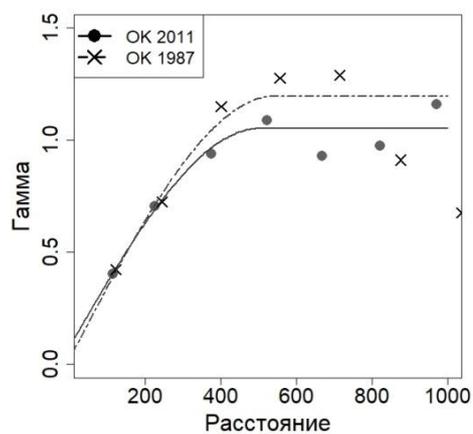
б) Азот легкогидролизуемый



в) Фосфор подвижный



г) Калий подвижный



д) Кислотность

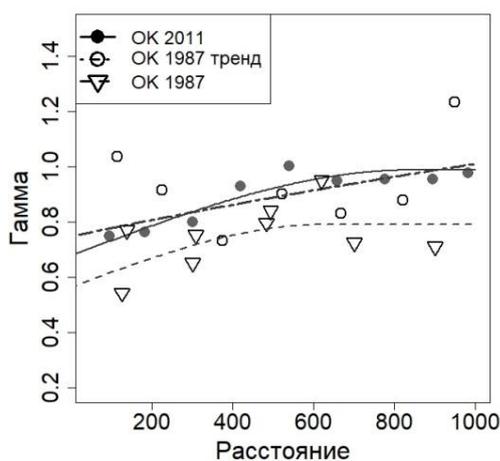


Рис. 1. Вариограммы стандартизованных значений почвенных свойств для разновременных обследований

Согласно соотношению (порог–наггет)/порог, которое показывает долю пространственной зависимости, в 1987 году содержание гумуса имело умеренную пространственную зависимость (63%), тогда как на период 2011 года пространственная зависимость оказалась сильной (98%). Содержание подвижных форм фосфора и калия в двух обследованиях имело сильную пространственную зависимость (92-98%). Пространственная зависимость значений кислотности почв находилась в пределах умеренной градации в 2011 году (33%), тогда как в 1987 году для данных кислотности существовал тренд, после удаления которого зависимость также была умеренной (30%) Для гидролизуемого азота удалось оценить зависимость лишь для 1987 года, она была умеренной.

Заключение

Почти четверть века сельскохозяйственного использования в виде сортоиспытательной деятельности значительно изменили содержание в почве гумуса, подвижного фосфора и кислотности в Заинском ГСУ. Тем не менее, значительного изменения пространственной структуры почвенных свойств за прошедший период не наблюдается. Вариограммный анализ показал, что расстояния автокорреляции для почвенных свойств варьируют в близких диапазонах: в 1987 году в пределах 509-560 м, а в 2011 году – в диапазоне 503–841 м. К 2011 году пространственная зависимость для содержания гумуса усилилась, а для подвижного калия и фосфора так же осталась сильной. В 1987 году для кислотности существовал тренд, который исчез к 2011 году.

Благодарности

Автор выражает признательность доценту Мешалкиной Ю.Л. за ценные советы.

Список литературы

1. Дмитриев Е.А. Элементы организации почв и структура почвенного покрова // Почвоведение. 1993. № 7. С. 23-30.
2. Орешкина Н.С. Статистические оценки пространственной изменчивости свойств почв. М.: Изд-во МГУ. 1988. 112 с.
3. Самсонова В.П. Пространственная изменчивость почвенных свойств: На примере дерново-подзолистых почв. М.: Изд-во ЛКИ. 2008. 160 с.
4. Самсонова В.П., Мешалкина Ю.Л. Оценка роли рельефа в пространственной изменчивости агрохимически важных почвенных свойств для интенсивно обрабатываемого сельскохозяйственного угодья // Вестник Моск. ун-та. 2014. Серия 17: Почвоведение. № 3. С. 36-44.

5. Фрид А.С. Пространственное варьирование и временная динамика плодородия почв в длительных полевых опытах. М.: Россельхозакадемия. 2002. 80 с.
6. Goovaerts, P. Geostatistics for Natural Resource Evaluation. New York: Oxford University Press. 1997. 483 p.

**ASSESSMENT OF CHANGES IN THE SPATIAL STRUCTURE
OF SOIL PROPERTIES OF THE TERRITORY OF LONG-TERM
GRADE TESTING (ON THE EXAMPLE OF THE ZAINSKY STATE
GRADE TESTING SITE)**

Sahabiev Ilnas

Kazan Federal University, Kazan, Russia
E-mail: ilnasoil@yandex.ru

Abstract. The paper presents a comparative assessment of the spatial structure of soil properties in the territory of long-term grade testing for two periods (1987 and 2011). It is shown that in 24 years there were significant differences for the content of humus, mobile phosphorus and acidity. However, the range of correlation of soil properties over the past period have not shown significant changes, although in some cases their spatial dependence has changed.

Keywords: autocorrelation, variogram, geostatistics, fertility

**ИЕРАРХИЧЕСКАЯ ГЕТЕРОГЕННОСТЬ ЗАГРЯЗНЕНИЯ
ЦЕЗИЕМ-137 НА МИКРОЛАНДШАФТНОМ УРОВНЕ
ПОЧВ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ**

Линник Виталий Григорьевич

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН,
Москва, Россия
E-mail: vlinnik_53@mail.ru

Аннотация. Исследованы закономерности пространственного распределения ^{137}Cs в почве на микроландшафтном уровне. Вариограммный анализ выявил два иерархических уровня гетерогенности распределения ^{137}Cs , которые соответствуют иерархической неоднородности гидроморфизма почвенного покрова.

Ключевые слова: цезий-137, почва, почвенная неоднородность, геостатистика, микроландшафт.

Введение. Выявление и анализ причин неоднородности почвенного покрова – это фундаментальная проблема современного почвоведения [3]. Методы неразрушающего контроля, использующие различные сенсоры [6], позволяют оперативно получать необходимый массив информации для математического моделирования мультимасштабных уровней организации параметров (геохимических трассеров - ^{137}Cs) для выявления характера пространственного строения почвенного покрова на разных уровнях организации.

Центральное место в почвоведении занимает оценка пространственного варьирования свойств почвы, которые могут значительно различаться не только в пределах одного почвенного контура или поля, но также на микроплощадках. Для выявления количественных зависимостей между пространственным распределением факторов почвообразования и свойствами почв используются различные статистические методы [7]. Ранее проблема статистического моделирования иерархической неоднородности почвы рассматривалась в работах Е.А. Дмитриева [1], Ф.И. Козловского [2], В.П. Самсоновой [4].

Объекты и методы. В данной работе представлен анализ распределения ^{137}Cs на мониторинговой площадке РНЭЦ В1, расположенной в нижней части вогнутого склона южной экспозиции в Новозыбковском районе Брянской области [4, с. 135] под ельником-

черничником с примесью осины с перегнойно-подзолистой поверхностно-оглеенной почвой.

Измерения запаса ^{137}Cs проводились в 1993 г. с использованием радиометра КОРАД, детектируемая площадь равна $S = 2 \text{ м}^2$. Для детальной съемки с шагом $0,5 \times 0,5 \text{ м}$ использовалась нестандартная геометрия ($S = 0,5 \text{ м}^2$). Для верификации радиометра «КОРАД» и оценки заглубления ^{137}Cs отбирались пробы почвы пробоотборником диаметром 14 см^2 на глубину 15 см. Отобранные пробы измерялись в лабораторных условиях для определения удельной активности ^{137}Cs .

Пространственная корреляции распределения ^{137}Cs оценивалась по фактическим данным с помощью экспериментальной вариограммы $\gamma(h)$ (формула 1):

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n [Z(x_i + h) - Z x_i]^2, \quad (1)$$

где x_i и $x_i + h$ – точки измерений с шагом h , $Z(x_i)$ и $Z(x_i + h)$ – измерения ^{137}Cs в соответствующих точках, n – это общее число пар точек измерения радиометром «КОРАД».

Для определения анизотропии поля загрязнения ^{137}Cs проводился расчет вариограммы по четырем направлениям: 0, 45, 90 и 135 градусов.

Результаты и обсуждение. На площадке В1 размером $50 \times 80 \text{ м}$, диапазон высот 152,8-154,6 м, выражен слабоволнистый рельеф с преобладающим уклоном поверхности в южном и юго-восточном направлении. На площадке выделяются отдельные западины размером до нескольких метров и глубиной 20-40 см, заполненные водой в весенний период. Поверхностный сток ^{137}Cs из таких западин может осуществляться в весенний период по узким микропромоинам, которые перекрыты мощным слоем подстилки из опавшей листвы (до 10-15 см). На площадке в почвенном покрове наблюдается микрокомплексность, поэтому здесь проводилось исследование иерархической структуры пятен загрязнения ^{137}Cs , связанной как с условиями первичного осаждения радионуклида в 1986 году, так и в результате последующей латеральной миграции, обусловленной различным строением микрорельефа (зоны сноса и зоны аккумуляции).

На всей площадке В1 радиометрические измерения ^{137}Cs проводились по сетке $10 \times 10 \text{ м}$. Для более детальной съемки (сетка $2 \times 2 \text{ м}$) были выбраны две контрастные по гидроморфному режиму микроплощадки В1-1 и В1-2 размером $10 \times 10 \text{ м}$.

Микроплощадка В1-1 выбрана в осиннике с застойным водным режимом и неоднородным по мощности перегнойным горизонтом, В1-2 характеризует ельник с однородной по мощности хвойной подстилкой.

На В1-1 была заложена микроплощадка В1-1-1 размером 4 × 3 м, где выполнялась более детальная съемка с шагом 0,5 × 0,5 м в нестандартной геометрии. Сравнение данных отбора проб и радиометрической съемки на В1-1 с шагом 2 × 2 м (табл. 1) показывает хорошую сходимость двух методов по всем статистическим параметрам.

Коэффициент вариации плотности загрязнения ^{137}Cs по результатам радиометрической съемки для всей площадки В1 равен 25% (по данным отбора проб, $n = 5$, $\text{CV}\% = 40\%$). Минимальные значения CV плотности загрязнения ^{137}Cs наблюдаются на В1-2 (9%) и достигают максимальных значений на В1-1 (36,2%) и ее фрагменте В1-1-1 (36,3%). По данным отбора проб ($n = 8$) на В1-1 коэффициент вариации ^{137}Cs несколько выше – 41,5%.

Таблица 1. Статистические параметры распределения ^{137}Cs (мкКи/м²) в почвенном покрове площадки В1 и на отдельных микроплощадках

| Индекс площадки | В1 | | В1-1 | | В-1-1 | В1-2 |
|------------------------|------|------|------|------|-------|------|
| | КД | П | КД | П | КД | КД |
| N | 78 | 5 | 36 | 8 | 63 | 36 |
| Среднее | 25,7 | 28,8 | 18,4 | 22,6 | 15,0 | 20,8 |
| Минимум | 25,2 | 16,1 | 7,6 | 8,9 | 4,6 | 18,1 |
| Максимум | 46,1 | 41,5 | 34,6 | 38,4 | 29,1 | 26,0 |
| Коэф. вариации (CV, %) | 25,5 | 40,3 | 36,1 | 41,5 | 36,3 | 9,0 |

Примечание. КД – измерения коллимированным радиометром КОРАД, П – результаты отбора проб кольцами.

Вместе с тем отмечается ожидаемое различие в показателе CV для измерения прибором КОРАД и кольцами, связанное с различием в площади детектирования. Для КОРАД $S = 2 \text{ м}^2$, тогда как для кольца диаметром 14 см – $S = 0,0154 \text{ м}^2$. Отношение площадей детектирования $S_{\text{корад}}/S_{\text{проба}} = 130$. Для «малой геометрии» ($S = 0,5 \text{ м}^2$) отношение площадей детектирования $S_{\text{корад}}/S_{\text{проба}} = 32$.

Из практики геостатистического моделирования хорошо известно, что измерения, проведенные различными методами, в которых детектируемая площадь (support) различается, характеризуются различными статистическими значениями [8]. При увеличении площади детектирования за счет осреднения дисперсия (CV) снижается. На площадке В1 установлено, что отношение вариабельности распределения ^{137}Cs , полученное методом полевой радиометрии, к данным пробоотбора ($\text{CV}_{\text{корад}}/\text{CV}_{\text{проба}}$) для всей площадки равно 0,63; для гидроморфной части, В1-1 – 0,87. Полученные результаты сравнения вариабельности в зависимости от площади детектирования

подтверждают правило, что чем меньше различается площадь детектирования (support), тем меньше различие вариабельности анализируемого параметра.

Геостатистический анализ для всей площадки В1 (рис. 1) выявил примерное равенство вариограммы по всем направлениям, т.е. отсутствие выраженной анизотропии, а также чередование высоких значений запаса ^{137}Cs с низкими [4] (размеры пятен 30-40м), совпадающими с чередованием гидроморфных и полугидроморфных участков.

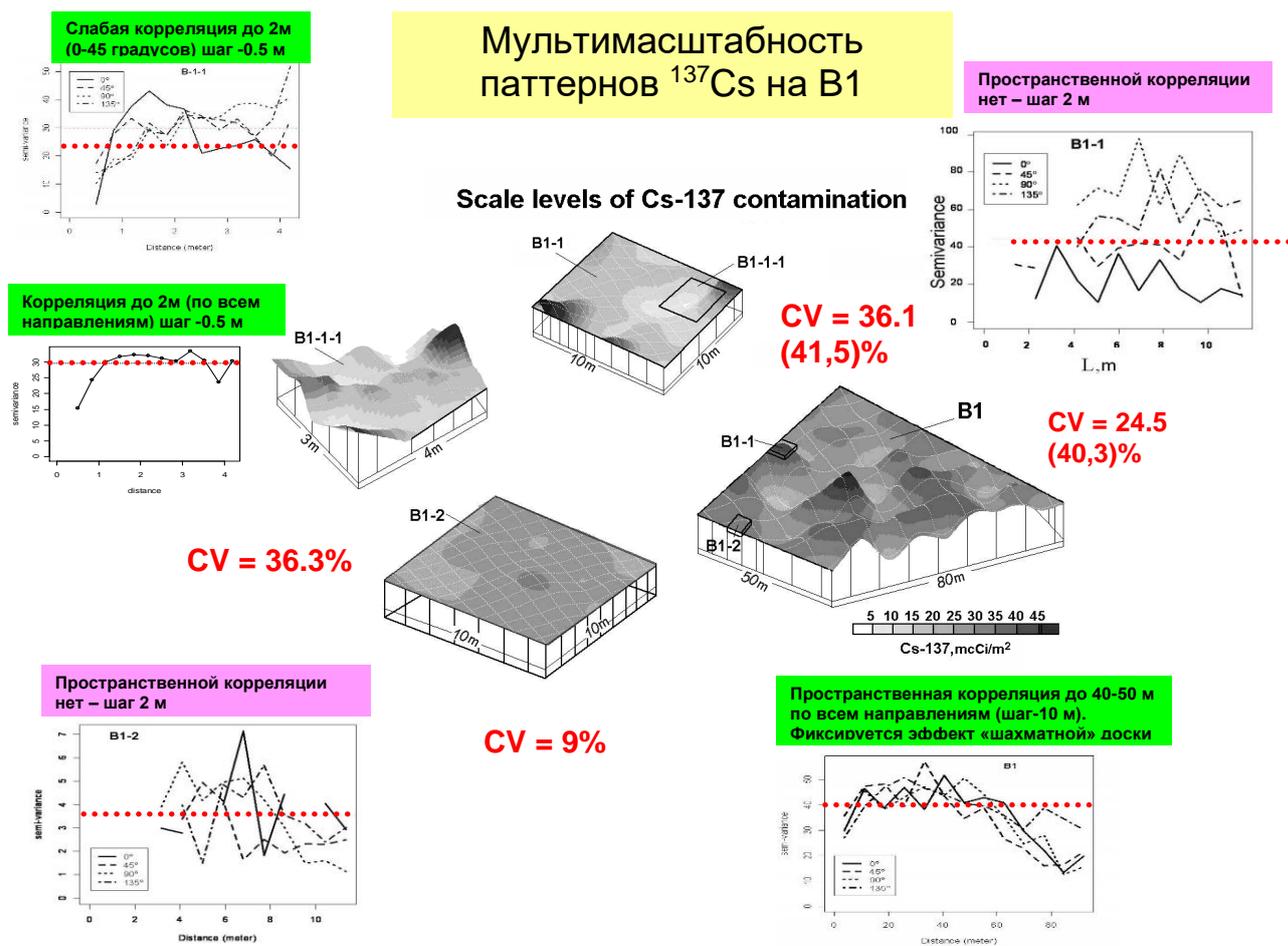


Рис. 1. Мультимасштабность паттернов ^{137}Cs на мониторинговой площадке В1 (Брянская область). CV – коэффициент вариации по данным измерения «КОРАД», в скобках (по данным отбора проб)

Для площадки В1-1 вариограммный анализ распределения ^{137}Cs не выявляет явно выраженной пространственной корреляции. Волнообразный вид вариограммы с характерным размером порядка 5 метров показывает случайный в целом характер распределения ^{137}Cs по всем направлениям, кроме двух направлений (45° и 135°), где изотропность поля загрязнения совпадает с направлением поверхностного стока.

На локальной части площадки В1-1 (микроплощадка В1-1-1) выявляется слабая пространственная корреляция до 2 м загрязнения ^{137}Cs (размер «пятен» наиболее выражен для направления 0° , размер этих пятен достигает 1,5-2 м). Образование пятен загрязнения ^{137}Cs такого размера обусловлено более мелкими микрозадинами.

Для площадки В1-2 вариограммный анализ показывает отсутствие пространственной корреляции по всем 4-м направлениям, и характер распределения ^{137}Cs можно считать абсолютно случайным: структурные пятна ^{137}Cs не выражены. Таким образом, при однородных микроландшафтных условиях и в отсутствии дифференцирующего фактора гидроморфизма структурирования поля загрязнения ^{137}Cs не происходит.

Заключение

Таким образом, в пределах локального участка ельника-черничника с примесью осины в пределах одной площадки В1 выявлено два иерархических уровня неоднородности распределения ^{137}Cs , совпадающих с иерархией почвенных структур по их гидроморфизму.

Благодарности

Работа выполнена в ГЕОХИ РАН согласно Госзаданию (тема 0137-2019-0008)

Список литературы

1. Дмитриев Е.А. Теоретические и методологические проблемы почвоведения. М.: ГЕОС, 2001. 377 с.
2. Козловский Ф.И. Теория и методы изучения почвенного покрова. М.: Геос, 2003. 538 с.
3. Красильников П.В., Таргульян В.О. На пути к «новой географии почв»: вызовы и решения (обзор) // Почвоведение. 2019. № 2. С. 131–139.
4. Линник В.Г. Ландшафтная дифференциация техногенных радионуклидов. М.: РАН, 2018. 372 с.
5. Самсонова В.П. Пространственная изменчивость почвенных свойств на примере дерново-подзолистых почв. М.: Изд-во «ЛКИ», 2008. 156 с.
6. Doolittle, J. A., & Brevik, E. C. (2014). The use of electromagnetic induction techniques in soils studies. // *Geoderma*. № 223–225. P.33–45.
7. McBratney A.B., Mendonça Santos M.L., Minasny B. On digital soil mapping // *Geoderma*. 2003. V. 117. № 1–2. P. 3–52.
8. Lark, R. M., Ander, E. L., & Broadley, M. R. (2019). Combining two national-scale datasets to map soil properties, the case of available magnesium in England and Wales. // *European journal of soil science*. № 70(2). P. 361–377.

HIERARCHICAL HETEROGENEITY OF CESIUM-137 SOIL CONTAMINATION OF THE BRYANSK REGION AT THE MICROLANDSCAPE LEVEL

Linnik Vitaly

Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry,
Russian Academy of Sciences, Kosygina st., 19.,
Moscow, Russian Federation 119991
E-mail: vlinnik_53@mail.ru

Abstract. The regularities of the spatial distribution of ^{137}Cs in the soil at the microlandscape level have been investigated. Variogram analysis revealed two hierarchical levels of heterogeneity of the ^{137}Cs distribution, which correspond to the hierarchical heterogeneity of the hydromorphism of the soil cover.

Keywords: caesium-137, soil, soil heterogeneity, geostatistics, microlandscape.

**УЧЕТ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ
КИСЛОТНОСТИ ПОЧВЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ
ЗАДАЧ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Киндеев Аркадий Леонидович

Белорусский государственный университет, факультет географии и
геоинформатики, Минск, Республика Беларусь

E-mail: AKIndeev@tut.by

Аннотация. В статье рассматриваются современные направления учёта неоднородности свойств почвенного покрова. На примере опытного участка (105 га) РУНП «Гродненский зональный институт растениеводства Национальной академии наук Беларуси» показано, что игнорирование внутриполевой гетерогенности приводит к ещё более значительным различиям. При помощи методов геостатистики были получены данные о пространственной неоднородности pH_{KCl} , оценена степень пространственной зависимости и точность полученных результатов. Сравнение затрат при классическом агрохимическом обследовании и при детальном учёте только кислотности показало экономию на внесении $CaCO_3$ с исследуемого поля в 2785 долл. США.

Ключевые слова: почвенный покров, неоднородность, геостатистика.

Введение. На современном этапе развития агропромышленного комплекса в развитых странах учет неоднородности свойств почвенного покрова является основой для применения технологий «точного земледелия».

В Республике Беларусь при агрохимических обследованиях поля делятся на рабочие участки, средние размеры которых составляют 10 га, с которых в ходе полевых работ отбирается смешанный образец из 35-50 уколов почвы общим весом до 0,6 кг [1]. При этом проблемные территории, возникающие внутри рабочих участков, игнорируются, что приводит к наличию на полях микроучастков площадью от 50 до 200 м² со значительно пониженным уровнем эффективного плодородия, вплоть до гибели растений.

Объекты и методы. Подобная ситуация наблюдается на ряде полей РУНП «Гродненский зональный институт растениеводства

Национальной академии наук Беларуси». Для проведения эксперимента было выбрано поле площадью 105 га. Перепад относительных высот на исследуемом участке не превышал 1,5 м. Почва – дерново-подзолистая супесчаная, местами песчаная. Индентификация проблемных участков проводилась при помощи спутниковых снимков и разновременных картограмм индекса EVI.

Исходя из исследований, проводимых ранее [3-5], вопрос об оптимальном шаге пробоотбора при первичном обследовании почвенного покрова остается открытым, однако, обобщив накопленный ранее опыт, можно сказать, что примерный шаг отбора проб должен составлять 60-70 м. На основании этого была сгенерирована сетка пробоотбора с шагом в 70 м, количество точек составило 214 шт, в ходе отбора проб, в «проблемных зонах» было отобрано еще дополнительно 54 образца. Почвенная карта участка с точками пробоотбора и индексов представлена на рисунке (рис. 1).

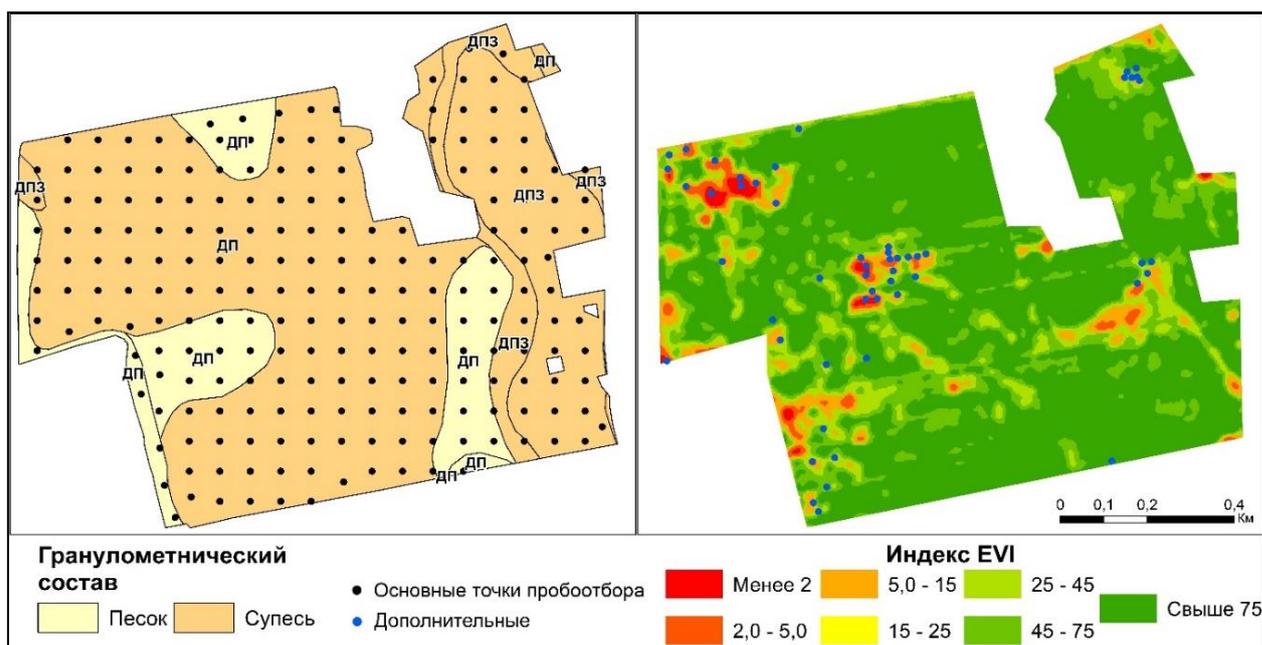


Рис. 1. Почвенная карта и индекс EVI исследуемого участка

Отобранные образцы были доставлены на станцию химизации, где был произведен анализ кислотности. Значения pH в KCl были получены потенциометрически в лаборатории согласно ГОСТу 26484-85 [2].

Дальнейшая обработка полученных значений проводилась в программных продуктах Microsoft Excel, где была произведена проверка данных на нормальность распределения, и ArcGIS ArcMap, в котором

проводился геостатистический анализ и стахостическое моделирование с использованием модулей Geostatistic Analyst.

Результаты и обсуждение. По результатам обработки были получены показатели описательной статистики и построена гистограмма распределения (рис. 2), исходя из которых можно констатировать наличие отклонений от нормального распределения.

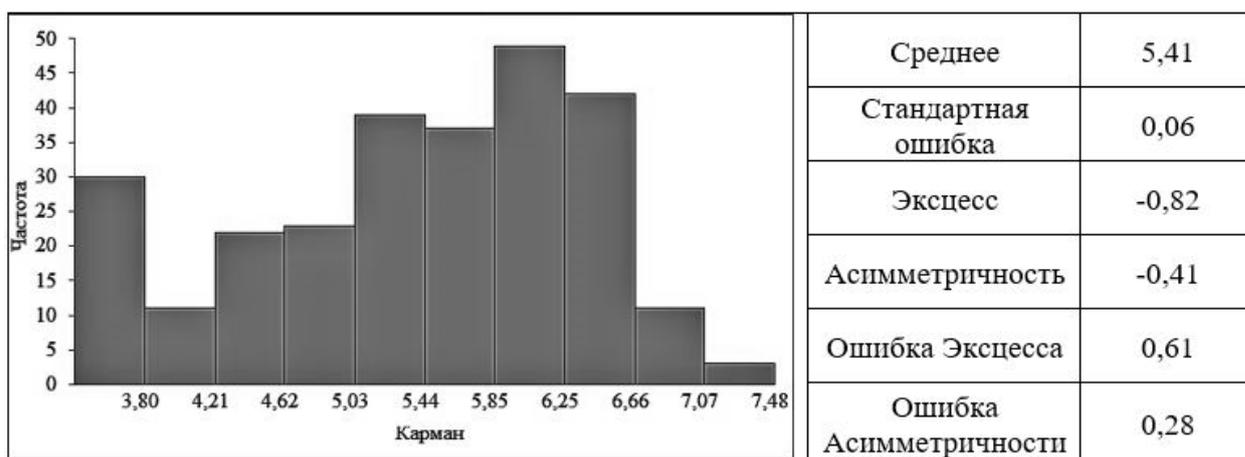


Рис. 2. Оценка распределения значений pH_{KCL} исследуемого участка

Отрицательное значение эксцесса (- 0,82) и превышение своего порогового значения (+/- 0,61) нормальности распределения говорит о наличии плосковершинности графика, что также заметно на гистограмме. Наличие большого числа пиков также свидетельствует о неоднородном распределении. Отклонение коэффициента асимметрии от своего порогового значения (+/- 0,41) в отрицательную сторону говорит о левосторонней скошенности ряда данных, что обусловлено наличием большего количества значений ультракислых почв на участке. В связи с этим перед проведением вариограммного анализа было произведено логарифмирование данных.

Анализ трендов показал отсутствие мезокомпоненты пространственного варьирования данных, однако при подборе вариограмм была выявлена внутрислоевая анизотропия северо-восточной направленности (угол 53°). При подборе экспериментальных вариограмм к эмпирической наилучшим вариантом стала экспоненциальная модель (рис. 3).

Практически на всём расстоянии наблюдается сильная пространственная зависимость: значения ранга равняются 540 м. Также можно заметить отклонение эмпирической вариограммы на малых расстояниях до 50 м. Такие отклонения, возможно, вызваны деятельностью

сельскохозяйственной техники, внесением удобрений и т.п., при этом максимальный захват используемого оборудования для обработки полей не превышает 18 м. Максимальное значение дисперсии составляет 0,032, что является порогом вариограммы. Наггет-эффект равен 0,008, исходя из чего остаточная дисперсия составляет 25,0 %, характеризующая микрокомпоненту варьирования, оставшиеся 75,0 % приходится на случайную мезокомпоненту, которая описывается подобранной вариограммой.

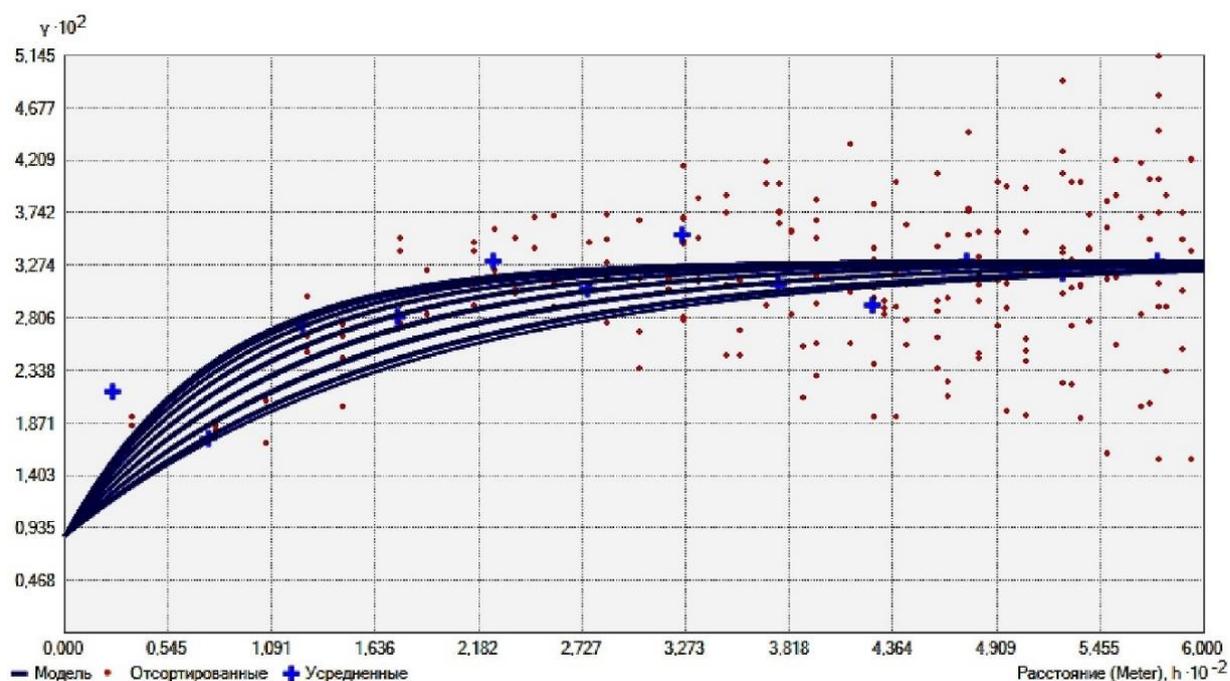


Рис. 3. Экспоненциальная вариограмма значений pH_{KCl}

После проведения кросс-валидации средняя ошибка прогноза (ME) составила $-0,07$, среднеквадратическая ошибка – $0,73$, а среднеквадратическая нормированная погрешность (RMSS) – $0,94$. Полученная в ходе геостатистического анализа картограмма представлена на рисунке 4 (рис. 4). Также на рисунке 4 представлена картограмма кислотности, составленная по методике агрохимического обследования земель, утверждённой в Республике Беларусь [1].

Полученная картограмма отражает наличие ультракислых почв в «зонах неоднородности» в центральной и северо-западной частях поля, такая реакция также обуславливает наличие соединений токсичного алюминия и экстремально низкие содержания кальция и магния, что в совокупности приводит к отсутствию всходов культурной растительности. Дополнительно стоит отметить, что на данных участках поля содержание гумуса является удовлетворительным для дерново-

подзолистых почв (около 2,00 – 2,50 %), также почва имеет хорошую, комковатую структуру, что говорит о хороших физических свойствах почвы. При слабокислой реакции среды, обедненная гумусом почва присутствует в центральной южной части поля (1,00 %), где из-за особенностей рельефа на поверхность выходят негумусированные пески, что приводит к невозможности получать стабильные урожаи на этом участке поля.

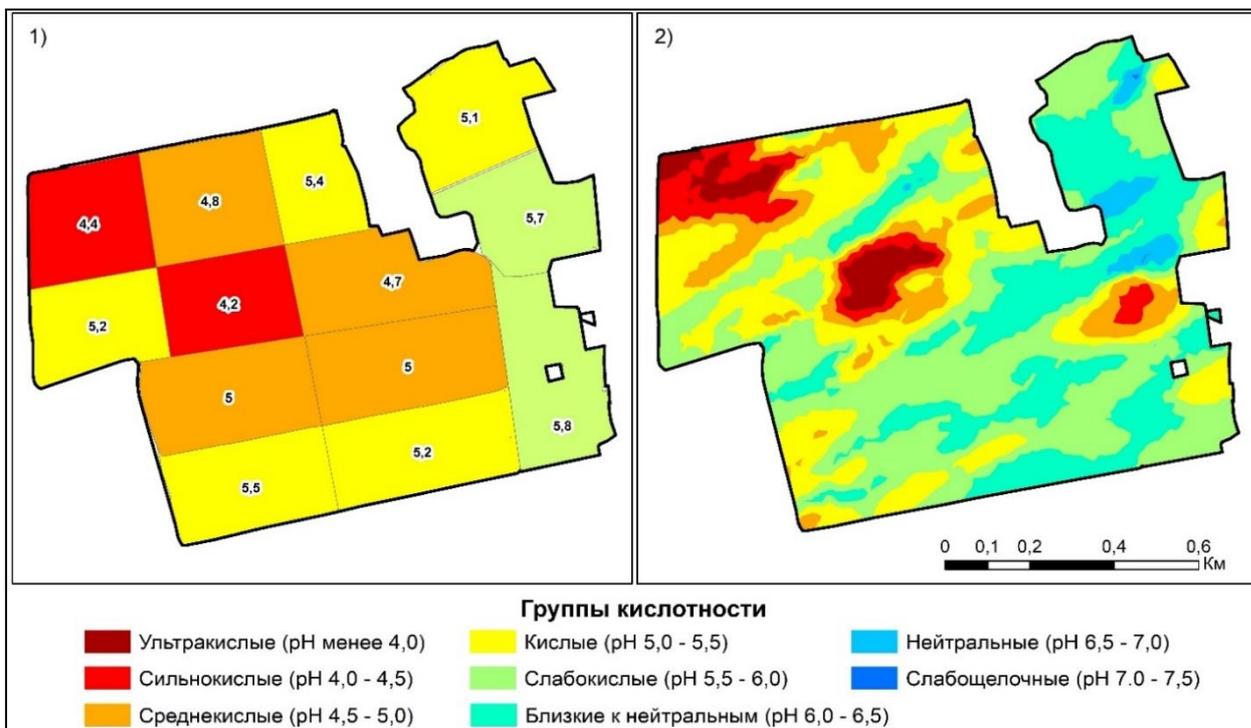


Рис. 4. Картограммы кислотности почв: 1 – при установленном агрохимическом обследовании земель; 2 – при использовании методики геостатистического подхода

Выводы. Таким образом, можно выделить как минимум две основные причины наличия неплодородных участков на исследуемом поле:

1. Ультракислая среда в центральной и северо-западной части территории, что решается использованием известковых мелиорантов для выравнивания уровня рН;
2. Выход на поверхность слабогумусированных песков в центральной южной части поля, что подразумевает внесение повышенных доз органических удобрений на данном участке.

При сравнении затрат только на закупку необходимого объема CaCO_3 по картограмме полученной геостатистическими методами с регулярной сеткой пробоотбора экономия с данного поля составляет

2785 долл. США., что даже при учете затрат на значительный объем химического анализа образцов, делает данный метод значительно эффективным.

Список литературы

1. Богдевич И.М. Крупномасштабное агрохимическое и радиологическое обследование почв сельскохозяйственных земель Республики Беларусь: методические указания. Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2012. 48 с.
2. Метод определения обменной кислотности: ГОСТ 26484-85 – Введ. 26.04.1985. Москва: Министерство сельского хозяйства СССР. 1985. 3 с.
3. Fu W. Outlier identification of soil phosphorus and its implication for spatial structure modeling. // Precision Agriculture. 2016. Vol. 17. No. 2. P. 121-136.
4. Waitz Y. From microsite selection to population spatial distribution: *Pinus halepensis* colonization in mediterranean-type ecosystems // Plant Ecology. 2015. Vol. 216. No. 9. P. 1311-1324.
5. Wu Y.H., Hung M.C., Patton, J. Assessment and visualization of spatial interpolation of soil pH values in farmland. // Precision Agriculture. 2013. Vol. 14. P. 565-585.

ACCOUNTING FOR SPATIAL INHOMOGENEITY OF ACID FOR SOLVING APPLIED PROBLEMS OF PRECISION AGRICULTURE

Kindeev Arkady Leonidovich

Belarusian State University, Faculty of Geography and Geoinformatics,
Minsk, Republic of Belarus
E-mail: AKIndeev@tut.by

Abstract. The article discusses the modern directions of accounting for the heterogeneity of the properties of the soil cover. On the example of an experimental plot (105 ha) of the RUNE “Grodno Zonal Institute of Plant Industry of the National Academy of Sciences of Belarus” it is shown that ignoring intra-field heterogeneity leads to even more significant differences. Using geostatistical methods, data on the spatial inhomogeneity of pH_{KCL} were obtained, the degree of spatial dependence and the accuracy of the results were estimated. Comparison of the costs for a classical agrochemical survey and for a detailed account of only acidity showed a savings in the application of $CaCO_3$ from the studied field in the amount of US \$ 2,785.

Keywords: soil cover, heterogeneity, geostatistics, stochastic modeling

**ТОЧНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ:
ПОДБИРАЕМ КЛЮЧИ К ПЛОДОРОДИЮ КАЖДОГО ПОЛЯ**

Железова Софья Владиславовна

ФГБНУ ВНИИ фитопатологии, Большие Вязёмы, Россия

E-mail: soferrum@mail.ru

Аннотация. Влияние вариабельности почвенного плодородия на развитие зерновых культур изучалось в многолетнем полевом опыте в 4-польном севообороте. Выявлено три уровня иерархии плодородия: 1) севооборот в целом; 2) поле; 3) педон. В точном земледелии целесообразно проводить дифференцированные обработки на уровне поля.

Ключевые слова: точное земледелие, вариабельность свойств почвы, NDVI, урожайность, зерновые культуры

Введение. Точное (координатное) земледелие подразумевает эффективное управление продукционным процессом сельскохозяйственных культур на полях с неоднородным фоном плодородия [1]. Для решения данной задачи необходимо первичное подробное обследование полей, сезонный мониторинг посевов и своевременное реагирование на их внутрипольную изменчивость. Главная цель в концепции точного земледелия – оптимизация экономических затрат при достижении заданного уровня урожайности и качества продукции.

Координатное земледелие как практическое направление в сельскохозяйственном производстве стало активно развиваться в последнее десятилетие XX века, когда для гражданского доступа стали открытыми технологии геопозиционирования и спутниковая навигация [2]. Современный уровень развития технических средств в растениеводстве позволяет осуществлять посев, вносить удобрения и средства защиты растений в дифференцированных дозах [3]. Но прежде, чем высокоинтеллектуальная техника выйдет на поле с конкретным заданием, следует выявить зоны неоднородности почвенного плодородия и состояния посевов в различных зонах. Методический подход к обследованию полей в точном земледелии основан на изучении в пространстве и во времени совместного влияния стабильных и динамичных факторов, влияющих на развитие посевов: геоморфологических и почвенных характеристик местности, метеоусловий, применяемых агротехнологий и др. [4]. Фундаментальной основой и теоретической

базой точного земледелия является учение о неоднородности почвенного покрова, и иерархических уровнях его организации в пределах одного поля и группы полей.

Объекты и методы. Исследования проведены на опытном полигоне Центра точного земледелия РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева. Объект исследования: посевы зерновых культур (озимая пшеница, ячмень) в 4-польном зернопропашном севообороте на окультуренной дерново-подзолистой почве с высоким уровнем пространственной неоднородности. Оценка неоднородности почвенного покрова проведена методом полевого описания профилей почвы в разных точках на поле при закладке почвенных разрезов [5], при проведении полнопрофильного бурения почвы до глубины 1,5 м, и методом горизонтального электрического профилирования [6] с построением пространственных карт удельного электрического сопротивления поверхностного (0–30 см) слоя почвы. Оценка плодородия проведена по результатам агрохимического обследования полей с размещением точек опробования по регулярной сетке [7]. Развитие посевов от всходов до урожайности оценивали по пространственным картам NDVI и картам урожайности в течение трёх ротаций севооборота [8–10].

Результаты и обсуждение. Зерновые культуры возделывают в данном севообороте по интенсивной технологии, применяя удобрения с расчётом на получение планируемой урожайности 5,5–6 т/га озимой пшеницы и 3,5–4 т/га ячменя. Тем не менее, такого уровня урожайности удаётся добиться не каждый год. Среднемноголетняя урожайность пшеницы составила 4,9 т/га, ячменя – 3,7 т/га, при этом колебания урожайности по отдельным годам достигали $\pm 40\%$ (рис. 1). Также было выявлено, что поле № 4 по урожайности всех культур зернопропашного севооборота существенно уступает трём другим полям. Это позволяет выявить первый уровень иерархии плодородия почвы для данной территории, уровень севооборота. Для данного уровня иерархии размеры различающихся по плодородию «ячеек» (фрагментов местности, элементов ландшафта) составляет 100 м и более. Применение технологий точного земледелия для такого уровня неоднородности может быть нецелесообразно.

При более подробном рассмотрении пространственной неоднородности почвы и посевов было выявлено, что существуют зоны неодинакового плодородия внутри полей. Эти зоны относительно

стабильны, и, несмотря на высокую внутривариационную изменчивость биомассы и урожайности посевов, тенденция выявления более продуктивных и менее продуктивных участков поля сохраняется из года в год. Составление композитной карты урожайности по ежегодным картам позволяет сглаживать существующую изменчивость посевов и достоверно выявлять зоны высокого и низкого плодородия на втором уровне иерархии, уровне поля. На данном уровне размер «ячейки» неоднородности составляет 40–50 м. Это вполне допустимый и удобный размер воздействия в технологиях точного земледелия, при таком уровне неоднородности и явно выделяемых границах подобных зон вполне возможно осуществлять внесение удобрений, мелиорантов, средств защиты растений в дифференцированных дозах.

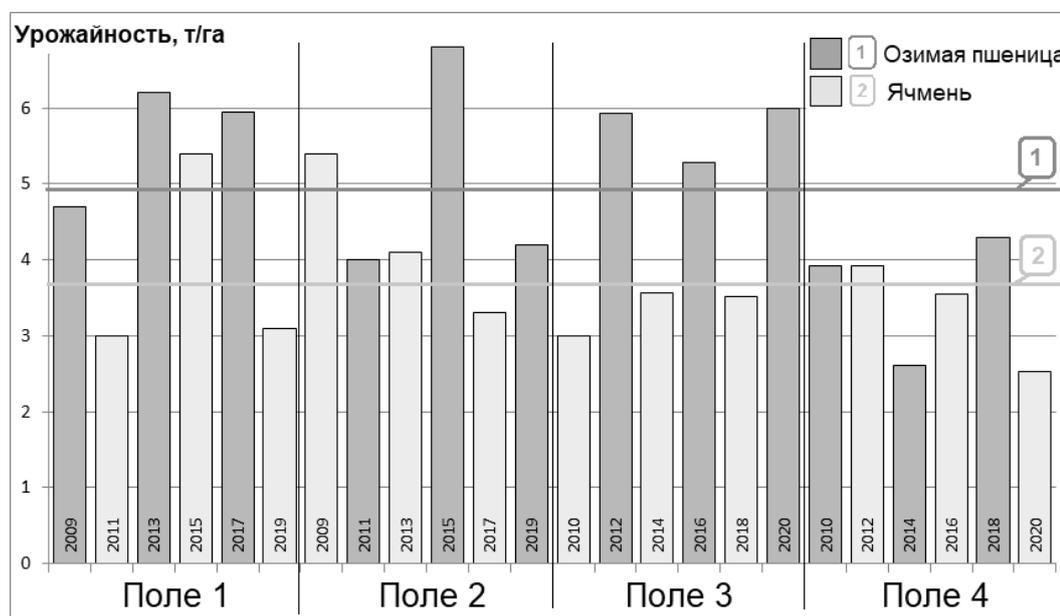


Рис. 1. Сравнение урожайности озимой пшеницы и ячменя за две ротации севооборота на четырёх полях севооборота. Линии 1 и 2 – среднемноголетняя урожайность озимой пшеницы и ячменя соответственно

Третий уровень иерархии проявляется в условиях микрорельефа и также связан с влиянием подпочвенного слоя, определяющего фильтрационную способность почвы. Так, например, на поле № 1 Центра точного земледелия были выявлены зоны стабильно низкой биомассы и урожайности посевов, связанные с наличием линз опесчаненного материала на глубине от 0,6 до 1,5 м и глубже. Данные зоны были выявлены на основе результатов бурения почвы и сопоставления данной информации с пространственными картами NDVI и удельного электрического сопротивления почвы до глубины 30 см. В этих местах водоудерживающая способность почвы понижена, и отмечена более

высокая скорость фильтрации и пересыхания почвы. Размер «ячейки» таких зон неоднородности составляет от 8 до 20 м. При таких размерах зон неоднородности на сегодня нет технической возможности дифференцированного внесения удобрений. Однако в таких зонах возможно применение средств защиты растений с индивидуальными дозами внесения, что осуществляется с помощью современных штанговых опрыскивателей с автоматически отключаемыми форсунками или с помощью дронов-опрыскивателей.

Заключение

Для изучаемой территории 4-польного севооборота по истечении трёх ротаций были выявлены три уровня иерархии неоднородности плодородия полей:

- на уровне севооборота при применении одинаковой интенсивной технологии возделывания культур проявляется неодинаковая продуктивность полей, связанная с влиянием мезорельефа, перераспределением влаги и тепла, что усиливается в годы с неблагоприятными метеоусловиями;

- на уровне поля выявлены зоны неодинаковой продуктивности зерновых культур, связанные как с влиянием мезорельефа и воздействия прилегающих лесополос, так и с агрохимическими свойствами почвы в этих зонах (рН, $C_{орг}$);

- на уровне учётных делянок в пределах поля выявлено влияние микрорельефа, гранулометрического состава подстилающей породы (наличия опесчаненных линз) и вариабельности агрохимических свойств.

Для каждого из обследованных полей был выявлен свой набор факторов, определяющих действительно возможный уровень урожайности зерновых культур в разных зонах на поле. По результатам всесторонних обследований выданы рекомендации по использованию технологий точного земледелия для данных полей, а именно, дифференцированное внесение доз извести на основе карты рН и азотных подкормок на основе карт индекса NDVI. Данные рекомендации наиболее целесообразно выполнять на уровне поля.

Благодарности

Автор выражает глубокую признательность трудовому коллективу Полевой опытной станции РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева за всестороннюю помощь при проведении полевых исследований в Научном центре точного земледелия в 2009–2020 гг.

Список литературы

1. Точное сельское хозяйство (Precision Agriculture) / Под общ. ред. Шпаара Д., Захаренко А.В., Якушева В.П. СПб.: Пушкин, 2009. 400 с.
2. Precision Agriculture in the 21st Century. Geospatial and Information Technologies in Crop Management / National Research Council (U.S.). National Academy Press. Washington, D. C. 1997. 150 p.
3. Балабанов В.И., Федоренко В.Ф. В.Я. Гольдяпин, С.В. Железова Технологии, машины и оборудование для координатного (точного) земледелия. М.: Росинформагротех, 2016. 220 с.
4. Кирюшин В. И. Агротехнологии: учебник. СПб.: Лань, 2015. 464 с.
5. Хитров Н.Б. Диагностика агроэкологического состояния почв по профилю. М.: Изд-во РГАУ – МСХА. 2014. 98 с.
6. Поздняков А.И. Электрофизические методы исследования почв. М.: МГУ. 2009. 38 с.
7. Самсонова В.П., Железова С.В., Березовский Е.В. Картограммы почвенных свойств для целей точного земледелия // Проблемы агрохимии и экологии. 2010. № 4. С. 18-22.
8. Железова С.В., Березовский Е.В., Аброськин Д.П. Использование прибора GreenSeeker®RT200 для мониторинга посевов озимой пшеницы при разных технологиях возделывания // Проблемы агрохимии и экологии. 2013. № 1. С. 56-60.
9. Железова С.В. Применение оптических датчиков для оценки состояния посевов озимой пшеницы // Агрофизика. 2018. № 3. С. 42-48. DOI: 10.25695/AGRPH.2018.03.08
10. Железова С.В., Шамбинго И.Ф. и др. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от технологии возделывания в полевом опыте Центра точного земледелия // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 10 (120). С. 10-14.

PRECISION AGRICULTURE: GET THE KEYS TO THE SOIL FERTILITY OF EACH FIELD

Zhelezova Sofia

Russian Scientific Research Institute of Phytopathology, Russia

Abstract. In a long-term 4-field crop rotation experiment, the soil variability affects the cereal crops. Three hierarchy levels of the soil fertility are: 1) crop rotation as whole; 2) field; 3) pedon. In precision agriculture the impact on crops and soil at the level of individual field is most appropriate.

Keywords: precision farming, variability of soil fertility, NDVI, cereal crops.

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ
ПЕСЧАНОЙ ФРАКЦИИ И ГУМУСА В ПРЕДЕЛАХ
ЕДИНИЧНОГО СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО УГОДЬЯ**

Кондрашкина Марина Иосифовна

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
факультет почвоведения, Москва, Россия

E-mai: kondra_mar@mail.ru

Аннотация. На территории 24 га обнаружено существование двух групп почв по окультуренности. Переотложение песчаной фракции (d частиц $>0,25$ мм) вниз по склону способствует получению более высоких значений содержания гумуса по сравнению с остальной территорией.

Ключевые слова: гумус, песчаная фракция, неоднородность почвы, дерново-подзолистые почвы

Вступление. Одним из основных показателей плодородия дерново-подзолистых пахотных почв является содержание органического вещества. От его запасов в пахотном слое зависят практически все агрохимические и физические свойства почв. Его содержание зависит от многих факторов, в том числе от гранулометрического состава почвы. В почвах со значительным содержанием илистых частиц, как правило, его содержание выше. Напротив, в почвах легких по грансоставу отмечается более низкое его содержание [1].

Вдольповерхностная неоднородность почвенных свойств, в том числе содержание гумуса и почвенных частиц разного гранулометрического состава может быть связана со многими факторами. Важную роль в создании почвенной неоднородности имеет рельеф местности.

Объекты и методы. Исследования проводились на территории Учебно-опытного почвенно-экологического центра МГУ Чашниково, расположенном в 43 км в северо-западном направлении от Москвы. Было обследовано угодье, находящееся в сельскохозяйственном использовании более 70 лет. Рельеф участка площадью 24 га неоднороден - превышение высот составляет 23 м: от 210,05 до 233,8 м. Средний уклон составляет 1,4%, однако на отдельных участках он достигает 4% (рис. 1).

Как общая тенденция происходит снижение линии рельефа с юга на север, где северная часть угодья переходит в пойму реки Клязьма. Рельеф самого участка неоднороден. На рис.1 видно, что в южной части угодья отмечаются два небольших локальных повышения, разделенные более выположенным участком в центральной части. Северная треть имеет достаточно резкий уклон, который переходит в небольшую западину. Практически по центру поля с юга на север проходит ложбина стока.

Почва исследованного участка дерново-подзолистая языковатая легкосуглинистая освоенная грунтово-оглееная на покровном суглинке, подстилаемом мореной [2].

Отбор почвенных образцов проводился в узлах регулярной сетки с размером ячейки 20×30 м. Буром объемом 100 см^3 отобраны индивидуальные образцы пахотного горизонта с глубин 0-10 и 10-20 см (175 точек отбора). Точки отбора образцов отмечены GPS-навигатором Garmin Legend, всего отобрано 350 образцов.



Рис. 1. Профиль высот на обследованном участке

В образцах было определено содержание гумуса по Тюрину в модификации Никитина с колориметрическим окончанием [3] и песка (d частиц $>0,25$ мм) отмучиванием [4].

Результаты и обсуждение. Статистические характеристики исследованных свойств показывают небольшие отличия между средними значениями и медианой, что может рассматриваться как индикатор симметричности распределений свойств, хотя их распределение может отличаться от нормального. Для изученных свойств характерна вдольповерхностная неоднородность, которая подтверждается высокими коэффициентами вариации (табл. 1). Содержание песка колеблется от 3,5 до 58%, содержание гумуса – от 1,5 % до 4,6 %. Корреляция между каждым свойством на двух глубинах высокая, что свидетельствует о гомогенизированной пахотного горизонта, что является следствием многолетних обработок почвы.

Высокая вдольповерхностная неоднородность приводит к тому, что на одном угодье существуют локальные пятна с содержанием свойства, которые могут быть отнесены к разным группам по обеспеченности. Например, содержание гумуса <2% соответствует очень низкому, а 4-6% – среднему уровню [1]. Согласно классификации дерново-подзолистых суглинистых почв по окультуренности [2] почвы с содержанием гумуса до 2,0(3,0)% относятся к освоенным, а при увеличении его количество выше 3,0% - к окультуренным. Таким образом, на небольшой территории в 24 га выделяются локальные неоднородности по значениям содержания гумуса, которые позволяют относить ее к разным подтипам. Общее усреднение дает среднее содержание свойства на уровне освоенных почв.

Таблица 1. Статистические характеристики исследованных свойств (n = 175)

| Свойство | Глубина, см | x_{cp} | min | med | max | CV, % | r^* |
|----------|-------------|----------|-----|------|------|-------|-------|
| Песок, % | 0-10 | 21,5 | 3,5 | 19,9 | 57,7 | 38,9 | 0,88 |
| | 10-20 | 21,8 | 9,3 | 19,9 | 55,2 | 41,7 | |
| Гумус, % | 0-10 | 2,7 | 1,1 | 2,6 | 4,6 | 23,6 | 0,73 |
| | 10-20 | 2,5 | 1,5 | 2,4 | 4,5 | 23,8 | |

Примечание. x_{cp} - среднее, CV - коэффициент вариации, min - минимальное, med - медианное, max - максимальное значения.

* r - коэффициенты корреляции Пирсона значимы для $n = 175$, $\alpha = 0,05$.

Похожая картина получена и по содержанию мелкого и крупного песка (d частиц $>0,25$ мм). При содержании частиц этой фракции >12 % почвы этого угодья могут быть отнесены к легким суглинкам, если количество песка выше 25 %, – к супесчаным [5].

Распределение гумуса по угодью неравномерно (рис. 2). На повышенной части отмечается только одно пятно с высокими значениями. После перегиба, в северной части угодья, в нижней части склона наблюдается значительный по площади участок с высокими значениям свойства. В юго-западной части угодья выделяется территория с очень низким содержанием гумуса.

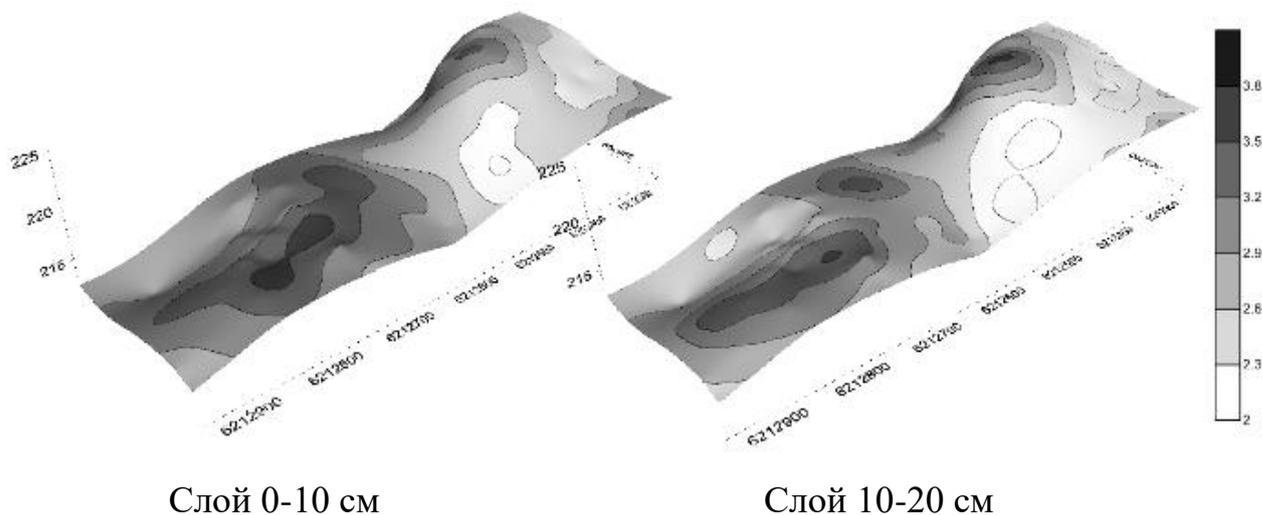


Рис. 2. Пространственное распределение содержания гумуса в почве (%)

Содержание песка на исследованной территории также неравномерно (рис. 3). В южной части исследованной территории в обоих горизонтах, на повышении содержание песчаной фракции несколько выше, чем здесь же на склонах. Вероятно, большая часть песка смывается нисходящими токами воды вниз по склону, в северном направлении. Мелкий и крупный песок задерживается в пределах угодья, более тонкие фракции выносятся с угодья.

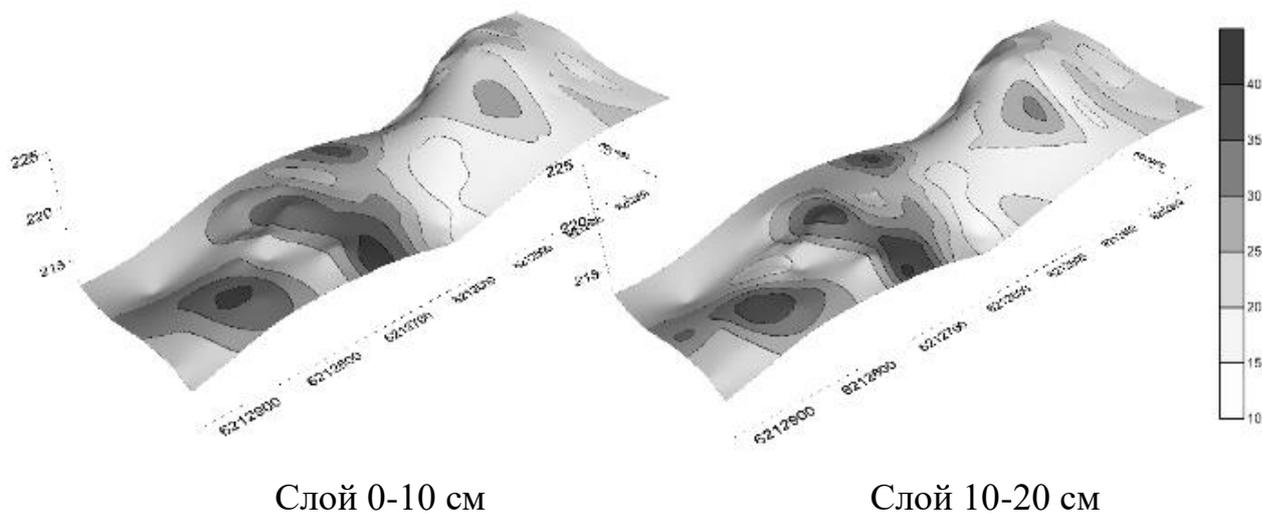


Рис. 3. Пространственное распределение содержания песка в почве (%)

С нисходящими токами воды происходит вынос и переотложение не только песчаной фракции, но и органического вещества. Вероятно, гумусовые вещества вместе с почвенными частичками, в виде органоминеральных и других соединений выносятся вниз по склону и задерживаются в песчаной фракции, влияя на конечный результат анализа.

Заключение. На сельскохозяйственном угодье, расположенном на дерново-подзолистой почве, отмечается высокая вдольповерхностная изменчивость по содержанию гумуса, что приводит к существованию на небольшой территории почвы двух типов. Переотложение песчаной фракции (d частиц $>0,25$ мм) вниз по склону способствует получению более высоких значений содержания гумуса по сравнению с остальной территорией.

Список литературы

1. Орлов Д.С. Химия почв: учебник. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. 375 с.
2. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 222 с.
3. Никитин В.А. Определение гумуса в почве // Агрохимия. 1972. № 3. С. 12-15.
4. ГОСТ 87535-88. Межгосударственный стандарт. Песок для строительных работ. Методы испытания.
5. Качинский Н.А. Физика почвы. М.: Высшая школа, 1965. 324 с

SPATIAL VARIABILITY OF SAND FRACTION AND HUMUS CONTENT WITHIN A FARMLAND

Kondraschkina Marina Iosifovna

Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty
Moscow, Russia

E-mai: kondra_mar@mail.ru

Abstract. On the territory of 24 hectares, the existence of two groups of soils by cultivation was discovered. The re-deposition of the sand fraction (d particles >0.25 mm) down the slope contributes to higher humus values compared to the rest of the territory.

Keywords: humus, sand fraction, soil heterogeneity, sod-podzolic soils

УДК: 004.946+631.423

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕТОДОВ ИНТЕРПОЛЯЦИИ МАГНИТНОЙ ВОСПРИИМЧИВОСТИ В ГОРНЫХ ПОЧВАХ (ХРЕБЕТ БАСЕГИ, СРЕДНИЙ УРАЛ)

Самофалова Ираида Алексеевна, Чащин Алексей Николаевич

Пермский государственный аграрно-технологический университет
имени академика Д.Н. Прянишникова, Пермь, Россия
samofalovairaida@mail.ru

Аннотация. Проведена оценка пространственной неоднородности магнитной восприимчивости в горных почвах в условиях пестрого почвенного покрова детерминированными методами интерполяции. Для оптимизации моделей интерполяции необходимо учитывать дополнительную информацию: либо топографическую (о характере рельефа), либо пестроту растительного и почвенного покрова.

Ключевые слова: интерполяция, горные почвы, ГИС, модель, карта.

Введение. Сложность изучения почвенного покрова в труднодоступных горных районах состоит в том, что трудно предсказать изменения свойств почв в пространстве, не опираясь на количественные и качественные данные полевых измерений. Перспективным направлением является интеграция космического мониторинга и пространственного анализа в ГИС для создания различных моделей [1, 4, 7, 8].

Учесть разнообразие природных компонентов ландшафтов с помощью отбора почвенных образцов не представляется возможным. В связи с этим, возникает необходимость в поиске относительно мало ресурсозатратных и надежных способов получения актуальных данных о свойствах почв.

Цель исследования – определить эффективность разных методов интерполяции объемной магнитной восприимчивости (ОМВ) в горных почвах. Задачи: определить пространственное распределение ОМВ в почвах; статистические показатели выборки данных, используемых для оценки моделей интерполяции; провести интерполяцию ОМВ детерминированными методами; провести оценку методов и определить наиболее точную модель прогноза пространственного распределения магнитной восприимчивости.

Объекты и методы. Исследования проведены на территории заповедника, в состав которого входит хребет Басеги (Средний Урал). Высота местности варьирует от 315 до 954 м н.у.м. Горная гряда Басеги

залегают западнее от водораздельной части Урала между 58°50' и 60° с.ш. Территория исследования представлена ареалом луговой растительности в окрестностях горы Северный Басег. Места отбора образцов почвы в слое 0-20 см привязаны по GPS (рис. 1).

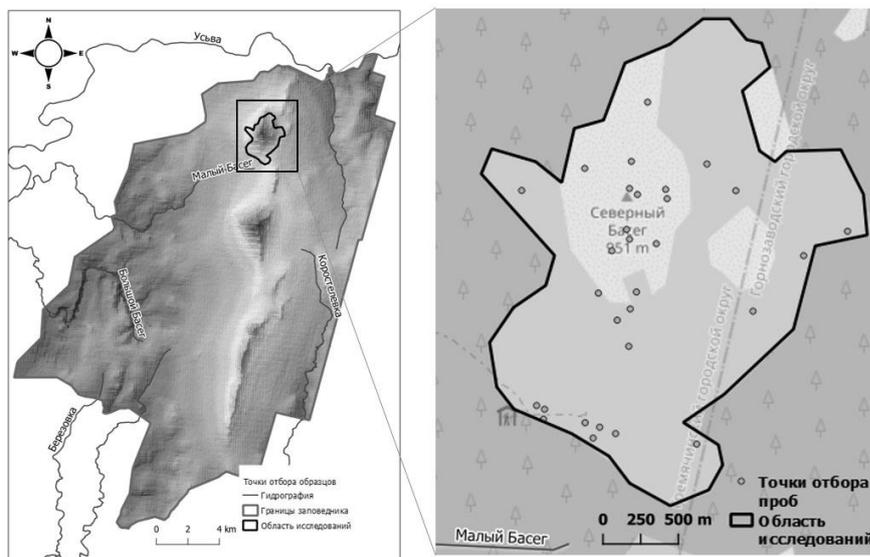


Рис. 1. Расположение точек отбор почвенных проб

ОМВ определена в структурно-метаморфических, органо-аккумулятивных, глеевых почвах, литозёмах [2, 3, 5, 6]. В горных почвах в пределах хребта Басеги, показания ОМВ не высокие ($0,01-1,8 \times 10^{-5}$ СИ). В работе применили методы пространственной интерполяции свойств почв: метод взвешенных расстояний (IDW); радиальные базисные функции (RBF). Исследование данных и интерполяция проведены средствами модуля Geostatistical Analyst программы ArcGIS 10.8.

Результаты и обсуждение. Пространственное распределение ОМВ в почвах имеет разброс значений от 0,01 до 0,56 единиц СИ (табл. 1).

Таблица 1. Статистические показатели выборки данных МВ ($\text{æ} \times 10^{-5}$ СИ), используемой для оценки моделей интерполяции

| Название показателя | Число наблюдений | Значение показателя | | | Std | Med | Эксцесс | Асимметрия |
|---------------------|------------------|---------------------|------|---------|------|-------|---------|------------|
| | | min | max | среднее | | | | |
| Значение | 30 | 0,01 | 0,56 | 0,16 | 0,13 | 0,125 | 5,64 | 1,64 |

Примечание. Std – среднеквадратическое отклонение; Med – медиана.

Варьирование значений ОМВ может быть результатом: пространственных изменений свойства; несовершенства знаний о связях между условиями окружающей среды и ОМВ; ограничения данных для

представления мелкомасштабной вариабельности свойства. Среднеарифметическое содержание признака (0,160) и медианное значение (0,125) не совпадают, что указывает на то, что выборка ($n = 30$) не подчиняется закону нормального распределения, которое имеет правую асимметрию.

Инструмент «Анализ тренда» модуля «Геостатистический анализ» позволяет отображать данные в трехмерной перспективе. По результатам исследований входных данных ОМВ выявлены четкие тренды U-образной формы, особенно выражены в направлении запад-восток.

Взаимосвязь между свойством ОМВ почв и их пространственной удаленностью друг от друга описывает вариограмма, показывающая пространственную зависимость свойства. Средние значения точек кривой вариограммы ОМВ не составляют прямую линию. Итак, установлено, что на территории хребта Басеги ОМВ почв обладает пространственной зависимостью (рис. 2).

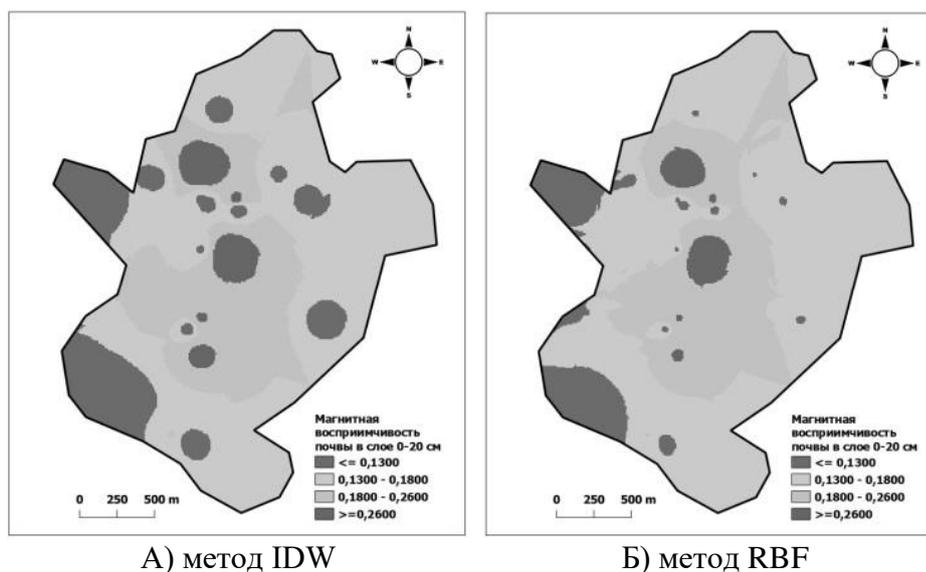


Рис. 2. Пространственные модели распределения МВ почв (IDW – обратное взвешенное расстояние; RBF – радиальные базисные функции)

Выделение градаций ОМВ почв проведено методом «Естественные интервалы»: менее 0,13; 0,13-0,18; 0,18-0,26; более 0,26. Данный метод дает «правильное» представление о пространственном распределении показателей.

Полученные прогнозные модели демонстрируют изменение признака с высотой местности. Так, для гольцовых условий и выраженной мохово-кустарничковой тундры (более 811 м н.у.м.) значения ОМВ составляют более $0,26 \times 10^{-5}$ СИ, что связано с активными процессами физического и морозного выветривания первичных и вторичных минералов и накоплением грубого органического аморфного

материала на поверхности на выравненных слабонаклоненных платообразных поверхностях. В пределах криволесья (700-800 м) и луговых полей значения ОМВ варьируют в пределах $0,18-0,26 \times 10^{-5}$ СИ. На этом высотном уровне почвы также характеризуются накоплением грубого органического вещества. На нижней границе подгольцового пояса (луговые поляны-парковое редколесье) на слабонаклоненных поверхностях значения ОМВ варьируют в диапазоне $0,13-0,18 \times 10^{-5}$ СИ. В пределах подгольцового пояса выделяются участки со значениями ОМВ менее $0,13 \times 10^{-5}$ СИ, что соотносится с переувлажненными лугами.

Принятие обоснованного решения по выбору метода интерполяции возможно с помощью функции программы «кросс-валидация» или «перекрестная проверка» по показателям: ME, RMSE (табл. 2) что позволяет сравнить между собой полученные картографические модели ОМВ.

Таблица 2. Результаты кросс-валидации прогнозных моделей распределения магнитной восприимчивости почв

| Метод интерполяции | ME* | RMSE** |
|--|----------|----------|
| <i>Детерминированные методы интерполяции</i> | | |
| Метод взвешенных расстояний, IDW | 0,001424 | 0,143065 |
| Радиальные базисные функции, RBF | 0,008754 | 0,143939 |

* - значения усредненной разности между измерением и проинтерполированным значением;

** - среднеквадратичная ошибка, указывающая, насколько близко модель прогнозирует измеренные значения/

По результатам перекрестной проверки установлено, что средняя ошибка прогнозирования (ME) близка к нулю и указывает, что модель несмещенная. Это свидетельствует о надежности результатов интерполяции для дальнейшего картографирования ОМВ в почвах. Среднеквадратичная ошибка (RSME), указывает, насколько близко модель прогнозирует измеренные значения. По точности интерполяции ОМВ почвы и устойчивости модели, методы оказались очень близки.

Выводы. ОМВ почв на территории хребта Басеги обладает пространственной зависимостью: значения признака понижаются с понижением высоты местности. Установлено: 1) оба детерминированных метода интерполяции оказались одинаковыми для прогнозирования пространственного распределения-ОМВ в условиях пестрого почвенного покрова; 2) для оптимизации моделей интерполяции необходимо учитывать дополнительную информацию: либо топографическую (о характере рельефа), либо пестроту растительного и почвенного покрова.

Список литературы

1. Самофалова И.А. Геопространственное моделирование физико-химических свойств горных почв (Северный Урал, заповедник «Вишерский») // Российский журнал прикладной экологии/ 2019. № 2 (18). С. 35–41.
2. Самофалова И.А., Лузянина О.А. Эколого-генетическая характеристика почв горно-лесного пояса на Среднем Урале // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15. № 3(4). С. 1426-1431.
3. Самофалова И.А., Рогова О.Б., Лузянина О.А. Использование группового состава соединений железа для диагностики горных почв Среднего Урала // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. № 79. С. 111-136.
4. Чащин А.Н., Кондратьева М.А. Использование данных дистанционного зондирования для оценки темпов самозарастания угольных отвалов Кизеловского бассейна // Географический вестник = Geographical bulletin, 2019. № 2 (49). С. 135–147. DOI 10.17072/2079-7877-2019-2-135-147.
5. Samofalova I.A. Geochemical Indices of Weathering and Elementary Processes in Mountain Soils in the Middle Urals // International Journal of Applied Exercise Physiology. 2020. V. 9 (4). P. 198-214. www.ijaep.com.
6. Samofalova I. A., Rogova O. B., Luzyanina O. A. Diagnostics of soils of different altitudinal vegetation belts in the Middle Urals according to group composition of iron compounds // Geography and Natural Resources. 2016. Vol. 1. P. 71–78.
7. Samsonova V.P., Blagoveshchenskii Y.N., Meshalkina Y.L. Use of empirical bayesian kriging for revealing heterogeneities in the distribution of organic carbon on agricultural lands // Eurasian Soil Science. 2017. Vol. 50. № 3. P. 305–311.
8. Zhao X., Liu S., Wang P., Li Q., Liu X., Qu Y. A Study on the remote sensing information model about the water pollution caused by mine tailings // International geoscience and remote sensing symposium (IGARSS). 2003. V. 4. P. 2483–2487.

EFFICIENCY OF METHODS FOR INTERPOLATION OF MAGNETIC SENSITIVITY IN MOUNTAIN SOILS (BASEGI RANGE, MIDDLE URAL)

Samofalova Iraida, Chashchin Aleksey

Perm State Agro-Technological University named after Academician D.N.
Pryanishnikov, Perm, Russia
E-mail: samofalovairaida@mail.ru

Abstract. The assessment of the spatial heterogeneity of the magnetic susceptibility in mountain soils under conditions of a variegated soil cover by different interpolation methods has been carried out. To optimize the interpolation models, it is necessary to take into account additional information: either topographic (about the nature of the relief), or the diversity of vegetation and soil cover.

Keywords: interpolation methods, mountain soils, GIS, model, map.

УЧЕТ ПРИРОДНОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ЗЕМЕЛЬ

Андреева Виктория Леонидовна¹, Ефимова Ирина Аркадьевна²

¹ Белорусский государственный педагогический университет имени
Максима Танка, Минск, Беларусь

² Белорусский государственный университет, Минск, Беларусь
E-mail: diversity75@mail.ru

Аннотация. Возможности хозяйственного использования почвенно-земельных угодий как естественных природных геосистем могут определяться на основе качественной характеристики (баллом бонитета почв) почв до и после проведения мелиорации, выполненной с учётом поправки на коэффициент неоднородности почвенного покрова.

Ключевые слова: неоднородность почвенного покрова, типы земель, почвенно-ресурсный потенциал.

Введение. В структуре природно-ресурсного потенциала Республики Беларусь значительную часть занимают почвенно-земельные ресурсы. В связи с чем, рациональное использование и охрана земель является приоритетным направлением развития экономики страны в целом, и сельскохозяйственного производства в частности. С точки зрения эколого-экономических показателей, характеризующих структуру и функционирование экосистем, на первый план выходят параметры почвенного плодородия и продуктивности растительного покрова.

В 60-е годы прошлого столетия были составлены земельные балансы, которые характеризовали почвенно-земельные угодья как почвенные разновидности. Политика индустриализации земледелия предполагала наличие относительно крупных однородных с близкими технологическими характеристиками севооборотных массивов и полей, а укрупнение мелкоконтурных участков не обеспечивало требуемых результатов. Гомогенизация сельскохозяйственных земель, например, при мелиорации, не всегда оказывалась эффективной, и иногда способствовала нарушению, и приводила к потере устойчивости земель [1, 2]. Замечено, что неоднородность почвенного покрова имеет разную степень влияния на использование земель в сельском и лесном хозяйствах. С целью оценки почвенно-ресурсного потенциала земельных угодий была проведена качественная оценка, учитывающая особенности неоднородности почвенного покрова.

Объекты и методы. В качестве объектов исследований выступали типы земель, выделенные в границах как особо охраняемых природных объектов, так и сельскохозяйственные земли СПК. Использовался «метод вложенных ключей»; балл бонитета почв и средневзвешенные показатели определялись по методике РУП «БелНИИПА».

Результаты и обсуждение. В качестве пространственной единицы учёта был использован тип земель – территориальное земельное пространство. Он представляет собой природную геосистему или почвенную комбинацию, выявляемую с помощью своеобразных повторяющихся «узоров» на крупномасштабных почвенных картах.

Оценка природно-ресурсного потенциала земель нами была выполнена на основе специализированной количественной (бонитировочной) оценки почвенного покрова. Последняя представляла собой средневзвешенный балл бонитета всех условно пахотнопригодных почв до и после мелиорации (без тех земель, которые не могут использоваться в пашне – овражно-балочный комплекс, незакрепленные пески и др.).

Для более точной оценки возможностей использования типов земель учитывалась неоднородность почвенного покрова. С этой целью по методике [3, 4] выполнялся картометрический анализ почвенной комбинации. Одним из ведущих показателей является контрастность почвенного покрова, определяемая с помощью монофакторной шкалы контрастности почв Беларуси [3]. Степень расчлененности типов земель вычислялась по отношению суммы длин границ расчленяющих контуров к анализируемой площади [4]. Неоднородность почвенного покрова определялась как произведение контрастности и расчлененности.

Далее к средневзвешенным бонитировочным баллам пахотнопригодных почв вводилась поправка на значение общей неоднородности почвенного покрова или коэффициента неоднородности.

Использовалась также поправка на контурность пашни. Она является типизированной характеристикой для каждой группы типов земель, поэтому её значение определялось характером и составом почвенной комбинации.

Поправки к баллам на общую неоднородность для объектов исследования ранжировали таким образом, что к наиболее однородным типам земель относились те, у которых понижающий коэффициент составлял 0,90. К ним относились территории Государственных сортоиспытательных станций.

Поправка на 0,85 отражает среднюю неоднородность, типичную для крупных массивов пахотных угодий. Ограничение возможности использования земель в пашни указывала поправка в 0,8. При этом о

непригодности данных земель для пашни соответствовала поправка в 0,75 – нецелесообразность пахотного использования. Такие поправки относятся к естественным лугам и лесным угодьям.

Например, оценка балла бонитета типа земель «водораздел выпуклый низкий на водно-ледниковых супесях» составила до мелиорации 40, с учетом неоднородности почвенного покрова типа земель – 38, при введении поправки на неоднородность – 31 балл; после мелиорации соответственно баллы распределились следующим образом 62 – 59 – 47. Невысокий показатель оценки земель связан с особенностями низменного рельефа, высокой неоднородностью и значительной долей заболоченных почв. Оценка почвенного покрова при использовании под кормовые угодья высокая (26 балл¹²ов). Данный тип земель при условии мелиорации, можно отнести к землям универсального сельскохозяйственного назначения.

К абсолютно лесным землям следует отнести типы земель «водораздел плоский низкий на водно-ледниковых песках. Высокая степень неоднородности III и низкое плодородие почв повлияло на их низкую оценку. С учётом контурности она уменьшается до 16 баллов (после мелиорации – 23). Использование под кормовые угодья также малоэффективно – оценочный балл составил 19.

Заключение

Несмотря на тот факт, что в большинстве случаев поправка на неоднородность снижала оценку пригодности типов земель для пахотного использования, её показатели позволяют точнее определить приоритетные направления хозяйственного использования типов земель.

Благодарности

Авторы выражают признательность Романовой Т.А. за консультацию при написании статьи.

Список литературы

1. Пивоварова Е.Г., Кононцева Е.В., Хлуденцов Ж.Г., Аверьянова И.П. Математические модели региональных эталонов в агрохимическом мониторинге почв // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019. № 8 (178). С. 54-62.
2. Швец Г.И. Концепция природно-хозяйственных территориальных систем и вопросы рационального использования // География и природные ресурсы. 1987. № 4. С. 30-38.
3. Никитина А.Н. Шкала контрастности почв БССР // Структура почвенного покрова и использование почвенных ресурсов: сб. науч. тр. М.: Наука, 1978. С. 52-57.

4. Кауричев И.С., Романова Т.А., Сорокина Н.П. Структура почвенного покрова и типизация земель. М.: Изд-во МСХА, 1992. 151 с.

**TAKING INTO ACCOUNT THE NATURAL HETEROGENEITY OF
THE SOIL COVER DURING THE SOIL-ECOLOGICAL
ASSESSMENT OF LAND**

Andreeva Victoria Leonidovna¹, Efimova Irina Apkadyevna²

¹ Maxim Tank Belarusian State Pedagogical University, Minsk, Belarus

² Belarusian State University, Minsk, Belarus

E-mail: diversity75@mail.ru

Abstract. The possibilities of economic use of soil and land as natural geosystems can be determined on the basis of the qualitative (soil bonitet score) characteristic of soils before and after land reclamation, made taking into account the correction for the coefficient of heterogeneity of soil cover.

Keywords: heterogeneity of soil cover, types of land, soil resource potential.

**НЕОДНОРОДНОСТЬ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА
АГРОЛАНДШАФТОВ ЮГО-ЗАПАДНОГО ОКРУГА
БЕЛОРУССКОЙ ГРЯДЫ**

Сазонов Алексей Александрович, Кунавич Кристина Витальевна

Белорусский государственный университет, факультет географии и
геоинформатики, г. Минск, Республика Беларусь
E-mail: imagymorphiamail@gmail.com

Аннотация. В последние годы, с развитием геоинформационных технологий, накоплением и систематизацией знаний о почвенном покрове Беларуси, а также развитием адаптивно-ландшафтных технологий земледелия, изучение структуры почвенного покрова становится особенно важным. Объектом данного исследования выступает почвенный покров агроландшафтов, представленный в виде крупномасштабных цифровых почвенных карт. Предметом исследования является пространственное распространение морфометрических характеристик, контрастности почвенного покрова. В работе приведены результаты автоматизированного анализа средствами геоинформационных систем и баз геоданных неоднородности почвенного покрова агроландшафтов по отдельным районам юго-западного округа Белорусской гряды, дается их сравнительная характеристика.

Ключевые слова: почвенный покров, структура почвенного покрова, неоднородность почвенного покрова, морфометрические характеристики.

Введение. За длительный период накопилось множество эмпирических знаний, в частности, о почвах и их свойствах в процессе хозяйственного использования. Важное значение для изучения пространственного распределения и размещения почв является понятие структура почвенного покрова (СПП). В природной среде, за достаточно длительный период ее изучения, не наблюдалось таких случаев, чтобы на большой площади какой-либо территории простиралась одна конкретная почва с одинаковыми и неизменными свойствами. На данном историческом этапе развития изучение разнообразия почв позволяет раскрыть эволюционные вопросы происхождения почвенного покрова, их сопоставление сравнительно-географическим методом и выявление сходных или же различных свойств и признаков располагают определению информационного потенциала данного вопроса.

Объекты и методы. Объектом данного исследования выступает почвенный покров агроландшафтов, представленный в виде крупномасштабных цифровых почвенных карт. В процессе исследования были использованы такие методы, как литературный, исторический, сравнительно-географический, статистико-картометрический и статистико-аналитический.

Результаты и обсуждения. Для анализа структуры почвенного покрова и его компонентов требуется дифференцированный подход. Стоит отметить, что показатели характеристики почвенного покрова являются количественными, и рассчитываются на уровнях элементарных почвенных ареалов и почвенных комбинаций. В работах Фридланда указывается, что количественная характеристика ПП должна производиться на уровне ЭПА [2]. Так, количественные характеристики ЭПА касаются в основном их геометрии и положения в пределах почвенных комбинаций; для дырчатых ЭПА отдельно производятся данные о размерах, формах, изрезанности внутренних и внешних границ. В случае почвенных комбинаций предлагается провести оценку уровня их сложности, контрастности и неоднородности [2].

Исходя из геометрических свойств, следует выделить количественный показатель характеристики ЭПА – степень дифференциации почвенных контуров и коэффициент расчленения:

$$\text{ДПК} = \sum P_i - P / k * P, \quad (1)$$

где P_i – площадь ЭПА или контура; P – средняя площадь ЭПА (или контуров); k – число ЭПА (или контуров).

$$\text{КР} = S / 3,54 * \sqrt{A}, \quad (2)$$

где S является длиной границы (периметром) ЭПА; A – площадь ЭПА.

При этом выделяются нерасчлененные ($\text{КР} < 2$), слаборасчлененные ($4 > \text{КР} > 2$), среднерасчлененные ($6 > \text{КР} > 4$) и сильнорасчлененные ($\text{КР} > 6$).

Вслед идут показатели характеристики почвенных комбинаций, а именно индекс дробности, коэффициент сложности и коэффициент контрастности по Ю.К. Юодису по определенному свойству:

$$\text{ИД} = k / \sum P_i, \quad (3)$$

где k – число ЭПА (или контуров); P_i – площадь ЭПА или контура.

$$\text{КС} = \text{КР} * (A - S_{\text{max}}) / S * A, \quad (4)$$

где A – площадь ЭПА; S_{max} – наиболее крупный ареал на участке; S – средняя величина ареала на участке.

$$K = ax + by + cz... / 20, \quad (5)$$

где a , b , c и т.д. – площади почв, выраженные в процентах, от общей площади территории; x , y , z – степени контрастности соответствующих почв по отношению к доминирующей почве, определенной экспертным путем.

Конечными количественными показателями характеристики почвенных комбинаций являются показатель позиционной однородности, а именно число ареалов, с которыми граничит каждый из изучаемых ареалов почв, и индекс неоднородности, определяемый перемножением коэффициента контрастности на коэффициент сложности.

Количественные параметры структуры почвенного покрова служат объективными показателями для проведения сельскохозяйственного районирования территорий, в том числе анализа размещения различных сельхозугодий, характера и объема мелиоративных мероприятий, а также определения масштаба почвенной съемки и количества точек опробования [2].

Морфометрические показатели оценки педоразнообразия были рассчитаны в программе ArcGIS ArcMap 10.7, путем создания модели расчета показателей. Процесс расчета количественных показателей был автоматизирован, а именно, произведен в блок-схему [1] с корректной работой модуля.

Первый рассчитанный показатель – коэффициент расчленения. Он был рассчитан для каждого ЭПА, которых в описываемом округе Белорусской гряды насчитывается 213245. Так, среднее значение коэффициента расчленения равно 1,84, что меньше 2, что соответствует нерасчленённой степени изрезанности границ ЭПА.

Важным показателем для оценки разнообразия почв является коэффициент сложности, где используется коэффициент расчленения при расчете.

Данный коэффициент показывает одновременно и дробность, и расчлененность структур. Наиболее сложным почвенный покров будет являться в Новогрудской возвышенности, а наименьшая сложность ПП – на Слонимской возвышенной равнине.

Таблица 1. Численные значения коэффициента сложности

| № р-на | Название района | КС |
|--------|--------------------------------|------|
| 1 | Волковысская возвышенность | 0,50 |
| 2 | Гродненская возвышенность | 0,57 |
| 3 | Копыльская гряда | 0,52 |
| 4 | Новогрудская возвышенность | 0,64 |
| 5 | Слонимская возвышенная равнина | 0,48 |

Можно проследить закономерность в высотах районов и данного коэффициента: наибольшее численное значение показателя приходится на Новогрудскую возвышенность с преобладающей высотой, а наименьший – на Слонимскую возвышенную равнину с наименьшей из всех районов высотой над уровнем моря.

Таблица 2. Численные значения коэффициента контрастности

| № р-на | Название района | КК |
|--------|--------------------------------|-------|
| 1 | Волковысская возвышенность | 9,29 |
| 2 | Гродненская возвышенность | 7,78 |
| 3 | Копыльская гряда | 10,67 |
| 4 | Новогрудская возвышенность | 8,96 |
| 5 | Слонимская возвышенная равнина | 11,14 |

Следующим рассчитанным коэффициентом был коэффициент контрастности, показывающий степень качественной дифференциации почвенного покрова.

Как видно из табл. 2, все полученные числовые показатели коэффициента крайне контрастны, но наименьшее значение показателя пришлось на Гродненскую возвышенность, а наибольшее значение на Слонимскую возвышенную равнину.

Последний рассчитанный показатель – коэффициент неоднородности.

Таблица 3. Численные значения коэффициента неоднородности

| № р-на | Название района | КН |
|--------|--------------------------------|------|
| 1 | Волковысская возвышенность | 4,66 |
| 2 | Гродненская возвышенность | 4,43 |
| 3 | Копыльская гряда | 5,58 |
| 4 | Новогрудская возвышенность | 5,72 |
| 5 | Слонимская возвышенная равнина | 5,30 |

Данный показатель объединяет в себе и пространственную, и качественную неоднородность почвенного покрова юго-западного округа белорусской гряды. Наименьший численный показатель приходится на Гродненскую возвышенность, как и в показателе контрастности, а наибольшее значение неоднородности приходится на территорию Новогрудской возвышенности.

Вследствие расчета всех вышеописанных показателей были составлены карты округа (рис. 1).

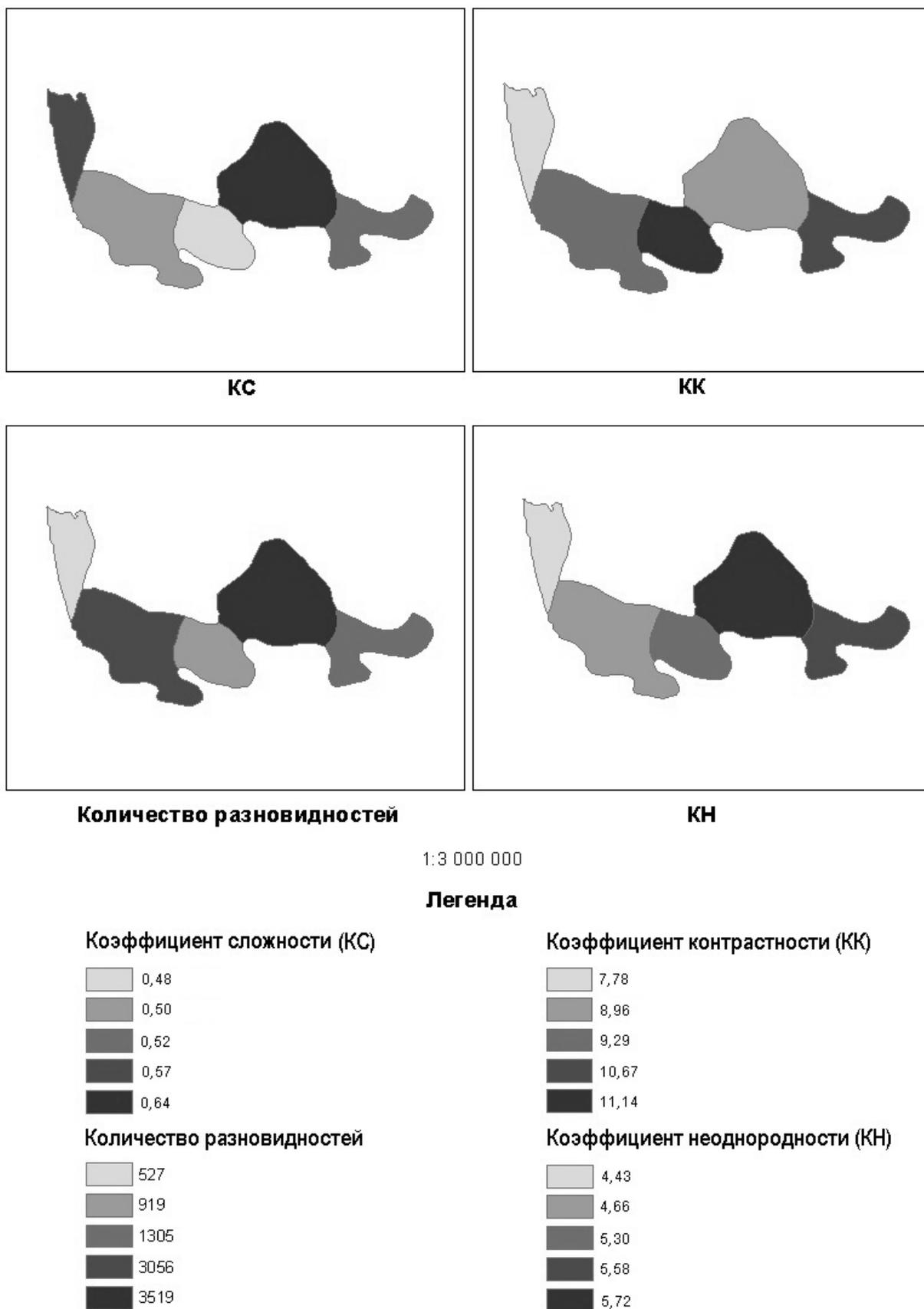


Рис. 1. Показатели педоразнообразия юго-западного округа Белорусской гряды

Заключение

Почва является сложной структурной системой, где показатели контрастности, сложности и неоднородности облегчают доступность определения почвенного покрова и его элементарных единиц и диагностического изучения ПП. Руководствуясь различными характеристиками почвенного покрова, можно показать его разнообразие и пространственную организацию, используя различного вида карты, где изображены элементы структуры ПП и другая дополнительная информация о них.

Список литературы

1. Клебанович Н.В., Прокопович С.Н., Сазонов А.А. Интерактивное создание цифровых производных тематических карт на основе слоя «Почвы» земельных информационных систем Республики Беларусь // Журнал Белорусского государственного университета. География. Геология. 2017. № 1. С. 121-129.
2. Смирнова М. А., Геннадиев А. Н. Количественная оценка почвенного разнообразия: теория и методы исследования // Вестник Моск. ун-та. Серия 5. География. 2017. № 4. С. 3-11.

HETEROGENEITY OF SOIL COVER IN THE AGRO-LANDSCAPES OF THE SOUTH-WESTERN DISTRICT OF THE BELARUSIAN RIDGE

Sazonov Aleksey Aleksandrovich, Kunavich Kristina Vitalyevna

Belarusian State University, Faculty of Geography and Geoinformatics,
Minsk, Belarus

E-mail: imagymorphiamail@gmail.com

Abstract. In recent years, with the development of geoinformation technologies, accumulation and systematization of knowledge about the soil cover of Belarus, as well as the development of adaptive and landscape farming technologies, studying the structure of the soil cover is becoming particularly important. The object of this study is the soil cover of agrolandscapes, presented in the form of large-scale digital soil maps. The subject of the study is the spatial distribution of morphometric characteristics, soil cover contrast. The work presents the results of automated analysis by means of geographic information systems and geodatabases of heterogeneity of the soil cover of agricultural landscapes in some areas of the southwestern district of the Belarusian ridge, and gives their comparative characteristics.

Keywords: soil cover, soil cover structure, soil cover heterogeneity, morphometric characteristics.

УДК: 631.415+911.6

ТИПИЗАЦИЯ ЗЕМЕЛЬ ПО АГРОХИМИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ПЛОЩАДНОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ

В.С. Кизеева

Белорусский государственный университет, факультет географии
и геоинформатики, Минск, Беларусь
E-mail: tatyana.novikova.85@mail.ru

Аннотация. В работе приводится один из возможных вариантов улучшения методики выделения зон агрохимического потенциала почвы на основании ее агрохимических свойств. Доказывается необходимость использования площадной интерполяции, как единственного метода геостатистического анализа, учитывающего площадь входных объектов. По полученной карте агрохимического потенциала почвы были определены причины и следствия его пространственного распределения.

Ключевые слова: ГИС, геостатистика, варьирование, площадная интерполяция, производительная способность почвы.

Введение. Одной из основных целей устойчивого развития Республики Беларусь до 2030 года является модернизация аграрно-промышленного комплекса (АПК) в сфере сельского хозяйства, сохранения природно-ресурсного потенциала, поддержания экологической безопасности и благоприятной окружающей среды, а также сохранение и устойчивое использование биологического и ландшафтного разнообразия.

Для достижения этих целей необходимо постоянное обеспечение АПК новыми эффективными адаптированными ресурсосберегающими технологиями и методиками, направленными на охрану агроландшафтов от деградаций, и повышение продуктивности агроценозов [1].

Одним из возможных путей оптимизации аграрного землепользования Республики Беларусь является учёт пространственной неоднородности почвенного покрова и его агрохимических характеристик, которые непосредственно влияют и лимитируют производительную способность почв. Исходя из этого, появляется необходимость разработки методики учёта этих показателей при проведении землеустроительных работ и кадастровой оценки земель.

Целью настоящего исследования является совершенствование методики дифференциации сельскохозяйственных земель по совокупности агрохимических свойств при помощи геостатистических методов интерполяции, анализ пространственно-географических

закономерностей в их распределении и типизация сельскохозяйственных земель Воложинского района по производительной способности почвенного покрова.

Объекты и методы. Объект исследования – сельскохозяйственные земли Воложинского района. В исследованиях подобного рода в нашей стране применялись разного вида методы кригинга для получения результирующих поверхностей и их пространственных характеристик [2,3], но при этом важным упущением является применение подобных инструментов к площадным объектам – элементарным участкам, на которые делятся поля при агрохимическом обследовании (средние размеры такого участка в РБ варьируют от 3 до 15 га), поскольку при интерполяции такими методами полигоны представляются точечными объектами без учета их площади.

Для реализации подобных методик в ArcGIS ArcMap модулем Geostatistical Analyst предусмотрен инструмент «Площадной интерполяции» (англ. Areal interpolation). Данный инструмент предполагает работу с площадными объектами, содержащими значения с распределением Пуассона, биномиальные значения или значения с распределением Гаусса [4]. При применении данного инструмента должны быть соблюдены главные требования корректного использования геостатистических методов – исходный набор данных должен содержать минимум 100 точек наблюдений [5] и иметь нормальное статистическое распределение. В качестве исходных полигонов были использованы элементарные участки почвенного обследования сельскохозяйственных земель, содержащие данные о кислотности (рН в KCl), содержании гумуса (%), калия (K₂O) и фосфора (P₂O₅). В Воложинском районе количество полигонов составляет 14428, что соответствует первому правилу.

Результаты и обсуждение. При определении степени отклонения исследуемых данных от нормального распределения были получены показатели описательной статистики, представленные в табл. 1.

Исходя из полученных статистических данных была определена необходимость логарифмирования значений гумуса и фосфора для приведения их к нормальному распределению. Также были убраны артефакты из ряда данных по калию. По результатам работы площадной интерполяции агрохимические свойства были агрегированы в контуры почвенного покрова (рис. 1).

Анализируя картограмму кислотности почв, можно заметить, что значения рН от 6,5 и выше наиболее характерны в центральной и восточной частях района.

Таблица 1. Статистические характеристики почвенных свойств

| Показатели | pH | Гумус | K ₂ O | P ₂ O ₅ |
|------------------------|-------|-------|------------------|-------------------------------|
| Среднее | 5,88 | 2,41 | 228 | 195 |
| Медиана | 5,92 | 2,16 | 200 | 172 |
| Мода | 6,50 | 3,00 | 300 | 150 |
| Стандартное отклонение | 0,55 | 0,98 | 119 | 95 |
| Коэф. вариации, % | 9,39 | 40,5 | 52,1 | 48,8 |
| Асимметрия | -0,51 | 2,46 | 1,84 | 3,45 |
| Эксцесс | 0,41 | 7,25 | 9,20 | 25,6 |
| Ошибка асимметрии | 0,07 | 0,08 | 0,07 | 0,08 |
| Ошибка эксцесса | 0,28 | 0,30 | 0,28 | 0,30 |

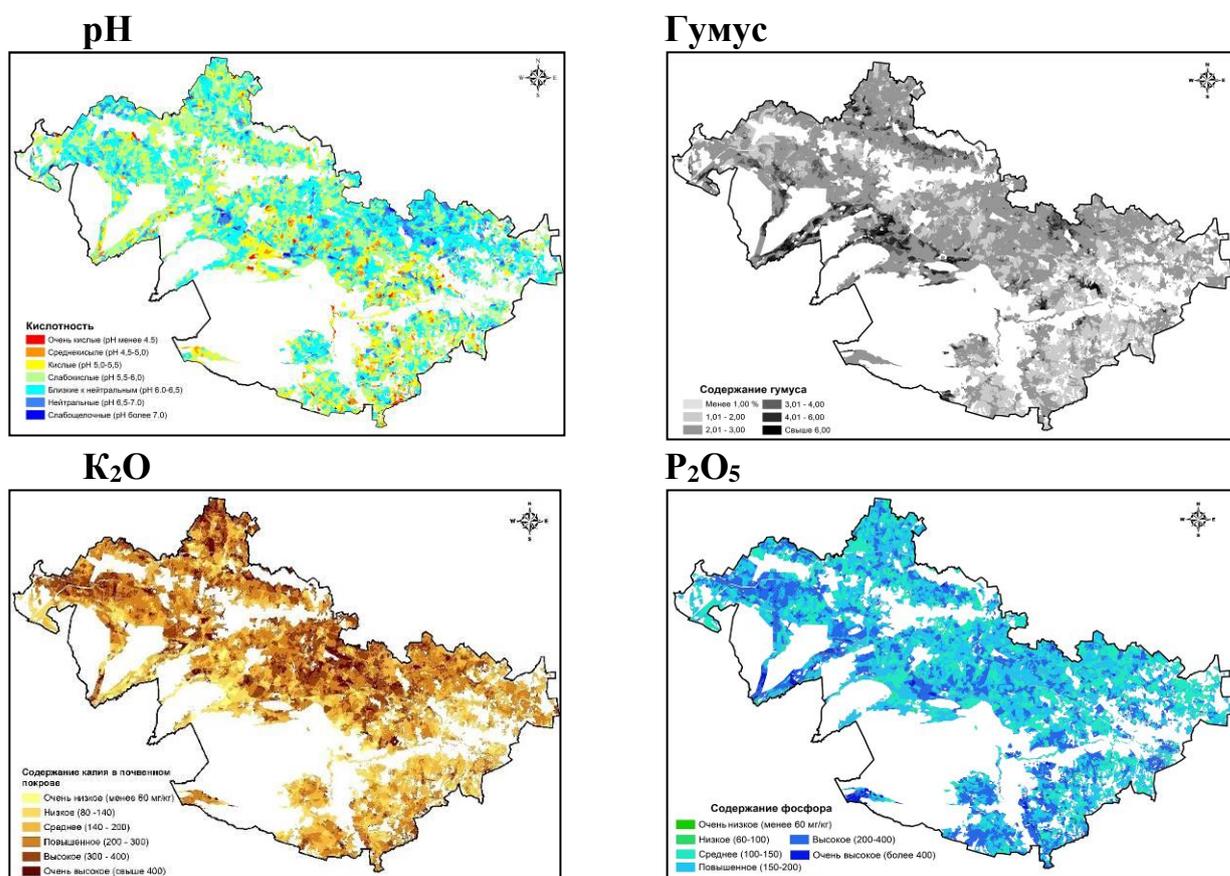


Рис. 1. Картограммы агрохимических свойств почвенного покрова Воложинского района

Слабокислые и близкие к нейтральным занимают наибольшую долю от всех типов почв района. Странным является наличие повышенного количества кислых почв в центральных и юго-восточных частях, тяготеющим к районному центру, тогда как обычно они тяготеют к периферии.

Очень высокое содержание гумуса в почвенном покрове района (более 3%) приурочено к северной, западной и центральной частям Воложинского района. Низкие и средние показатели содержания гумуса

(до 2%) также приурочены к дерново-подзолистым и дерново-подзолистым заболоченным типам почв.

Практически вся территория имеет оптимальные значения содержания фосфора – 250-300 мг/кг для супесчаных и 300-350 мг/кг для суглинистых почв. Высокое и очень высокое (от 300 мг/кг почвы) содержание K_2O в почве ярко выражено в северной и центральной частях района. Средние значения K_2O и ниже наблюдаются в центральной и юго-восточной частях территории.

В целом, среднеквадратические ошибки интерполяции позволяют говорить, что все картограммы в достаточной мере отражают реальную картину распределения агрохимических свойств и могут служить основой для выделения зон агрохимического потенциала почв (рис. 2):

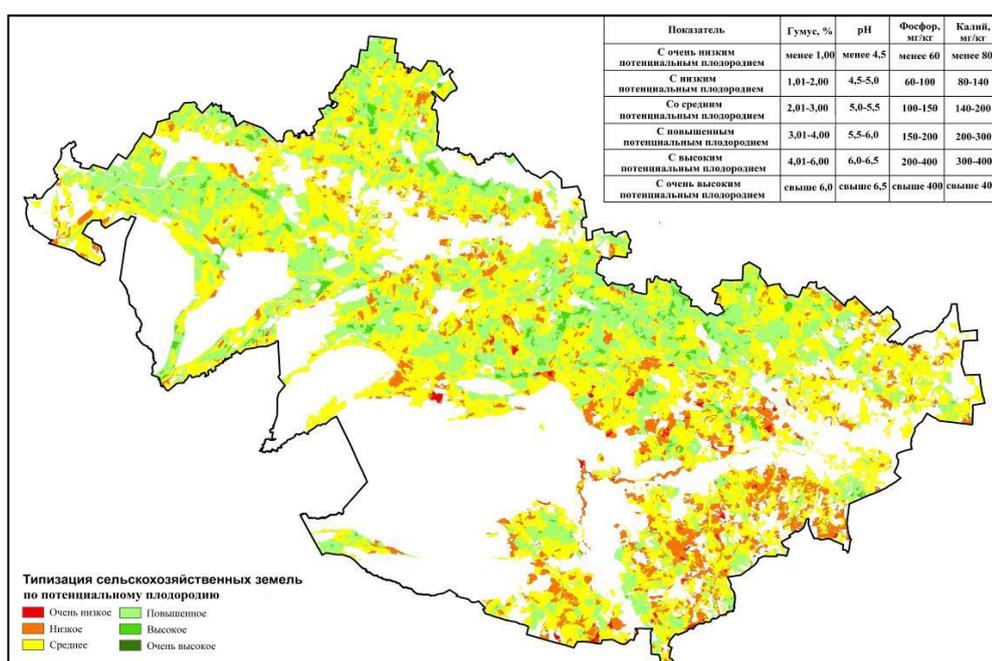


Рис. 2. Агрохимический потенциал почвенного покрова сельскохозяйственных земель Воложинского района

Сопоставляя полученную карту с гранулометрическим составом почв, можно выделить ряд закономерностей. Зоны с высокой производительной способностью тяготеют к равнинным территориям и к тяжелым почвам, в свою очередь, низкая продуктивность характерна для территорий с лёгким гранулометрическим составом и для территорий с расчлененным рельефом, где качество земель ухудшается из-за плоскостного смыва.

Заключение

Таким образом, методика выделения зон агрохимического потенциала требует использования алгоритма площадной интерполяции. Именно этот метод дает возможность учитывать не только значения показателя, но и площадь элементарных участков. Среднеквадратические ошибки интерполяции дают исчерпывающую картину качества

проведённой интерполяции исходного набора картограмм. С помощью этой методики можно достаточно корректно интерполировать показатели агрохимических свойств на довольно большие территории и выявлять территориальные особенности.

Представляется важным проведение дальнейших исследований по корректировке полученных результатов с проводимой в Республике Беларусь кадастровой оценкой сельскохозяйственных земель, а также определение оптимального использования типов земель в границах землепользователей района.

Список литературы

1. Клебанович Н.В. Разработать геоинформационную базу пространственных информационно-аналитических данных, отражающих устойчивость различных типов земель агроландшафтов к техногенному воздействию: отчет о НИР (заключ.). Минск: Ин-т почвоведения и агрохимии, 2019.
2. Куцаева О.А. Создание менеджмент-зон для дифференцированного внесения минеральных удобрений с использованием инструментов геостатистики // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 2. С. 176-181.
3. Мыслыва Т.Н. Использование геостатистических инструментов для оценки пространственного распределения кислоторастворимой меди в почве // Вестник белорусской государственной сельскохозяйственной Академии. 2020. № 2. С. 170-176.
4. Krivoruchko K., Gribov A., Krause, E. Multivariate Areal Interpolation for Continuous and Count Data. *Procedia Environmental Sciences* 3. 2011. P. 14-19.
5. Oliver, V.A., Kerry, R., Frogbrook, Z.L. *Sampling in Precision Agriculture. Geostatistical Applications for Precision Agriculture*, Springer Science+Business Media B.V. 2010. P. 35-64.

TYPING OF LANDS BY AGROCHEMICAL PROPERTIES OF SOIL COVER USING AREA INTERPOLATION METHODS

Kizeeva Vitalina

Belarusian State University, Faculty of Geography and Geoinformatics,
Minsk, Belarus

E-mail: tatya.novikova.85@mail.ru

Abstract. The paper presents one of the possible options for improving the methodology for identifying zones of potential soil fertility based on its agrochemical properties. The necessity of using areal interpolation as the only method of geostatistical analysis that takes into account the area of input objects is proved. The resulting map of the potential soil fertility was used to determine the causes and consequences of its spatial distribution.

Keywords: GIS, geostatistics, variation, areal interpolation, soil productivity.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ДЕГРАДАЦИИ ЗЕМЕЛЬ

Кислицын Дмитрий Андреевич

Белорусский государственный университет, факультет географии
и геоинформатики, Минск, Беларусь
E-mail: dimas_13082000@mail.ru

Аннотация. В работе изложена методика использования автоматизированного дешифрирования для изучения структуры почвенно-растительного покрова Национального парка «Нарочанский», а также проанализировано применение таких признаков, как уклон рельефа и NDVI для определения эродированных почв.

Ключевые слова: автоматизированное дешифрирование, эрозия почв, сегментация.

Введение. Водная эрозия является самым распространенным видом деградации почв в Беларуси вследствие особенностей рельефа, широкого распространения пылеватых легкоэродируемых пород, достаточного количества осадков и довольно интенсивной антропогенной нагрузки на почвенный покров. Помимо потери плодородия при эрозии наносится и заметный экологический ущерб, так как на территориях с холмистым рельефом и близким расположением пахотных земель к акватории водоемов смываемые биогенные элементы и мелкозем могут привести к загрязнению водоемов и рек фосфатами, нитратами, пестицидами, хлоридами [1, с. 146].

Объекты и методы. Объектом исследования является территория Национального парка «Нарочанский», который характеризуется ландшафтным разнообразием и уникальностью природных комплексов и одновременно содержит заметную долю пахотных земель. В то же время заметные различия в рельефе способствуют изменению контурности сельскохозяйственных земель и дифференциации почвенного покрова на относительно небольшой территории. В качестве исходных данных был использован мультиспектральный космоснимок из архива съемочной системы Sentinel 2A, который расположен в открытом доступе в интернет-каталоге Геологической службы США (United States Geological Survey) [2].

При проведении исследований использовались ГИС-технологии, особенно геопространственный анализ, методы дистанционного зондирования Земли и геостатистики.

Результаты и обсуждение. Изучение почвенно-растительного покрова и земельного фонда исследуемой территории нами было проведено на основе космоснимка Sentinel 2A (дата съемки – 11.05.2021) с использованием автоматизированного дешифрирования методом максимального правдоподобия в ПО ArcGIS. При этом было выделено 7 основных классов дешифрируемых объектов в соответствии с основными группами видов земель и особенностями почвенного покрова исследуемой территории (рис. 1).

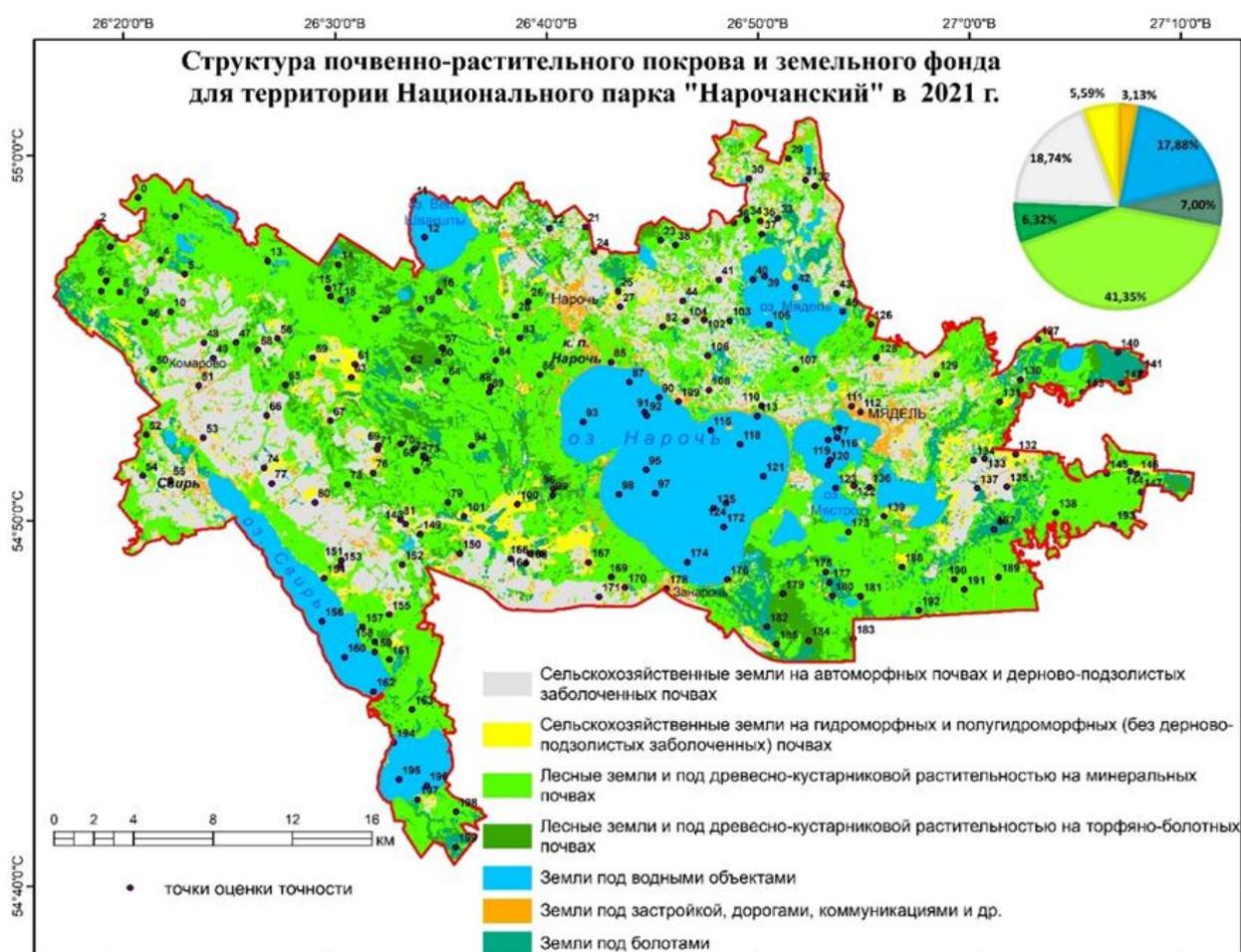


Рис. 1. Картограмма почвенно-растительного покрова и земельного фонда территории Национального парка «Нарочанский» в 2021 г.

Для оценки точности автоматизированного дешифрирования нами был использован слой Land, который входит в состав ЗИС, а также почвенная карта Национального парка «Нарочанский». Нами было создано 200 произвольно расположенных точек с помощью инструмента Создать точки оценки точности в ArcGIS 10.8.1. В целом общая точность автоматизированного дешифрирования по методу максимального

правдоподобия для космоснимка Sentinel 2A составила 78%. Использование космоснимка из съемочной системы Белорусского космического аппарата (БКА) в комбинации каналов «искусственные цвета» позволяет провести автоматизированное дешифрирование для западной части территории Национального парка «Нарочанский» в масштабе 1:100 000 и выявить ареалы дегроторфяных и нарушенных почв (рис. 2).

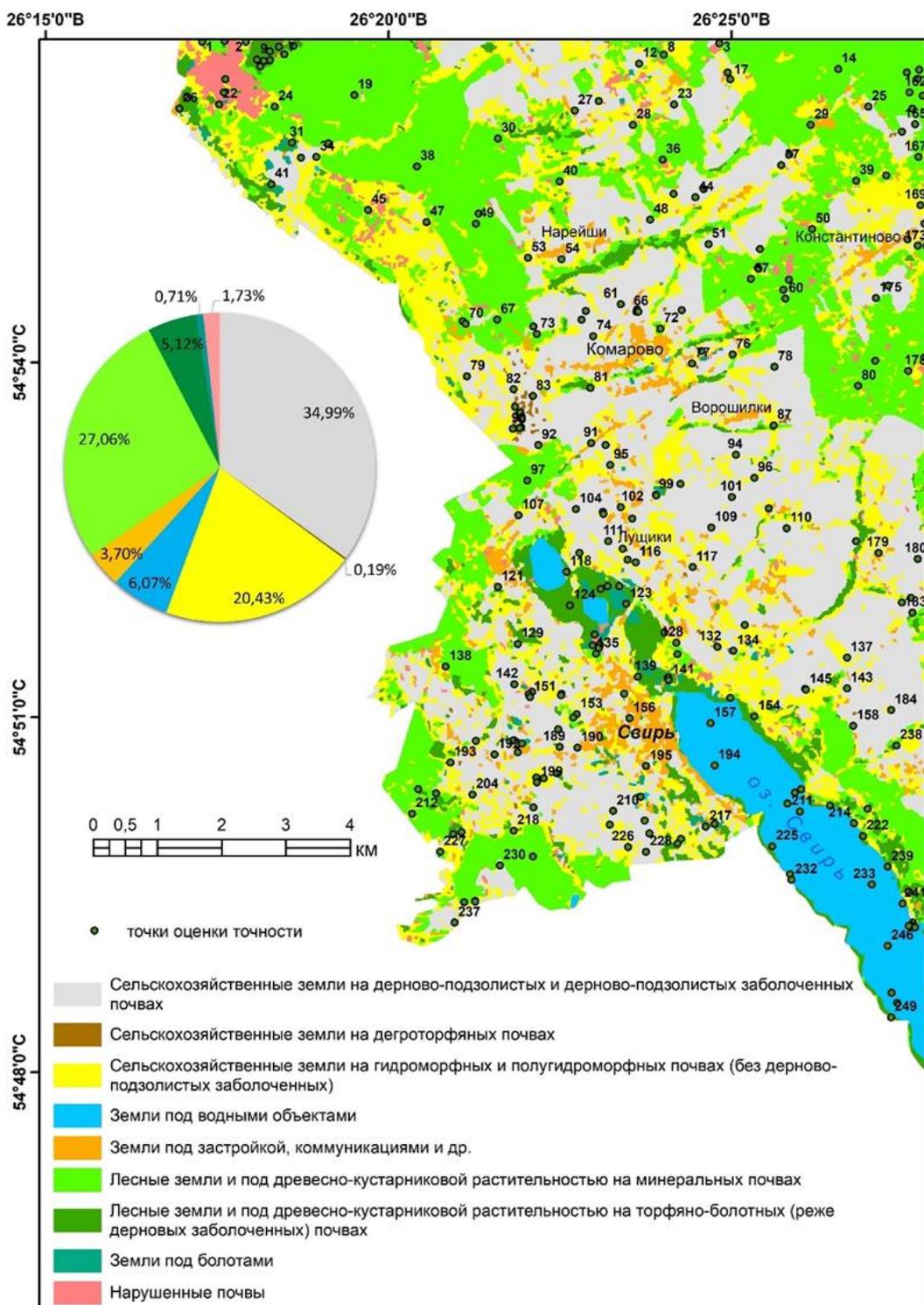


Рис. 2. Картограмма почвенно-растительного покрова и земельного фонда для западной части Национального парка «Нарочанский»

В структуре сельскохозяйственных земель преобладают дерново-подзолистые и дерново-подзолистые заболоченные почвы, но при этом достаточно широко распространены гидроморфные и полугидроморфные почвы (без дерново-подзолистых заболоченных), что связано с особенностями морфометрии и генезиса рельефа, а также с наличием на северо-западе исследуемой территории заболоченных земель в пределах долины реки Страча (к западу от деревни Нарейши). Основные массивы заболоченных лесных земель и болот приурочены к бассейнам озер, расположенных к северо-западу от озера Свирь. При этом общая точность автоматизированного дешифрирования космоснимка БКА составила 73,6%.

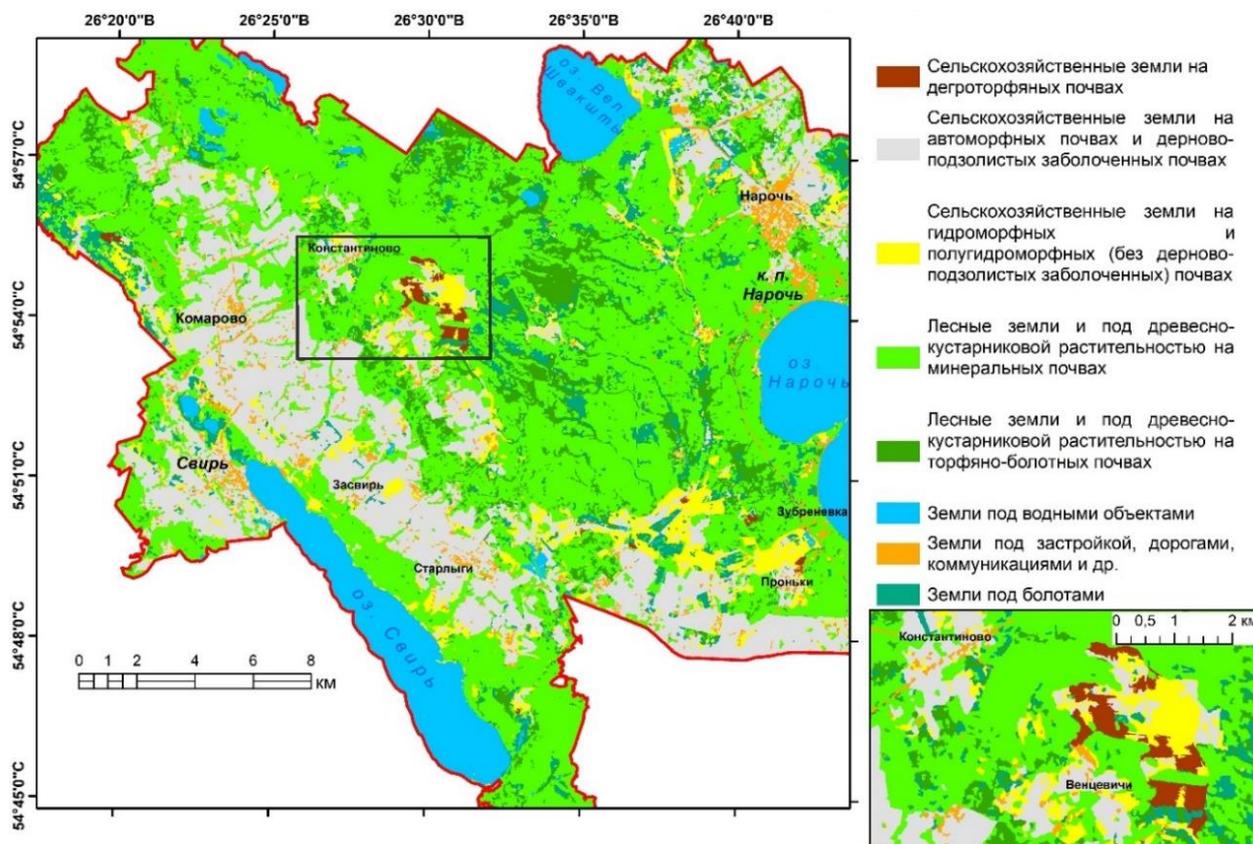


Рис. 3. Картосхема основных ареалов деградированных почв

Проведение сегментации для вырезанного по контуру отдешифрированных сельскохозяйственных земель космоснимка Sentinel 2A с помощью инструмента Segment mean shift в ArcGIS Pro позволяет повысить спектральную и текстурную вариабельности между сегментами при сокращении этой вариабельности в пределах каждого из выделенных сегментов. При этом на основе сегментов была создана обучающая выборка, которая позволяет выделить основные ареалы деградированных почв и для проведения автоматизированного

дешифрирования был использован метод максимального правдоподобия, а значение исключенной области составляет 90%. Затем была проведена векторизация ареалов дегроторфяных почв и их добавление к векторному слою классификации структуры почвенно-растительного покрова Национального парка за 2021 г. на основе космоснимка Sentinel 2A (рис. 3).

Для определения сельскохозяйственных земель, подверженных водной эрозии, с помощью авторского скрипта в Python 2.7.18 используется информация о вегетационном индексе NDVI (значения изменяются в диапазоне от 0,32 до 0,55), уклоне рельефа в градусах (более 3°), а также растр классификации на основе космоснимка Sentinel 2A с выделенными контурами сельскохозяйственных земель.

С помощью инструмента Tabulate Area в ArcGIS Pro был рассчитан удельный вес эродированных почв в составе контуров сельскохозяйственных земель, которые выделены на основе автоматизированного дешифрирования космоснимка Sentinel 2A. Наибольшая концентрация средне- и сильноэродированных почв характерна для центральной части Национального парка (в окрестностях озер Нарочь и Мядель) (рис. 4).

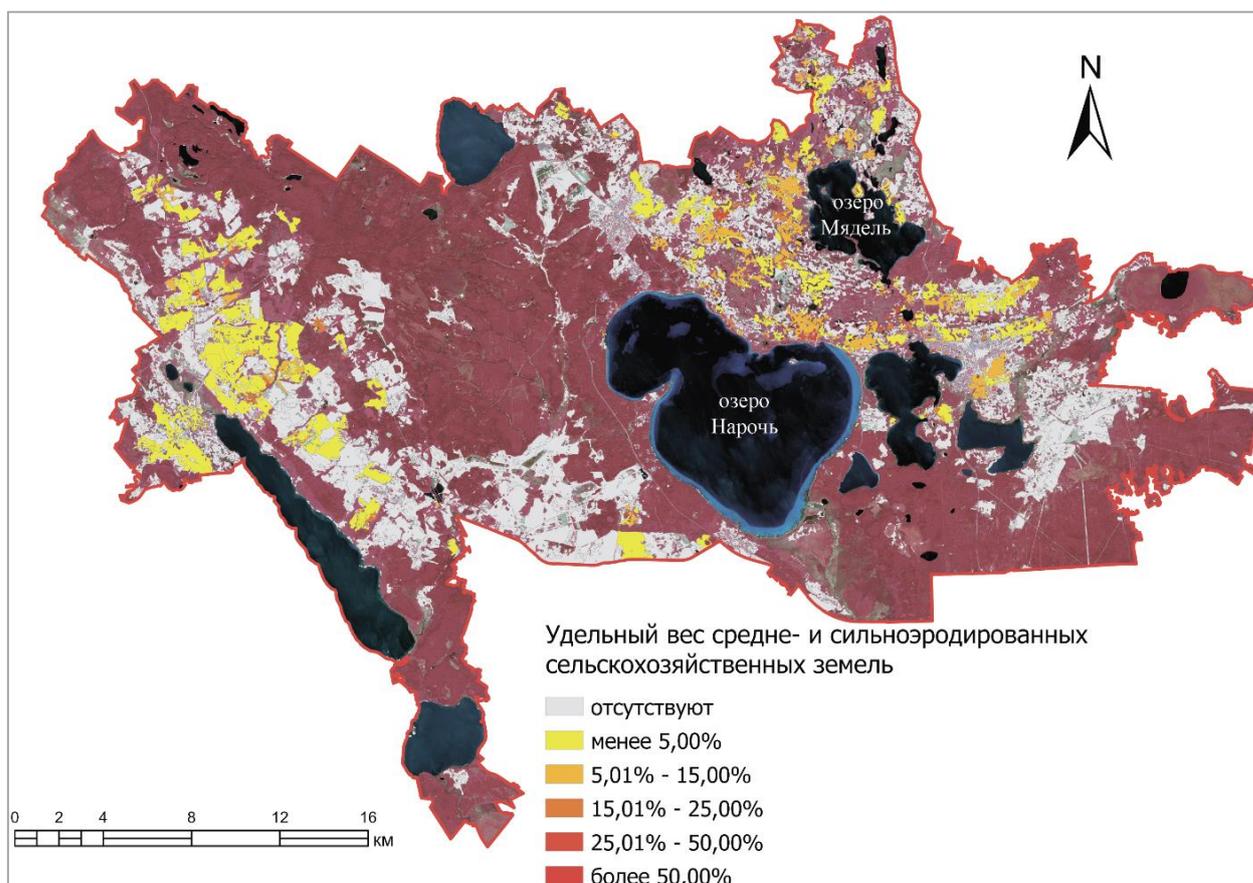


Рис. 4. Распределение основных ареалов средне- и сильноэродированных почв в структуре сельскохозяйственных земель

Заключение

Использование методов автоматизированного дешифрирования позволяет определить особенности почвенно-растительного покрова исследуемой территории и выявить места локализации нарушенных и деградированных почв. На основе дополнительных сведений о территории Национального парка «Нарочанский» (рельеф (уклоны), вегетационный индекс NDVI) нами были определены основные ареалы эродированных почв, на основе которых был рассчитан их удельный вес в структуре контуров сельскохозяйственных земель.

Список литературы

1. Клебанович Н. В. География почв Беларуси: учеб. пособие. Минск: БГУ, 2011. 183 с.
2. Архив Геологической службы США (USGS) [Электронный ресурс]. URL: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.

USING REMOTE SENSING DATA OF THE EARTH TO IDENTIFY DIFFERENT TYPES OF LAND DEGRADATION

Kislitsyn Dmitry

Belarusian State University, Faculty of Geography and Geoinformatics,
Minsk, Belarus

E-mail: dimas_13082000@mail.ru

Abstract. The paper describes the method of using automatized interpretation to study the structure of the soil and vegetation cover of the National Park “Narochansky”, and also analyzes the use of such features as the slope of the relief and NDVI for determining eroded soils.

Keywords: automatized interpretation, soil erosion, segmentation.

БАЗЫ ДАННЫХ

**НЕКОТОРЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПРИМЕНЕНИЯ
СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В РАМКАХ
ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ «ПОЧВЕННО-
ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ БАЗА ДАННЫХ РОССИИ»**

*Алябина Ирина Олеговна¹, Голозубов Олег Модестович¹,
Чернова Ольга Владимировна^{1,2}*

¹ Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
факультет почвоведения, Москва, Россия

² Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН,
Москва, Россия

E-mail: oleggolozubov@gmail.com

Аннотация. Приводится несколько примеров применения статистических методов расчетов в Информационной Системе «Почвенно-географическая база данных России». Часть примеров касается проектов ФАО ООН по расчету всемирных карт секвестрации и запасов органического углерода в почвах.

Ключевые слова: почвенные базы данных, статистические методы, распределенные системы, органический углерод.

Введение. Информационная система «Почвенно-географическая база данных России» – ИС ПГБД РФ (<https://soil-db.ru/>) насчитывает уже более 10 лет своего существования. Основанная на фундаментальных работах В.А. Рожкова по Почвенной информатике и по математической статистике в почвоведении Е.А. Дмитриева [1, 2], функционирующая в содружестве с научными и учебными организациями и центрами Агрохимической службы Минсельхоза РФ, ИС ПГБД РФ представляет собой сегодня распределенную сеть почвенных дата-центров, собрание методик, алгоритмов и программ, применяемых как в научно-исследовательской, так и в учебной и практической деятельности. Объекты ИС ПГБД – пространственно распределенные данные, базы данных и знаний, в том числе формализованные классификации как базы знаний в информационных системах [1], данные в качественных и количественных шкалах измерений, то есть практически все категории переменных [2].

Ниже приводится краткая характеристика наборов почвенных данных, аккумулированных в ИС ПГБД:

Профильные данные: 10 500 профилей, из них на территории России – 3 000, в том числе представительных профилей с полным

описанием – 900, и соответственно 22 000, 13 000 и 5 000 описаний горизонтов.

Мелкомасштабные почвенные карты и карты почвенно-экологического районирования – ПЭР (от М 1:1 000 000 и более мелко-масштабных): 36 000 контуров, из них на территории России 27 000;

Мелкомасштабные тематические карты: климатические, растительности, лесов, почвообразующих пород, природно-сельскохозяйственного районирования и другие.

Среднемасштабные почвенные карты: почвообразующих пород, эрозии (М: от 1:200 000 до 1:600 000): 30 000 контуров, из них на территории России 27 000.

Крупномасштабные почвенные карты: 287 000 контуров, из них на территории России 184 000 контуров, более 25 000 000 га.

ИС ПГБД также аккумулирует большой объем сопутствующей информации: данные агрохимических обследований, геоботанические и геоморфологические описания, карты землеустройства, севооборотов, эрозии и негативных факторов, справочники методов измерения, классификаторов и многое другое.

Одновременно с формированием и наполнением баз данных разрабатывались методики расчетов, анализа информации, генерации тематических карт и отчетов. Учитывая такие базовые свойства почвенной информации как разреженность, неполнота, историчность, а также существенные погрешности регистрируемых переменных, статистические методы находят широкое применение в алгоритмах и методах, применяемых в ИС ПГБД, три примера из которых приводится в настоящей работе.

1. Оценка связи распространения почвенных горизонтов с климатическими параметрами [3] была выполнена для равнинной территории России. Исходный массив данных подготовлен с использованием цифровых карт в ГИС MapInfo. Путем пересечения различных карт получено векторное покрытие на равнинную часть РФ, включающее 19729 полигонов. Атрибутивная информация, связанная с каждым полигоном: преобладающая почва (с Почвенной карты РСФСР М 1:2 500 000); горизонты, слагающие профиль; значения 15-ти климатических параметров.

Массив данных обработан с использованием метода ранговой корреляции. Для 12-ти почвенных горизонтов рассчитаны: **r** – выборочный коэффициент корреляции Спирмена; **Z** – статистика; **P** – уровень значимости. По величине Z-статистики получена оценка влияния климатических параметров на распространение почвенных горизонтов.



Рис. 1. Влияние климатических параметров на распространение почвенных горизонтов

2. В 2017 году ФАО ООН инициировал проект по созданию всемирной карты запасов органического углерода в 30-сантиметровом слое почвы (GSOC17) [4], была предложена единая методика расчетов, для реализации которой, наряду с прочими характеристиками, были необходимы сведения о редко определяемой экспериментально объемной массе почвенных горизонтов (bulk density). Кроме того, требовалось составить карту оценки погрешности расчетов. В обоих случаях для расчетов применяли статистические методы.

Для расчета объемной массы минеральных горизонтов использовали пятипараметрическую функцию нелинейной регрессии, которая позволяет прогнозировать объемную массу в зависимости от содержания гумуса и глубины горизонта [5]. На основе анализа массива данных, аккумулированных в ПГБД РФ (<https://soil-db.ru/map/profiles>), было показано, что для 3 крупных групп генетически сходных почв «Таежных», «Луговых» и «Степных» плотности, вычисленные с использованием указанного уравнения, хорошо совпадают с экспериментальными значениями [6]. Верификацию уравнения и коэффициентов проводили на заведомо независимых информационных массивах: для почв группы «Таежные» – на основе данных по 125 горизонтам из 31 разреза дерново-подзолистых почв (средняя относительная ошибка составила 7.5%); для почв группы «Степные» – по 307 горизонтам из 111 разрезов черноземов (относительная ошибка – 7.6%) (рис. 2).

Анализ большого объема разновременной пространственно-атрибутивной информации, аккумулированной в цифровой форме в объединенной сети почвенных дата-центров, позволил проследить динамику содержания и запасов гумуса в пахотных черноземах в пределах двух провинций ПЭР на территории Ростовской области и

наметить подходы к снижению их дегумификации с учетом специфических характеристик территорий [7].

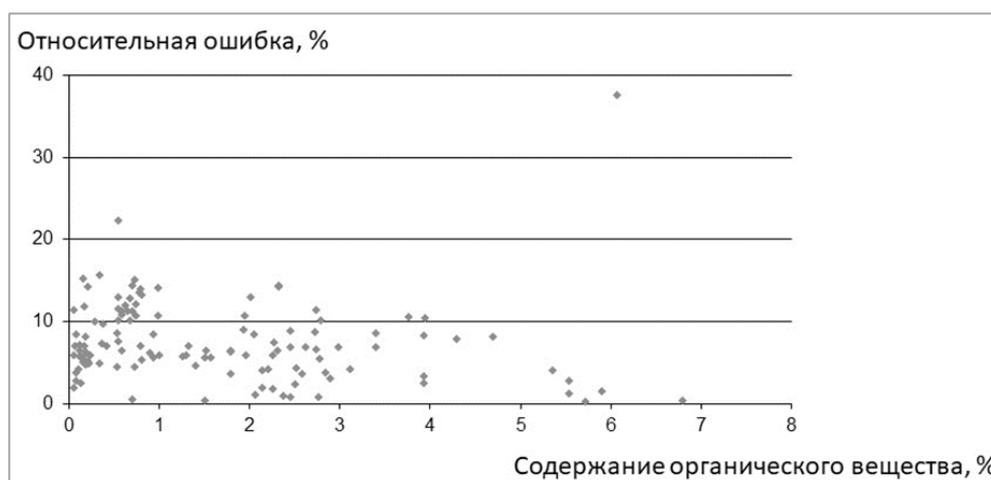


Рис. 2. Зависимость относительных ошибок расчета объемной массы дерново-подзолистых почв от их обогащенности органическим веществом

3. В 2020 году в связи с проблемами изменения климата ФАО предложило сформировать мировую карту секвестрации органического углерода SOCSeq на основе единой методики, в которой одним из параметров расчета является процентное содержание частиц <0.002 мм в слое почвы 0-30 см [8]. Для получения этой информации использован следующий расчетный алгоритм:

- данные представительных профилей, содержащие минимально необходимый набор показателей (гранулометрический состав и содержание гумуса), усреднялись по принадлежности к одинаковым группам почв (рис. 3)

- с помощью регрессионной формулы, предложенной в [9], рассчитывали процентное содержание частиц <0.002 на основе данных о гранулометрическом составе в градациях, принятых в отечественном почвоведении:

$$\Phi_{<0.002} = -1.148 + 0.43 \Phi_{<0.005} + 0.53 \Phi_{<0.001}.$$

В случае отсутствия данных для фракции <0.005, часто встречающегося в практике обследований, использовали другой вариант регрессионной формулы:

$$\Phi_{<0.002} = 2.556 + 2.11 \Phi_{<0.001}.$$

- далее рассчитывали средневзвешенные значения показателей для слоя 0-30 см по формуле (на примере 3 горизонтов):

$$C1 * M1 + C2 * M2 + C3 * (30 - G13) / 30,$$

где $C1$, $C2$, $C3$ – содержание фракции $\Phi_{<0.002}$ в горизонтах 1, 2 и 3; $M1$, $M2$ – мощность горизонтов 1 и 2, $G13$ – верхняя граница горизонта 3.

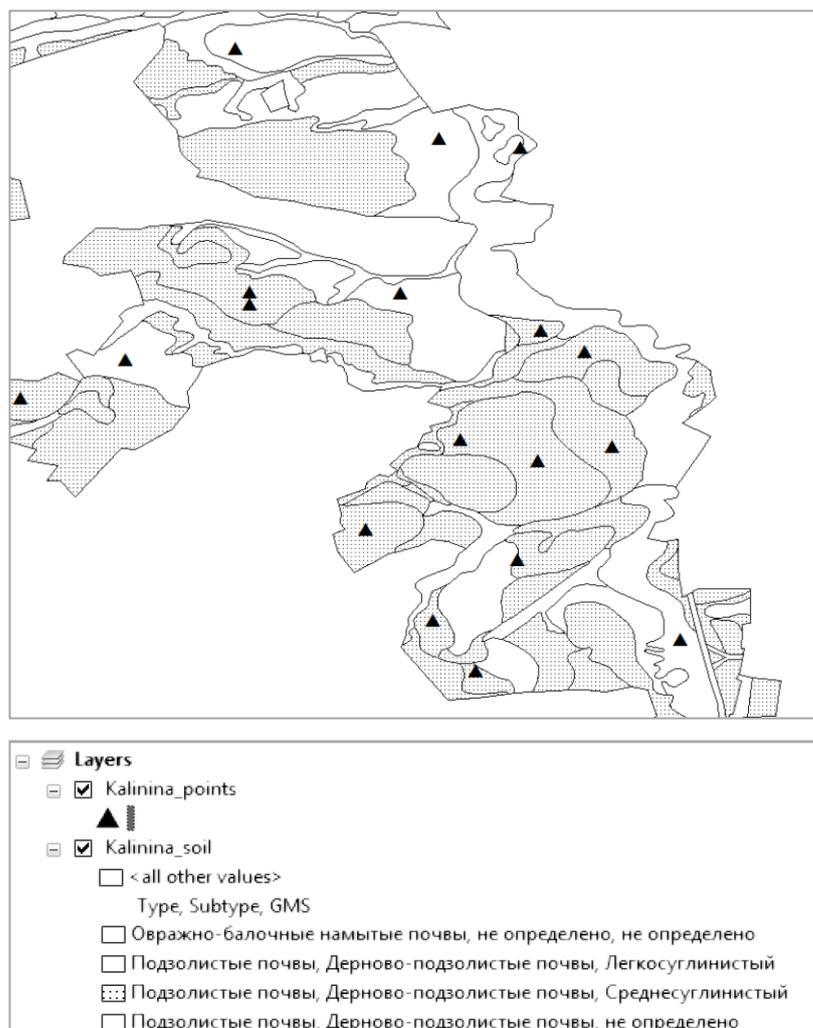


Рис. 3. Фрагмент почвенной карты с разрезами

В работе приведены примеры статистических методов, использованных в проектах, реализованных на базе ИС ПГБД. Для решения научных и практических задач применяются различные технологии отбраковки, фильтрации и гармонизация данных, сочетание эмпирических и статистических методов обобщения информации, имитационные модели и др. Возможности распределенной БД по накоплению, верификации, использованию данных, поддержке их совместимости, многопользовательский режим, а также поддержка программных языков манипуляции пространственными данными и языка R для пространственно-статистического анализа являются основными преимуществами в исследованиях на больших территориях.

Благодарности

Работа выполнена в рамках НИР «Почвенные информационные системы и оптимизация использования почвенных ресурсов» ЦИТИС: 121040800147-0.

Список литературы

1. Рожков В.А. Об информационном подходе в классификации почв // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2012. Вып. 69. С. 4-23.
2. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении: учебник / Научн. ред. Ю.Н. Благовещенский. Изд. 4-е, доп. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. 336с.
3. Алябина И.О., Неданчук И.М. Оценка связи распространения почвенных горизонтов с климатическими параметрами // Почвоведение. 2014. № 10. С. 1165-1176.
4. FAO. 2020. A protocol for measurement, monitoring, reporting and verification of soil organic carbon in agricultural landscapes – GSOC-MRV Protocol. Rome. <https://doi.org/10.4060/cb0509en>
5. Честных О.В., Замолодчиков Д.Г. Зависимость плотности почвенных горизонтов от глубины их залегания и содержания гумуса // Почвоведение. 2004. № 8. С. 937-944.
6. Чернова О.В., Голозубов О.М., Алябина И. О., Щепаченко Д. Г. Комплексный подход к картографической оценке запасов органического углерода в почвах России // Почвоведение. 2021. № 3. С. 273-286. DOI:10.31857/S0032180X21030047.
7. Чернова О. В., Алябина И. О., Безуглова О. С., Литвинов Ю. А. Современное состояние гумусированности пахотных черноземов настоящих степей (на примере Ростовской области) // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. N 4. С. 99-113. <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-4-99-113>
8. FAO. 2020. Technical specifications and country guidelines for Global Soil Organic Carbon Sequestration Potential Map (GSOCseq). Rome.
9. Теории и методы физики почв / ред. Е.В. Шеин, Л.О. Карпачевский. М.: Гриф и К, 2007. 616 с.

SOME AREAS OF APPLICATION OF STATISTICAL METHODS WITHIN THE FRAMEWORK OF THE INFORMATION SYSTEM "SOIL-GEOGRAPHICAL DATABASE OF RUSSIA"

Alyabina Irina¹, Golozybov Oleg¹, Chernova Olga^{1,2}

¹ Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty, Moscow, Russia

² Severtsov Institute of Ecology and Evolution RAS, Moscow, Russia

E-mail: oleggolozubov@gmail.com

Abstract. Several examples of the application of statistical methods of calculations in the Information System "Soil-geographical database of Russia" are given. Some examples relate to FAO projects on the calculation of world maps of organic carbon stocks and sequestration of organic carbon.

Keywords: soil databases, statistical methods, distributed systems, organic carbon.

ГИЛ КАК БАЗА АКТУАЛИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИИ О СОСТОЯНИИ ПОЧВЕННЫХ РЕСУРСОВ

Вологодина Ольга Сергеевна

ГПОУ «Читинский политехнический колледж», Чита, Россия

E-mail: ovologdina@yandex.ru

Аннотация. Государственная инвентаризация лесов (ГИЛ) проводится в России с 2007 г. Рассмотрены базовые статистические материалы ГИЛ Забайкальского и Байкальского горных лесных районов (Забайкальский край), касающиеся почвенных ресурсов.

Ключевые слова: государственная инвентаризация лесов (ГИЛ), постоянная пробная площадь (ППП), почвенные ресурсы, Забайкальский край, Россия.

Введение. Лесное почвоведение связывает почвоведение с лесоводством, в его задачу входит изучение и оценка почв как среды леса, так и среды его обитания [1]. Государственная инвентаризация лесов (ГИЛ) проводится в России с 2007 г. с целью получения достоверной информации о лесах статистическим методом, т.е. закладкой случайно размещенных постоянных пробных площадей (ППП) и инструментальным определением ряда таксационных параметров насаждений [2]. На первом уровне осуществляется оценка показателей (атрибутов) принципиальной важности. На втором уровне производится балльная оценка атрибутов. Весь процесс работ по ГИЛ, включая сбор информации по почвенным ресурсам и обработку данных (вплоть до распечатки отчетов) обеспечивается технологией Field-Map. Данные измерений совместно с описательными атрибутами непосредственно переносятся от измерительных приборов в базу данных полевого компьютера и отображаются в полевой географической информационной системе. Данные законченных пробных площадей постепенно переносятся в центральную базу данных, созданную для объектов ГИЛ [3].

При проведении ГИЛ указывают особенности почвенного покрова лесов:

1) Тип почвы. Закладывается почвенная прикопка, глубиной 30-50 см (или может производиться специальными почвенными бурами). Описание почв проводится с указанием механического состава, влажности почв (сухая, свежая, влажная, сырая и мокрая), а также толщины гумусового горизонта (1. гумусового горизонта нет; 2. 0-1 см; 3. 1-2 см; 4. 2-3 см; 5. 3-4 см; 6. 4-5 см; 7. 5-6 см; 8; более 6 см) [3]. Тип почвы, механический состав и влажность определяются по горизонту А.

- 2) Тип гумуса (мор, модер, муль, не развитый).
- 3) Присутствие и характер эрозии почвенного покрова на ППП, ее степень (слабая, средняя, сильная, почвы смыты или сдуты).

Объекты и методы. В работе использованы материалы ГИЛ Читинского, Красночикойского, Хилокского и Бадинского лесничеств (Забайкальский край). По лесорастительному районированию территория относится к Байкальскому горному и Забайкальскому горному лесному районам. Цель наших исследований – анализ статистических свойств параметрических характеристик почв Забайкальского края по результатам ГИЛ. Исследование базировалось на источнике фактического материала – данных ППП, заложенных в рамках ГИЛ. Из всех определяемых параметров ограничились указанными выше показателями почв. Интерес представляли не столько сами показатели, сколько их процентные соотношения. Закладки ППП в рамках программы ГИЛ проводились в 2011 г. и в 2017 г. [4, 5].

Результаты и обсуждение. Забайкальский край граничит на западе с Республикой Бурятия, на востоке – с Амурской областью, на севере и северо-западе – с Иркутской областью, на северо-востоке – с Республикой Якутия, на юге проходит государственная граница с Китайской Народной Республикой и Монголией [3]. Общая площадь Забайкальского края составляет 43189,2 тыс. га. Лесистость территории составляет 68,2 %.

Географическое положение края и особенности его климата определяют весьма неблагоприятные условия почвообразования. Одни из них – распространение вечной мерзлоты на обширной территории и продолжительное глубокое зимнее промерзание с очень низкими температурами почв.

Для высокогорий характерны скальные выходы и поля каменистых россыпей, рыхлых отложений чрезвычайно мало. В среднегорьях основной фон составляют элювиально-делювиальные щебнисто-мелкоземистые образования. На высотах 900-1200 м преобладают Al-Fe-гумусовые почвы (горные мерзлотно-таежные, горно-таёжные ожелезненные). Подзолистые почвы в основном встречаются на песчаных и грубообломочных породах, а также на южных склонах и в подгольцовом поясе. На высотах 700-900 м доминируют процессы аккумуляции органического вещества, а минеральная часть почв устойчива, преобладают мерзлотные (глубокопромерзающие) дерново-таёжные почвы. В понижениях преобладают флювиогляциальные и древние аллювиальные отложения. Поверхностные отложения содержат в небольшом количестве карбонаты и реже хлориды, и сульфиды (в центральных частях котловин).

Почвы Забайкальского края представлены следующими основными генетическими типами почв: мерзлотно-таёжными (занимают главенствующее положение), горно-тундровыми, дерновыми лесными, темно-серыми лесными, мерзлотно-луговыми лесными, черноземами, каштановыми, болотными низинными и луговыми. Из провинциальных особенностей почв следует отметить особый характер термического режима, невысокую гумусированность почв и довольно высокую степень скелетности почв [4].

По данным ГИЛ [5], на территории Бадинского лесничества Забайкальского края доминируют дерново-слабоподзолистые почвы, они занимают 52,6% площади лесничества, высокогорные дерново-гольцовые сформированы на площади 25% лесничества, подзолы – это 16,3% площади, а также встречаются дерново-карбонатные (4%) и дерново-глеевые почвы (2,1%). Почвенный покров лесничества на территории 20,5% подвержен водной эрозии.

Распределение площади лесных земель Бадинского лесничества по механическому составу почв выявляет следующее: суглинок средний имеется на 32,9% территории, супесь связанная – 26,1%, суглинок легкий – 23,7%, суглинок тяжелый – 17,3%. По данным ГИЛ, распределение площади лесных земель по влажности почв в Бадинском лесничестве Забайкальского края имеет процентное соотношение: свежая – 26,1%, влажная – 58,4%, сырая – 14,8%, мокрая – 0,7%.

Распределение площади лесных земель по типу гумуса показывает преобладание модера (86,6%), гумуса нет в почвенном покрове на 11,2% территории Бадинского лесничества, остальное – мор.

Распределение площади лесных земель в Бадинском лесничестве по толщине гумусового горизонта вскрывает закономерности: гумуса нет – на 11,2% территории; 1-2 см – 2,9%; 2-3 см – 25,8%; 3-4 см – 11,6%; 4-5 см – 34,4%; 5-6 см – 13,4%; >6 см – 0,7%.

На территории Забайкальского горного лесного района встречаются подзолы, дерново-слабоподзолистые и дерново-среднеподзолистые почвы. По данным ГИЛ, почвенная эрозия отсутствует.

Распределение площади лесных земель по механическому составу почв показывает процентное доминирование песка – 35,3%, а также встречаются: песок связанный – это 32,75% территории горного лесного района, супесь легкая – 7,5%, супесь связанная – 3,7% и суглинок легкий – 20,8%. Распределение площади лесных земель по влажности почв выявляет только две категории (свежая – 95,1% и влажная – 4,9%). Распределение площади лесных земель по типу гумуса показывает процентное соотношение трех типов лесной подстилки: мор – 7,0%, модер – 88,1%, муль – 4,9%. Распределение площади лесных земель по

толщине гумусового горизонта выявляет следующее: 0,1-1 см – 16,7%; 1-2 см – 40,8%; 2-3 см – 32,7%; 3-4 см – 8,7%; 4-5 см – 1,1%.

Заключение

Государственная инвентаризация лесов является действенным инструментом для обработки, анализа и обобщение результатов стратификации лесных почвенных ресурсов. Материалы ГИЛ могут использоваться не только по прямому назначению, т.е. в качестве информационной основы для государственного управления в области использования, а также как уникальные научные данные национального значения. Данные работы, во-первых, используют инвентаризацию почвенных данных в рамках традиционных методов почвоведения, во-вторых, дают географическую привязанность распределения свойств почв с помощью различных математических методов совместно с данными цифровых моделей и в-третьих, обновляют фактическую информацию о природном объекте.

Список литературы

1. Березин Л.В., Карпачевский Л.О. Лесное почвоведение: учеб. пособие. Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2009. 360 с.
2. Временные рабочие правила проведения работ по ГИЛ РФ. Москва, 2008. 69 с.
3. Методические рекомендации по проведению государственной инвентаризации лесов. Приказ Рослесхоза от 10.11.2011 № 472. 37 с.
4. Отчёт о количественных и качественных и характеристиках лесов. Забайкальский край. Книга 3. Чита, 2011. 286 с.
5. Отчёт о количественных и качественных и характеристиках лесов. Забайкальский край. Москва, 2017. 52 с.

THE DATA OF STATE FOREST INVENTORY AS THE BASIC OF UPDATED INFORMATION ON THE STATE OF SOIL RESOURCES

Vologdina Olga

Chita Polytechnic College, Chita, Russia

E-mail: ovologdina@yandex.ru

Abstract. The State Forest Inventory has been performed in Russia since 2007. The basic statistical materials of the SFI of the Zabaikalsky and Baikal Mountain regions (Zabaikalsky Krai) concerning soil resources are considered.

Keywords: state forest inventory (SFI), sample plot, soil resources, Trans-Baikal Territory, Russia.

**СОЗДАНИЕ БАЗЫ ДАННЫХ ПАСТБИЩНЫХ УГОДИЙ
ПУСТЫННОЙ ЗОНЫ РЕСПУБЛИКИ КАЛМЫКИЯ ПО
РЕЗУЛЬТАТАМ ДОЛГОВРЕМЕННОГО ГЕОБОТАНИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА**

Уланова Светлана Сергеевна, Маиштыков Кирилл Владимирович

Бюджетное научное учреждение Республики Калмыкия «Институт комплексных исследований аридных территорий», Элиста, Россия
E-mail: svetaulanova@yandex.ru

Аннотация. В статье рассмотрена структура базы данных естественных угодий пустынной зоны Калмыкии, предназначенной для сбора, хранения, систематизации, обработки и накопления данных о состоянии пастбищ республики, а также для прогнозирования их урожайности.

Ключевые слова: база данных, пастбища, урожайность, мониторинг.

Введение. На протяжении многовековой истории Калмыкии в основе ее экономики находится пастбищное животноводство. Основой животноводства республики являются природные кормовые угодья республики, составляющие 83,2 % или 5178,7 тыс. га. В настоящее время основная причина ухудшения пастбищ состоит во всевозрастающей хозяйственной нагрузке, выражающейся в распашке, мелиорации и перевыпасу пастбищ. Вследствие этого для объективной оценки современного состояния пастбищных угодий необходим долговременный мониторинг, основной задачей которого является возможность пространственно-временного анализа количественных данных.

В результате мониторинга ключевых фитоценозов при изучении пастбищ накапливаются большие объемы разнородных данных геоботанических описаний. Для их централизованного хранения и анализа требуется единое информационное пространство, с удобным пользовательским интерфейсом и функциональными возможностями для обработки таких данных. Целью работы было разработать информационную систему для ведения геоботанических описаний ключевых фитоценозов при изучении пастбищ, предназначенную для сбора, систематизации, обработки и накопления данных о состоянии пастбищ республики.

Объекты и методы. Сотрудниками отдела экологических исследований Института комплексных исследований аридных

территорий организован геоэкологический мониторинг пастбищ на территории 11 ключевых сельских муниципальных образований (СМО), приуроченных к степной и пустынной зонам Калмыкии. В содержание настоящей базы данных (БД) вошли данные по объектам, расположенным в пустынной зоне Калмыкии на территории трех административных районов: Яшкульского (Привольненское СМО), Черноземельского (Адыковское СМО), Юстинского (Эрдниевского СМО). Мониторинг выполнен на основании измеренных количественных значений нескольких показателей: ботанических (видовой состав, проективное покрытие, обилие по шкале Друде); ландшафтных характеристик (относительные отметки высот мезорельефа, гидрохимический состав и структура почв; состав, структура и продуктивность господствующих пастбищных фитоценозов). Экологические признаки оценки, в нашем случае, характеризуют изменение показателей проявления деградационных природно-антропогенных процессов во времени (увеличение площади открытых песчаных массивов, снижение количества видов, выпадение из состава сообществ ценных в кормовом отношении видов, снижение продуктивности фитоценозов, увеличение количества рудеральных видов, увеличение стадии пастбищной дигрессии). Также были учтены показатели антропогенных воздействий, таких как допустимая пастбищная нагрузка, увеличение количества выпасаемого скота, и связанного с этим увеличения сбитости почв; разрастание дорожной дигрессии, возникновение пожаров и т.д. В процессе полевого обследования и камеральной обработки полученных данных использовались материалы крупномасштабного геоботанического и почвенного обследования территории пастбищных угодий, а также актуальная космическая информация.

Во время полевых мониторинговых работ проводился комплекс исследований, включающий стандартное геоботаническое описание участков (учет видовой разнообразия, III видов, высота, обилие по шкале Друде, жизненность, фенофаза, степень и вид антропогенного воздействия), дифференцированный отбор растительных укосов для определения урожайности растительных сообществ, описание почвенных разрезов и отбор проб почв для лабораторных исследований). Во время полевых исследований использовались стандартные методики сбора и обработки материала [2, 3]. Для определения видов растений использовали определители высших сосудистых растений [5, 6], список латинских названий таксонов приведен по сводке С.К. Черепанова [7]. Анализ жизненных форм растений основан на подходах И.Г. Серебрякова [4]. Определение урожайности проводилось путем срезания растений на высоте 2-3 см от поверхности почвы. Учетные площадки для

определения хозяйственной урожайности размером 1x2,5 м закладывались в 4-кратной повторности. Типология почв приведена по В.А. Ковде [1].

Результаты и обсуждение. В рамках многолетнего мониторинга (с 2012 г. по 2019 г.) был создан детализированный банк геоданных, включающий на основе применения ГИС-технологий информацию, полученную с помощью наземных полевых исследований и в ходе лабораторной обработки отобранных проб, анализа материалов космической съемки. Созданная база данных стала точкой отсчета для мониторинговых наблюдений в целях систематизации, накопления данных о состоянии пастбищ республики, а также для прогнозирования их урожайности. БД была создана на основе программы Microsoft Access, объем БД 128 МБ и зарегистрирована в Реестре государственной регистрации баз данных (№ 2021621820 «Геоботанический мониторинг естественных угодий пустынной зоны Республики Калмыкия» Право-обладатель: БНУ РК «ИКИАТ» Авторы: Уланова С.С., Маштыков К.В., Федорова Н.Л., Дедова Э.Б., Шабанов Р.М. заявка № 2021621428, дата регистрации в Реестре баз данных 31 августа 2021 г.). База данных состоит из 5 основных вкладок: фитоценозы, фитоценотический анализ, характеристика почв, флора естественных угодий, урожайность ключевых объектов. В разделе «фитоценозы» даются номера геоботанических описаний, номера GPS, координаты ключевых участков, названия административных районов и СМО, преобладающие типы почв, названия фитоценозов по латыни, названия формаций, число видов, общее проективное покрытие, аспект фитоценоза, высота основной массы травостоя, характер задернения и стадия пастбищной дигрессии.

В раздел «фитоценозы» вошли 342 геоботанических описаний ключевых растительных сообществ (из них в Привольненском СМО – 172, Адыковском СМО – 110, Эрдниевском – 60), расположенных в пустынной зоне Калмыкии. Выделено 22 формации растений и дано их краткое описание.

В разделе «фитоценотический анализ» представлено описание видов растений по высоте, проективному покрытию, обилию по Друде, фенологической фазе, жизненности.

В разделе «характеристика почв» введены следующие параметры: номера почвенных разрезов, номера проб почв, глубина отбора, почвенное описание, а также даны типы, подтипы, рода и виды почв. Преобладающими почвами на исследованных ключевых объектах являются зональные бурые супесчаные и песчаные, встречающиеся в комплексе с солонцами.

В разделе «флора естественных угодий» дано полное систематическое описание встреченных видов растений по следующим параметрам: семейство, род, вид, жизненная форма, класс поедаемости, тип корневой системы, экологический тип, эколого-фитоценотический тип, географическая группа, тривиальное название вида, место распространения, место нахождения, категория редкости. В данном разделе описано 158 видов растений пустынной зоны, относящихся к 30 семействам, 102 родам. Многовидовыми семействами являются Asteraceae, Poaceae и Chenopodiaceae. Широкое распространение представителей семейства сложноцветных объясняется зональной приуроченностью растений. В пустынной зоне широко распространены полыни, являющейся господствующей биоморфой. Из злаковых повсеместно распространен мятлик луковичный, он обычен в естественных сообществах в разнообразных условиях и очень хорошо разрастается на нарушенных землях, особенно при перевыпасе. Солянки распространены на солонцах средних и мелких, местами на солончаках образуют монодоминантные сообщества. Среди преобладающих семейств доминирующими жизненными формами являются монокарпические и поликарпические травы. Монокарпические травы, составляющие почти 50%, представлены в основном сорными и рудеральными видами. Поликарпические травы составляют менее 40% от общего числа видов. Из общего количества видов растений на ключевых участках участвующих в сложении растительности на долю полукустарничков приходится не более 10%.

Повсеместно отмечена сильная степень стравливания, ежегодно отмечается несоответствие нормам выпаса и превышение нагрузки скотом на исследуемых ключевых объектах.

В разделе «урожайность» введены следующие данные: номера геоботанических описаний, номера растительных укосов, вес в сыром виде ($\text{г}/\text{м}^2$), вес в сухом виде ($\text{г}/\text{м}^2$), урожайность ($\text{ц}/\text{га}$), дата отбора укосов, а также номера фото укосных площадок. Всего в разделе «урожайность» приведены данные по 1054 растительным укосам.

Заключение

База данных содержит в легкодоступном виде данные, позволяющие получать необходимую информацию, посредством разработанных форм и запросов для исследователей и широкого круга пользователей. База данных предназначена для руководителей хозяйств, исследователей естественных кормовых угодий биологической и сельскохозяйственной направленности, научных сотрудников, студентов, аспирантов, работников АПК. Программа может использоваться для организации рационального использования сельскохозяйственных угодий, проведе-

ния фитомелиоративных работ на деградированных землях, расчета кормовой емкости пастбищ, принятия административных мер по охране территорий, подверженных почвенной дефляции. В будущем планируется усовершенствовать пользовательский интерфейс БД и расширить ее функциональные возможности за счет взаимодействия с ГИС.

Список литературы

1. Ковда В.А., Розанов Б.Г. Почвоведение. Часть 1. Почва и почвообразование: учеб. для ун-тов: в 2 ч. / под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. Ч. 1. М.: Высш. шк., 1988. 400 с.
2. Общесоюзная инструкция по проведению геоботанического обследования природных кормовых угодий и составлению крупномасштабных геоботанических карт. М.: Колос, 1984. 105 с.
3. Работнов Т. А. Фитоценология. 2-е изд. М.: Изд-во МГУ, 1983. 296 с.
4. Серебряков И. Г. Экологическая морфология растений. М.: Высшая школа, 1962. 377 с.
5. Флора Нижнего Поволжья. Т. 1. М.: Т-во науч. изд. КМК. 2006. 231 с.
6. Флора Нижнего Поволжья. Т. 2. Ч. 1, 2. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2018. 1083 с.
7. Черепанов С. К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). Л.: Наука, 1995. 990 с.

CREATION OF A DATABASE OF RANGELANDS IN THE DESERT ZONE OF THE REPUBLIC OF KALMYKIA BASED ON THE RESULTS OF LONG-TERM GEOBOTANICAL MONITORING

Ulanova Svetlana Sergeevna, Mashtykov Kirill Vladimirovich

Budgetary Scientific Institution of the Republic of Kalmykia
"Institute for Integrated Research of Arid Areas", Elista, Russia
E-mail: svetaulanova@yandex.ru

Abstract. The article examines the structure of the natural lands database in the desert zone of Kalmykia intended for collecting, storing, systematizing, processing and accumulating data on the state of of the republic's pastures, as well as for predicting their yield.

Keywords: database, pastures, productivity, monitoring.

**БАЗА ДАННЫХ ТЕМПЕРАТУРЫ ГОРНЫХ ПОЧВ
ХИБИНСКОГО ГОРНОГО МАССИВА
(МУРМАНСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

Штабровская Ирина Михайловна, Зенкова Ирина Викторовна

Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН,
Апатиты, Россия
E-mail: ishtabrovskaya@mail.ru

Аннотация. По результатам многолетних температурных исследований экосистем полярных гор Хибин в 2012-2021 гг. создана База данных по температуре горных почв Кольской Субарктики. База данных содержит информацию о 9 горных системах Хибинского горного массива, 2 горах приграничного заповедника «Пасвик» и многолетнего мониторинга равнинного сосново-мелколиственного леса, который был принят за контроль по отношению к горным экосистемам. Рассматриваются данные по температуре органогенного горизонта в 4 горно-растительных поясах Хибинского горного массива горно-таежный (сосновые и еловые леса), пояс березовых криволесий, пояс горной тундры и гольцовый пояс арктических пустынь. Собранные данные по температуре органогенного горизонта позволят выявлять закономерности распространения видов флоры, фауны и микробиоты, а также объяснять факты обнаружения в заполярных горных экосистемах теплолюбивых видов, известные границы ареалов которых лежат в более южных широтах.

Ключевые слова: Кольская Субарктика, Хибинский горный массив, температура органогенного горизонта, термохроны.

Введение. Горные экосистемы являются центрами повышенного биологического разнообразия, что обусловлено сочетанием природных условий: разной экспозицией горных склонов, высотной поясностью почвенно-растительного покрова, формированием экотонных и азональных сообществ, особым микроклиматом, спецификой движения воздушных масс, наличием температурных инверсий. Для Хибинского массива этот факт, установленный почти 100 лет назад сотрудниками первой научной горной станции «Тиетта», неоднократно подтверждался последующими исследованиями. В то же время заполярные горные экосистемы и их биота наиболее уязвимы к воздействию природных и антропогенных факторов и являются индикаторами таких воздействий, в том числе – климатических изменений, происходящих в высокоширотных районах в последние десятилетия. В частности, в Хибинах и

на Приполярном Урале, в ответ на увеличение среднегодовых температур воздуха, фиксируется высотное продвижение границ леса.

Очень важно изучать комплексно температурный режим почв, так как он регулирует численность микроорганизмов и их активность, минеральные преобразования и процессы разложения органических остатков и трансформации почвенного гумуса. Температура почв контролирует фазовые переходы в системе почва-почвенный и раствор-почвенный воздух, процессы растворения солей и газов, скорость выветривания минералов. Таким образом, исследования тепловых свойств почв и хода годовой динамики их температур необходимы при детальном исследовании всех процессов, протекающих в почвах, при количественных расчетах соле-, водо- и газопереносов [1].

Степень изученности температурного режима горных почв Хибин описано в значительном числе работ [2-6,8]. Авторами было показано, что температурная динамика подстилок в горных условиях напрямую зависит от изменения температуры, более прогретого атмосферного воздуха и зависит от факторов высотной поясности и экспозиции горных склонов.

Подобные исследования температуры органогенных горизонтов в высотном градиенте гор ведутся на Приполярном Урале сотрудниками Института биологии Коми НЦ УрО РАН [7].

Объекты и методы. Исследования температуры органогенного горизонта горных почв проводится с 2012 года. На всех исследованных участках (всего 34) закладывались термохроны (логгеры) нового поколения на глубину 5 см, а на некоторых участках закладывались на измерение температуры атмосферного воздуха (2 м. над землей) и поверхности.

Термохроны программировались на измерение температуры в органогенном горизонте каждые 2 часа (суточная динамика). Использовали датчики серии ТРВ-2, ТР-1, ТР-2 и DS1921G-F5 с техническими характеристиками, наиболее подходящими для климатических условий Мурманской области, в частности, с предельным диапазоном измерений температуры от -40°C до $+40^{\circ}\text{C}$. Сроки закладки и выемки термодатчиков были приурочены к периодам схода снега и начала заморозков в Хибинском горном массиве. За весь исследованный период было получено свыше 68 тысяч показаний температур органогенного горизонта для 12 горных систем и 1 участка соснового леса, который был принят за контроль по отношению к горным экосистемам.

Результаты и обсуждение. Созданная База данных содержит информацию об основных показателях температуры органогенного горизонта (подстилка): средних, минимальных и максимальных значениях, суммах температур.

Таблица 1. Фрагмент сводной таблицы температурных показателей горно-тундровых и горно-лесных подстилок Хибинских гор, исследованных за период 2013-2017 гг.

| Гора | Экспозиция склона | Горно-растительный пояс | Высота над ур. моря, м | Среднемесячная температура подстилки | | | |
|-------------------|-------------------|-------------------------|------------------------|--------------------------------------|----------------|------------|---------------|
| | | | | Июль | | Август | |
| | | | | М ± m, °С | Max, min | М ± m, °С | Max, min |
| Айкуайвенчорр | плато | Гольцовый | 1059 | 8,6 ± 0,4 | +12,4 +5,2 | 7,0 ± 0,3 | +10,1 +3,6 |
| | | | 1060 | 9,9 ± 0,4 | +13,7 +5,7 | 7,7 ± 0,4 | +11,2 +3,9 |
| Вудъяврчорр | плато | | 1021 | 14,9 ± 0,5 | +18,5 +8,9 | 10,9 ± 0,8 | +16,9 +7,7 |
| | | | 1023 | 15,4 ± 0,7 | +21,5 +8,2 | 9,7 ± 0,8 | +16,8 +6,0 |
| Партомчорр | ЮВ | Северотаежный | 290-310 | Нет данных | | 12,7 ± 0,4 | +16,8 +9,3 |
| Рисчорр | С | Горно-тундровый | 430 | Нет данных | | 11,0 ± 0,3 | +13,9 +5,5 |
| | СЗ | Березовые криволесья | 360-380 | Нет данных | | 11,4 ± 0,2 | +13,8 +8,8 |
| | СЗ | Горно-таежный | 290-310 | Нет данных | | 12,0 ± 0,3 | +15,7 +8,8 |
| Долина р, Кунийок | межгорная долина | Горно-таежный | 235 | 8,5 ± 0,3 | +12,0 +6,4 | 10,7 ± 0,2 | +12,0 +8,1 |
| | | Горелый сосняк | 236 | 9,2 ± 0,2 | +12,1 +7,4 | 10,1 ± 0,2 | +12,6 +8,8 |
| Юкспорр | Плато | Горно-тундровый | 710-730 | 12,2 ± 0,4 | +15,9 +5,6 | 12,0 ± 0,2 | +16,4 +7,2 |
| | ЮВ | Горно-тундровый | 625-645 | 11,8 ± 0,4 | +15,4 +7,0 | 11,2 ± 0,5 | +16,6 +6,3 |
| | ЮВ | Березовые криволесья | 460-490 | 12,2 ± 0,3 | +14,9 +8,5 | 12,0 ± 0,3 | +15,9 +8,9 |
| Суолайв | З | Горно-тундровый | 387-550 | 17,9 ± 0,3 | +22,7 +10,6 | 14,5 ± 0,7 | +22,3 +9,1 |
| | З | Березовые криволесья | 328-340 | 13,4 ± 0,3 | +16,6 +8,8 | 12,5 ± 0,4 | +18,0 +8,8 |
| | З | Горно-таежный | 260-270 | 11,7 ± 0,3 | +14,3 +7,7 | 11,9 ± 0,3 | +16,2 +9,0 |

Для того чтобы провести сравнительное исследование динамики температуры подстилок в высотном-поясном градиенте природных факторов (высотная смена типов растительности, почв и микроклимата) и в пределах основных горно-растительных поясов Хибин и сравнить температурные показатели в подстилках горных экосистем с разной экспозицией склонов, были взяты показатели температуры за сходный период.

Поскольку годовую динамику исследовали не для всех гор, то брались основной период – вегетационный сезон (июль-август), собранных авторами в 2012-2020 гг. Пример полученных значений из базы данных представлен в таблице 1.

По собранным материалам установлено, что сходная годовая динамика температуры в подстилках горных и зональных экосистем свидетельствует о преобладающем влиянии регионального климатического фактора.

Для всех поясов было установлено, что наибольший прогрев подстилок наблюдается в июле месяце в независимости от года наблюдения. Участки, которые приближены по среднемесячным температурам к зональному контрольному участку – горно-таежный и пояс березовых криволесий, расположенных на склонах западной и южной экспозиции (рис. 1).

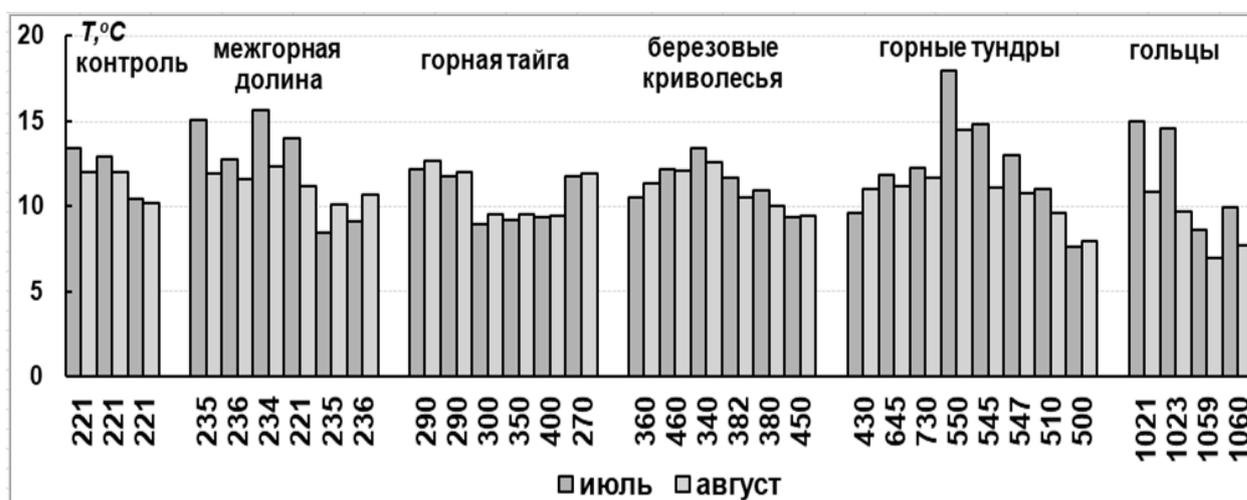


Рис. 1. Сравнение средних значений температуры для исследованных участков Хибин и контроля за 2013-2018 гг.

Участки антропогенно-трансформированные (2018), расположенные в межгорной долине прогревались в самом теплом месяце (июле) до сходных значений в гольцовом поясе на плато г. Айкуайвенчорр и были выше по сравнению с контролем, поясом горно-таежным и березовых

криволесий. Это связано с тем, что участки в межгорной долине наиболее трансформированные, лишенные и яруса напочвенной растительности, и органогенного горизонта.

Заключение

Основная идея сознания Базы данных, заключается в том, чтобы проследить какие факторы оказывают дифференцирующее влияние на температурный режим органогенного горизонта горных почв. По предыдущим исследованиям было выявлено, что основное влияние оказывали факторы: сезонности, экспозиции горных склоном и высотной поясности, но при сравнении горных систем и зональных добавляется еще и региональный фактор. Дальнейшее исследование и пополнение Базы ежегодно позволит сформировать современное представление и формирование знаний о специфике температурного режима в высотнопоясном градиенте природных факторов.

Благодарности

Исследования проведены при финансовой поддержке РФФИ – Аспиранты, проект № 20-34-90135 «Температурный режим почв как фактор разнообразия и активности почвенной биоты в горных экосистемах Кольской Субарктики»

Список литературы

1. Ковда В.А., Розанов Б.Г. Почвоведение. Часть 1. Почва и почвообразование: учеб. для ун-тов: в 2 ч. / под ред. В.А. Ковды, Б.Г. Розанова. Ч. 1. М.: Высш. шк., 1988. 400 с.
2. Зенкова И.В. К характеристике летней динамики температуры подстилок в горах Хибинского массива (Мурманская область) // Фундаментальные и прикладные вопросы лесного почвоведения: материалы докладов VI Всероссийской научной конференции по лесному почвоведению с международным участием. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 2015. С. 85-87.
3. Крючков В.В. О факторах, определяющих верхний предел березы и ели в Хибинских горах // Вестник Моск. ун-та. 1957. № 3. С. 58-71.
4. Крючков В.В. Факторы определяющие верхние пределы растительных поясов в Хибинских горах // Ботанический журнал. 1958. Т. 43. № 6. 16 с.
5. Крючков В.В. Границы древесной растительности как фиксаторы климатических условий // Информ. сборн. о работе географического ф-та МГУ по МГГ. 1958. № 3. 47 с.
6. Крючков В.В. Некоторые данные о температуре почв в различных растительных сообществах Мурманской области. М.-Л., 1961. 33 с.

7. Старцев В.В., Жангуров Е.В., Дымов А.А. Характеристика почв высотных поясов хребта Яптикнырд (Приполярный Урал) // Вестник Томского государственного ун-та. Биология. 2017. № 38. С. 6-27.
8. Шмакова Н.Ю., Ушакова Г.И., Костюк В.И. Горно-тундровые сообщества Кольской Субарктики (эколого-физиологический аспект). Апатиты: КНЦ РАН. 2008. 167 с.

**DATABASE ON THE TEMPERATURE OF MOUNTAIN SOILS
OF THE Khibinsky Mountain Massif
(Murmansk Region)**

Shtabrovskaya Irina, Zenkova Irina

Institute for Problems of Industrial Ecology of the North, KSC RAS,
Apatity, Russia
E-mail: ishtabrovskaya@mail.ru

Abstract. Based on the results of long-term temperature studies of the ecosystems of the Khibiny polar mountains in 2012-2021, a Database was created on the temperature of mountain soils of the Kola Subarctic. The database contains information on 9 mountain systems of the Khibiny mountain range, 2 mountains of the Pasvik border reserve, and long-term monitoring of the lowland pine forest, which was taken for control concerning mountain ecosystems.

The data on the temperature of the organogenic horizon in 4 mountain-vegetation zones of the Khibiny mountain range are mountain-taiga (pine and spruce forests), a belt of birch crooked forests, a belt of mountain tundra, and a Goltsovy belt of arctic deserts.

The data collected on the temperature of the organogenic horizon will make it possible to reveal the patterns of distribution of species of flora, fauna, and microbiota. As well as to explain the facts of the detection of thermophilic species in the polar mountain ecosystems, the known boundaries of which are located in more southern latitudes.

Keywords: Kola Subarctic, Khibiny mountain range, temperature of the organogenic horizon, thermochrones.

УДК 631.4

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ НА ПРОСТРАНСТВЕННУЮ
ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА
В ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ ЕВРОПЕЙСКОЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ
НА ОСНОВЕ БАЗ ДАННЫХ**

*Рыжова Ирина Михайловна, Подвезенная Марина Александровна,
Кириллова Наталия Петровна*

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
факультет почвоведения, Москва, Россия
E-mail: podvezennaya@yandex.ru

Аннотация. Проанализирована пространственная вариабельность запасов углерода лесных почв в региональном масштабе по материалам почвенных баз данных. Показано, что запасы почвенного углерода и статистические показатели пространственной вариабельности увеличиваются с ростом увлажнения почв.

Ключевые слова: базы данных, запасы органического углерода почв, лесные почвы, влажность, региональный масштаб.

Введение. Запасы углерода в почве выше, чем в надземной биомассе и атмосфере, поэтому в связи с проблемой глобального изменения климата особое внимание уделяется уточнению оценок запасов органического вещества почв. Уровень накопления углерода в почве является результатом сложного взаимодействия процессов поступления, стабилизации и потерь органического вещества, интенсивность которых определяется множеством факторов, что обуславливает его высокую пространственную вариабельность в разном масштабе. Влажность определяет водно-воздушный режим почв и является одним из наиболее значимых факторов, определяющих интенсивность процессов трансформации органического вещества в почве. Поэтому для повышения качества оценок запасов почвенного углерода важно определить, насколько они и их пространственная вариабельность зависят от этого фактора. Для уточнения оценок запасов углерода в почве и их пространственной вариабельности, может быть полезной информация, аккумулированная в региональных базах данных. Мы использовали ее в предыдущей работе для сравнения запасов углерода в автоморфных и полугидроморфных почвах лесных экосистем и определения вклада полугидроморфных почв в общие запасы почвенного углерода в региональном масштабе [5]. Целью настоящей работы является сравнительная характеристика показателей пространственной

вариабельности запасов углерода в автоморфных и полугидроморфных лесных почвах европейской территории России на основе базы данных.

Объекты и методы. Для расчета запасов органического углерода почв и оценки показателей их пространственной вариабельности была использована информация из двух источников: базы данных «Органический углерод почв лесных экосистем европейской территории России» [3] и почвенно-географической базы данных России [1]. Первая специально была создана нами для сравнительной характеристики запасов органического вещества (ОВ) основных типов лесных почв в зависимости от факторов среды.

Сведения были собраны в единый массив, который включает характеристики 289 разрезов почв лесной зоны России. Из них 201 разрез характеризует автоморфные почвы и 88 разрезов – полугидроморфные почвы.

Автоморфные почвы представлены подзолами иллювиально-железистыми и иллювиально-гумусовыми (Albic Podzols), подзолистыми, дерново-подзолистыми и палево-подзолистыми почвами (Albic Retisols (Ochric)). Среди полугидроморфных почв чаще всего встречались подзолистые глееватые, торфяно-подзолисто-глеевые, дерново-подзолистые глееватые, дерново-подзолистые глеевые (Albic Gleyic Retisols (Ochric)), подзолы глееватые, подзолы глеевые иллювиально-железистые (Gleyic Albic Podzols). Названия почв приведены в соответствии с [2].

Вычисление запасов органического углерода в почвенных профилях проводилось по единой методике, с использованием данных об их мощности, содержании углерода и плотности. Для каждого профиля сначала рассчитывались запасы C_{org} погоризонтно, а затем формировались массивы данных по слоям почвы мощностью 0–30, 0–50 и 0–100 см, и отдельно для органогенной толщи.

Данные о мощности горизонтов получали из описаний разрезов. При определении содержания углерода в минеральных горизонтах почв по данным о содержании гумуса использовали коэффициент пересчета 0,58.

Оценить содержание углерода в органогенных горизонтах сложно из-за недостатка результатов прямых определений методом сухого сжигания и разнообразия органогенных горизонтов. Чаще встречаются данные о потере при прокаливании (ППП). Для использования этих данных применялся пересчет, предложенный Алексеевым и Бердси [4].

Существенную сложность в расчеты запасов органического углерода в почвах вносит отсутствие данных по плотности почв. Для решения этой задачи мы использовали педотрансферную функцию, предложенную Честных и Замолотчиковым [6], которая дает наиболее

точные оценки для минеральных горизонтов лесных почв европейской территории России. Для органогенных горизонтов были использованы усредненные значения плотности органогенных горизонтов, полученные по оценкам из собранного массива данных и экспертные оценки с учетом вида горизонта и типа экосистемы [5].

Результаты и обсуждение. Полученные данные свидетельствуют о высокой пространственной вариабельности запасов углерода в почвах лесных экосистем европейской территории России (табл. 1).

Таблица 1. Статистическая характеристика распределения запасов органического углерода в лесных почвах европейской территории России

| | Автоморфные почвы | | | | Полугидроморфные почвы | | | |
|---------------------------|--|---|--------|--------|--|---|--------|--------|
| | Мощность органо- генного горизонта (см) | Запасы органического С в почве, в слоях 30, 50 и 100 см (с учетом подстилки) (т С/га) | | | Мощность органо- генного горизонта (см) | Запасы органического С в почве, в слоях 30, 50 и 100 см (с учетом подстилки) (т С/га) | | |
| | | 30 | 50 | 100 | | 30 | 50 | 100 |
| Объем выборки | 201 | 201 | 201 | 201 | 88 | 88 | 88 | 88 |
| Среднее | 4,39 | 33,85 | 41,88 | 55,04 | 9,45 | 108,15 | 125,89 | 143,8 |
| Медиана | 4,00 | 30,66 | 38,21 | 51,07 | 6,50 | 93,93 | 104,74 | 116,7 |
| Станд. отклонение | 2,33 | 18,07 | 21,90 | 24,94 | 7,05 | 78,33 | 91,76 | 96,60 |
| Коэфф. вариации (%) | 53,14 | 53,36 | 52,31 | 45,32 | 74,50 | 72,43 | 72,89 | 67,16 |
| Минимум | 1,00 | 6,60 | 9,05 | 13,40 | 1,00 | 12,68 | 18,38 | 26,91 |
| Максимум | 14,00 | 120,21 | 158,23 | 180,44 | 35,00 | 290,49 | 401,00 | 479,1 |
| Нижний квартиль | 3,00 | 21,06 | 26,64 | 39,40 | 5,00 | 39,68 | 49,74 | 62,78 |
| Верхний квартиль | 6,00 | 43,33 | 52,50 | 67,83 | 12,50 | 166,23 | 187,77 | 203,4 |
| Нижний дециль | 2,00 | 15,64 | 19,80 | 28,84 | 3,00 | 23,93 | 28,52 | 41,22 |
| Верхний дециль | 7,00 | 53,94 | 66,38 | 81,27 | 20,00 | 244,20 | 255,29 | 279,05 |

Особенно высокой вариабельностью характеризуются полугидроморфные почвы. Диапазон значений для метровой толщи почв (с учетом подстилки) составляет для автоморфных и полугидроморфных почв соответственно 167 и 452 т С/га. О большей пространственной вариабельности запасов углерода в полугидроморфных почвах свидетельствуют более высокие значения стандартного отклонения и коэффициентов вариации. Наибольшей вариабельностью запасов углерода в лесных почвах характеризуется органогенный горизонт. В автоморфных почвах органогенный слой представлен подстилкой (О) и, в некоторых почвах, грубогумусовым горизонтом (АО). Средний запас углерода в этом слое составляет 10 т С/га. В полугидроморфных почвах средний запас углерода и стандартное отклонение выше примерно в 7 раз. Эти различия объясняются не только увеличением мощности органогенной толщи полугидроморфных почв, но и разнообразием слагающих ее горизонтов.

Выводы

Результаты проведенного анализа на основе собранной в базах данных информации позволили получить количественные оценки статистических показателей пространственной вариабельности запасов углерода лесных почв европейской территории России. Они убедительно свидетельствуют о влиянии влажности не только на запасы почвенного углерода, но и на их пространственную вариабельность в региональном масштабе. Наибольший вклад в общую вариабельность запасов углерода лесных почв разной степени увлажнения вносит органогенный горизонт.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121040800321-4 «Индикаторы трансформации биогеохимических циклов биогенных элементов в природных и антропогенных экосистемах»).

Список литературы

1. Информационная система. Почвенно-географическая база данных России [Электронный ресурс]. 2016. URL: <https://soil-db.ru>
2. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
3. Подвезенная М.А., Рыжова И.М., Кириллова Н.П. Органический углерод почв лесных экосистем европейской территории России // Программы для ЭВМ. Базы данных. Топологии интегральных микросхем. Официальный

- бюллетень Федеральной службы по интеллектуальной собственности (РОСПАТЕНТ). 2020. № 1. С. 2020620065.
4. Углерод в экосистемах лесов и болот России / под ред. В.А. Алексеева, Р.А. Бердси. Красноярск, 1994. 224 с.
 5. Чернова О.В., Рыжова И.М., Подвезенная М.А. Оценка запасов органического углерода лесных почв в региональном масштабе // Почвоведение. 2020. № 3. С. 340-350.
 6. Честных О.В., Замолодчиков Д.Г. Зависимость плотности почвенных горизонтов от глубины их залегания и содержания гумуса // Почвоведение. 2004. № 8. С. 937-944.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF MOISTURE CONTENT ON THE SPATIAL VARIABILITY OF CARBON STOCK IN FOREST SOILS OF EUROPEAN RUSSIA USING DATABASES

Ryzhova Irina, Podvezennaya Marina, Kirillova Nataliya

Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty
Moscow, Russia

E-mail: podvezennaya@yandex.ru

Abstract. The spatial variability of carbon stock in forest soils with various moisture contents was analyzed at a regional scale by materials of soil databases. The study showed that the soil carbon stocks and statistical characteristics of the spatial variability increase as the soil moisture content increases.

Keywords: databases, soil organic carbon stock, forest soils, moisture content, regional scale.

**РАЗЛИЧНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ НЕОДНОРОДНОСТИ
ПОЧВЕННЫХ СВОЙСТВ**

ФАКТОРЫ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

Басевич Виктор Францевич

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
факультет почвоведения, Москва, Россия

E-mail: basevictor@yandex.ru

Аннотация. Рассмотрены основные факторы неоднородности подзолистых почв. Сформулированы представления о первичной и вторичной неоднородностях, которые определяются в качестве универсального признака, проявляющегося на всех уровнях организации почвенного пространства и сформированного соответственно палео- и ценоотическими механизмами.

Ключевые слова: неоднородность почв, педотурбации.

Введение. Во многих почвенных исследованиях последних лет термин неоднородность почв используется как само собой разумеющееся и всем понятное определение, характеризующее одно из свойств, присущее различным почвенным телам. В то же время до сих пор не существует единообразия в использовании и трактовке термина «неоднородность» применительно к почвенным образованиям [9]. В практике почвоведения сложилось так, что под неоднородностью в большинстве случаев понимается возникшее в силу определенных причин какое-либо отличие от так называемого «типичного», подчас усредненного представления об изучаемом объекте. При этом можно утверждать, что наибольший интерес вызывают и требуют дальнейшего изучения неоднородности, которые формируются и развиваются в современных условиях почвообразования или возникли в недалеком обозримом прошлом, сопоставимом со скоростью почвообразовательных процессов. Такие неоднородности обязаны своим существованием современным факторам природного и антропогенного характера. В том или ином виде они присутствуют на обследуемых территориях, определяются линейными размерами в пределах единиц и десятков метров и могут проявляться на различных уровнях организации почвенного пространства.

Объекты и методы. В качестве непосредственного объекта исследований были выбраны неоднородности различного происхождения, сформированные в условиях подзолистого типа почвообразования. При выполнении работы были использованы *биогеоценотический* (зависимость характера и специфики развития почв

от принадлежности к конкретному биогеоценозу) и *эколого-генетический* (связь генетических особенностей почв с их местообитанием) подходы.

В качестве основного полевого метода исследований применялся профильно-катенный способ опробования (закладка традиционных разрезов и реже используемых в практике почвоведения траншей по параллельным и взаимно перпендикулярным линиям опробования с учетом геоморфологии). Для решения поставленных задач методические подходы включали, как комплексный подбор датированных природных объектов, так и привлечение данных полевого модельного опыта, имитирующего педотурбации разного генезиса и масштаба. Методологически выполненные исследования базировались на общей оценке неоднородности почв в последовательном ряду сменяющихся экосистем.

Арсенал используемых методов и подходов для изучения неоднородностей почв разного генезиса базировался на тех разработках и приемах, которые в свое время были предложены **Е.А. Дмитриевым** [2, 10, 13, 14, 15] и заслуживают отдельного рассмотрения, как с точки зрения обработки данных, так и их получения в полевых условиях.

Результаты и обсуждение. Выполненные исследования позволяют сделать ряд обобщений теоретического и практического значения. Прежде всего, необходимо заметить, что в предлагаемой вниманию работе точкой отсчета в отношении термина «неоднородность почв» и границ его применения является следующая позиция: неоднородность – есть объективно существующее универсальное свойство почвенных образований, проявляющееся на всех уровнях их организации. И в этом случае следует говорить об иерархической составляющей неоднородности. С другой стороны, характер различных неоднородностей почв зависит от конкретных условий возникновения (генезиса) и дальнейшего их развития, что определяет функциональную составляющую данного признака.

Среди основных причин, вызывающих и приводящих к неоднородности почв, в первую очередь необходимо назвать литогенный фактор, связанный с гетерогенностью почвообразующих пород и приводящий к унаследованной от них неоднородности почв, и педогенные, возникшие уже непосредственно в процессе почвообразования. Для *сформировавшихся* типов почв с устоявшимися признаками такие факторы в совокупности можно отнести к **палеомеханизмам** формирования неоднородности почв. Другими словами, эту неоднородность можно назвать *первичной* и трактовать ее в широком смысле слова. Причем принципиальным моментом следует признать факт, что эта

неоднородность есть продукт действия факторов почвообразования, стремящийся обрести относительно устойчивое равновесие с окружающей средой. Собственно классическое почвоведение с момента своего зарождения занимается изучением именно первичной неоднородности почв, вольно или невольно используя ее в качестве *инструмента* познания. С точки зрения *объекта* исследования наибольший интерес и необходимость изучения представляют неоднородности, обязанные своим существованием современным факторам природного (в том числе и педогенного) и антропогенного характера. Именно работы Дмитриева Е.А. [7, 8, 9, 11, 12] поставили неоднородность почв в ряд непосредственных объектов исследования и придали этому природному явлению особое звучание в контексте его изучения и осмысления.

Среди современных факторов неоднородности почв, прежде всего, следует выделить, как наиболее мощные и масштабные, эрозионные [4] и педотурбационные процессы различного происхождения [1, 2, 11], по-разному проявляющиеся в различных биогеоценозах и, прежде всего, в пространственной изменчивости почвенных свойств [16]. Нельзя также, в частности, не отметить роль микрорельефа как одного из значительных факторов формирования и поддержания неоднородности почв [5].

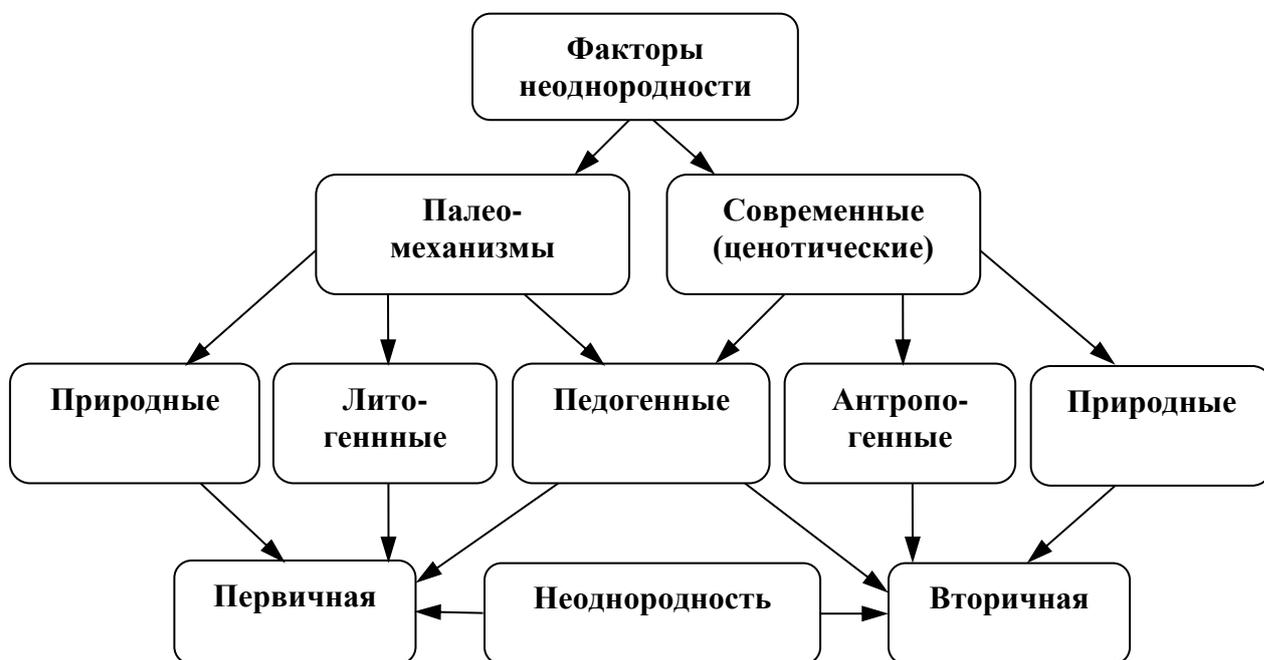


Рис.1. Схема факторов и причин первичной и вторичной неоднородности почв

Среди антропогенных факторов, безусловно, одним из ведущих является сельскохозяйственная деятельность человека [3, 4, 5, 6]. Действие всех этих факторов, в отличие от тех которые формируют

первичную неоднородность почв, направлено на выведение почвенной системы из состояния относительно устойчивого равновесия и создание неоднородности, которую можно назвать *вторичной* и трактовать ее как неоднородность в узком смысле этого слова. Соответственно, вторичная неоднородность почв обязана существованием **ценотическим механизмам** формирования. Еще одно замечание в связи со сказанным: если первичная неоднородность обусловлена действием естественных факторов, то вторичная – как естественных, так и антропогенных, а в отдельных случаях – это может быть результатом их взаимодействия.

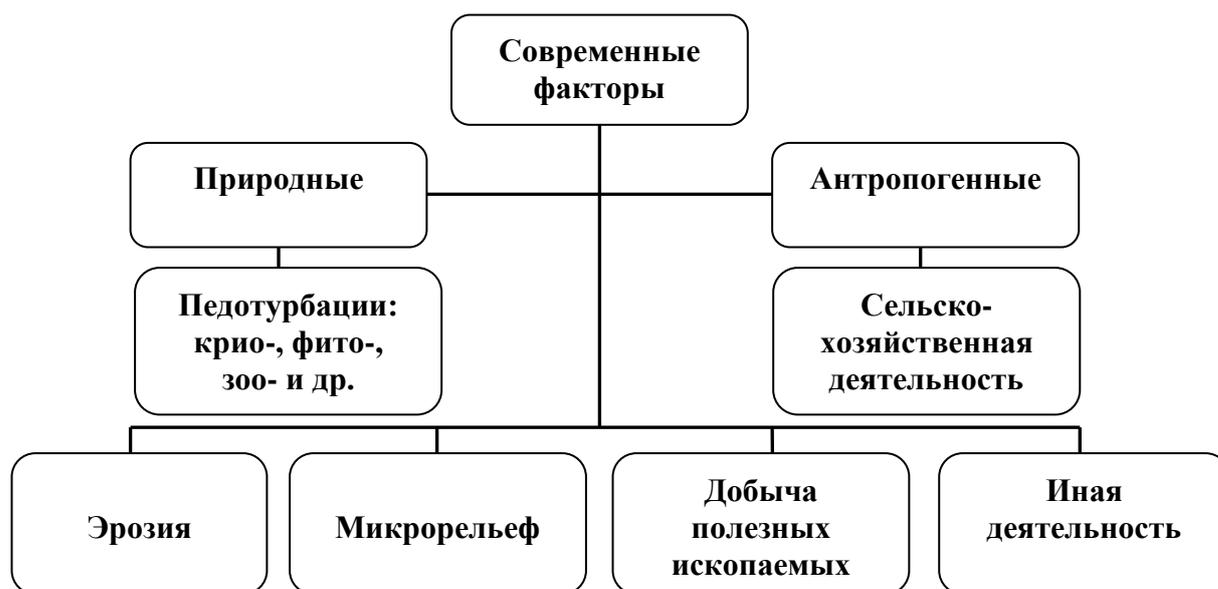


Рис. 2. Схема современных факторов и причин вторичной неоднородности почв

На рис. 1 представлена принципиальная схема факторов и причин, которые приводят к первичной и вторичной неоднородности почв. Представленные в работе обобщения и теоретические построения опираются как раз на изучении роли вторичных неоднородностей различного происхождения в современном развитии подзолистых почв. На рис. 2 представлена развернутая часть схемы факторов и причин неоднородности, касающаяся ее ценотической составляющей, которая действует на фоне современных почвообразовательных процессов.

Заключение

Имеющийся фактический материал позволяет сделать определенные обобщения методологического характера, которые дают возможность по-новому оценить развитие подзолистых почв на современном этапе и скорректировать взгляды на их общую эволюцию. Очевидно, что на протяжении всего времени своего развития подзолистые почвы лесной

зоны в обязательном порядке с определенной периодичностью проходят через турбогенную стадию почвообразования. Педотурбационные процессы разного генезиса и масштаба, ряд других антропогенных и природных факторов являются важнейшей причиной формирования в почвенном теле вторичных неоднородностей различного происхождения.

Необходимо признать, что объективно почвоведы всегда имели дело с неоднородностью почв и лишь субъективное стремление «разложить все по полочкам» создало предпосылки к «однородному» восприятию многочисленного ряда почвенных образов. Важно осознавать, что собственно однородность как понятие и реальность возникает в результате формализации наших представлений об объекте исследования, например, по ряду признаков или на определенном иерархическом уровне согласно выбранным критериям в рамках заданной совокупности и в дальнейшем принимается за некую норму. И уже как следствие появляющиеся несоответствия принятой норме могут трактоваться в качестве неоднородностей иного порядка. Тогда как именно неоднородность почв в широком и узком понимании этого слова является объективно существующим явлением и универсальным признаком любых почвенных образований. Поэтому однородность почв необходимо рассматривать как частный случай неоднородности, которая в зависимости от поставленных задач и целей исследования может быть как объектом, так и инструментом познания.

Список литературы

1. Абатуров Б.Д. Зоогенные формы почвенных неоднородностей // Масштабные эффекты при исследовании почв. М.: МГУ, 2001. С. 61-75.
2. Басевич В.Ф., Дмитриев Е.А. Влияние вывалов деревьев на почвенный покров // Почвоведение. 1979. № 9. С. 134-142.
3. Басевич В.Ф. К происхождению неоднородности подзолистых почв в агроценозе // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 1996. № 3. С. 54-63.
4. Басевич В.Ф., Макаров И.Б. Эрозионные процессы и гетерогенность пахотного горизонта дерново-подзолистых почв // Проблемы агрохимии и экологии. 2011. № 3. С. 53-57.
5. Басевич В.Ф. Неоднородность подзолистых почв в условиях агроценоза // Почвоведение. 1996. № 10. С. 1176-1185.
6. Басевич В.Ф., Тетенькин В.Л. Неоднородность подзолистых почв и пестрополье // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2010. № 2. С. 35-42.
7. Дмитриев Е.А. Глава из неоконченной книги «Неоднородность почвы» // Масштабные эффекты при исследовании почв. М.: МГУ. 2001. С. 8-39.

8. Дмитриев Е.А. Закономерности пространственной неоднородности состава и свойств почв: дисс ... докт. биол. наук в форме научного доклада. М.: МГУ, 1983. 52 с.
9. Дмитриев Е.А. К проблеме неоднородности почв и почвенного покрова // Биологические науки. 1988. № 12. С. 66-77.
10. Дмитриев Е.А., Биндюков В.Г. Хемографическое изучение распределений закисного железа в почвах // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 1981. № 4. С. 19-25.
11. Дмитриев Е.А., Карпачевский Л.О., Строганова М.Н., Шоба С.А. О происхождении неоднородности почвенного покрова в лесных биогеоценозах / Проблемы почвоведения. М.: Наука, 1978. С. 212-217.
12. Дмитриев Е.А. О почвенных границах и элементах организации почвы // Почвоведение. 1994. № 5. С. 5-13.
13. Дмитриев Е.А. Полевой почвенный пантограф // Почвоведение. 1977. № 9. С. 147-149.
14. Дмитриев Е.А., Самсонова В.П. Детальный анализ изменения некоторых физических свойств по профилю дерново-подзолистых почв // Вестник Моск. ун-та. Сер. VI. 1976. № 5. С. 42-46.
15. Дмитриев Е.А., Щеглов В.Н., Басевич В.Ф. Морфология движения впитывающейся во влажную почву влаги и определяющие ее факторы // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 1985. № 1. С. 31-36.
16. Самсонова В.П. Пространственная изменчивость почвенных свойств: на примере дерново-подзолистых почв. М.: ЛКИ, 2008 160 с.

FACTORS OF HETEROGENEITY OF PODZOLIC SOILS

Basevich Victor

Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty,
Moscow, Russia

E-mail: basevictor@yandex.ru

Abstract. The main factors of heterogeneity of podzolic soils are considered. The concepts of primary and secondary heterogeneities are formulated, which are defined as a universal feature that manifests itself at all levels of the organization of the soil space and is formed, respectively, by paleo- and cenotic mechanisms.

Keywords: heterogeneity of soils, pedoturbation.

ЗООТУРБАЦИИ ЧЕРНОЗЕМОВ И НЕОДНОРОДНОСТЬ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

*Белобров Виктор Петрович, Юдин Сергей Анатольевич,
Ермолаев Никита Романович*

Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, Россия

E-mail: belobrovvp@mail.ru

Аннотация. Полевые исследования в черноземных заповедниках России и на пашне показали, что перерытость черноземов землероями является одним из характерных диагностических признаков, характеризующих неоднородность структур почвенного покрова, вариабельность почвенных свойств и урожайность культур.

Ключевые слова: перерытость, землерои, вскипание, микрорельеф, гумус.

Введение. Перерытость (зоотурбированность) является характерной особенностью степных почв и, в первую очередь, черноземов. Это нашло отражение в классификации почв страны 1977 г., где они были выделены как карбонатные перерытые [3, с. 96], отличающиеся высоким вскипанием, кротовинами, рыхлым и неоднородным сложением профиля. В более поздней субстантивно-генетической классификации почв 2004 г. [4], карбонатные перерытые черноземы не были выделены ни на одном из таксономических уровней, утратив родовой признак. Вместе с тем они никуда не исчезли и представлены в качестве самостоятельных ареалов (ЭПА) во всех подтипах черноземов, формируясь исключительно на карбонатных, рыхлых, тяжело-суглинисто-глинистых лессах и лессовидных породах в разных по климатическим особенностям регионах России.

Распаханность территорий фактически депонировала визуальную идентификацию перерытых черноземов, которая в целинных условиях дешифрируется по наличию специфического микрорельефа в виде холмиков, состоящих из материала горизонта А1 [1, 5, 6]. Наличие зоотурбаций на пахотных участках черноземов можно оценить только по описанию разрезов и буровых скважин обычно при проведении детального картирования почв [2].

Цель работы – показать роль перерытых черноземов в формировании неоднородного по составу почвенного покрова, воздействие на

агрохимические и агрофизические свойства почв на примере научно-производственного опыта по минимизации обработок и применению в земледелии прямого посева (no-till).

Объекты и методы. В качестве объектов, на плакоре с уклоном $\sim 1^{\circ}$ был выбран участок площадью 10 га, на котором были заложены 4 поля размером 2,4 га каждое, разделенные на 4 делянки (варианта) по 0,6 га (100м x 60 м), характеризующие различные агротехнологии: вспашка с оборотом пласта, комбинированная обработка (дискование+чизель), минимальная поверхностная обработка (дискование) и прямой посев, в при котором обработка не применяется (рис. 1 и 2).

Детальная почвенная съемка велась в масштабе 1:2500 ручным буром до горизонта ВСа. Во всех скважинах описаны основные морфометрические параметры черноземов (мощность горизонтов А1 и А1+АВ, глубина вскипания от 10% НС1) и особенности морфологических свойств (перерытость профиля землероями, характер вскипания, наличие кротовин в гумусовых горизонтах и Вса и др.).



Рис. 1. Поля обозначены цифрами

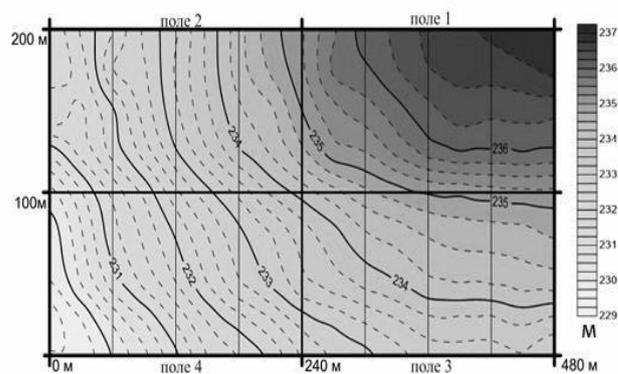


Рис. 2. Рельеф полей (основные горизонталы проведены через 1 м)

Снято БПЛА с высоты 100 м (август 2020 г.)

Результаты и обсуждение. Почвенный фон полей представлен типичными черноземами – 82% (табл. 1). Перерытые и выщелоченные черноземы занимают подчиненное положение в структуре почвенного покрова (СПП), 12% и 6% соответственно. Почвенная карта (рис. 3) отражает неоднородность почвенного покрова полей на региональном уровне, который характеризует мезоструктуры (комбинации типов, подтипов, родов и видов почв).

Таблица 1. Типичные, выщелоченные и перерытые черноземы полей, (%)

| № поля | Типичные | Перерытые | Выщелоченные |
|---------|----------|-----------|--------------|
| 1 | 95,5 | 1,7 | 2,8 |
| 2 | 70,2 | 23,0 | 6,8 |
| 3 | 88,2 | 6,5 | 5,3 |
| 4 | 74,0 | 17,1 | 8,9 |
| Среднее | 82,0 | 12,0 | 6,0 |

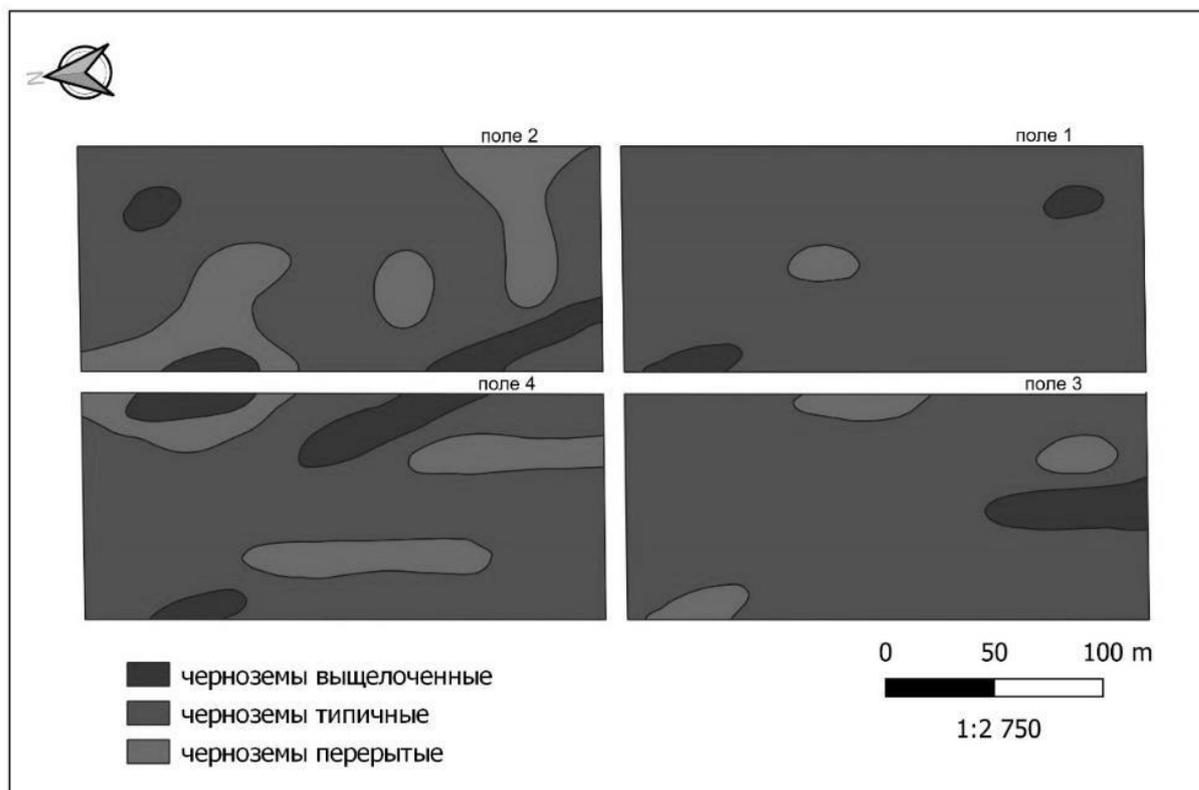


Рис. 3. Почвенные карты полей

В СПП полей доминируют два вида черноземов: среднемощные и среднекарбонатные, занимающие соответственно 75,7 и 57,4 процентов от общей обследованной площади (табл. 2). Дифференциация по мощности гумусового горизонта и карбонатности максимально выражена на поле 2, где маломощные и высоко карбонатные черноземы, занимающие соответственно 40 и 25,3 %, характеризуют перерытые черноземы.

Зоогенное перераспределение карбонатов и органического вещества в вертикальном профиле черноземов сказывается на водном режиме почв, отражается на вариабельности морфометрических параметров и в целом формирует СПП с более неоднородным почвенным покровом.

Таблица 2. Виды черноземов по мощности гумусового горизонта и карбонатности, %

| Поля | Черноземы – Ч* | | | | | | |
|---------|-------------------------------|------|------|--|------|------|------|
| | Мощность гумусового горизонта | | | Карбонатность (степень выщелоченности) | | | |
| | Чмм | Чсм | Чм | Чк | Чвк | Чск | Чгк |
| 1 | 9,3 | 78,0 | 12,7 | - | 6,2 | 62,5 | 31,3 |
| 2 | 40,0 | 60,0 | - | 1,0 | 25,3 | 43,3 | 30,4 |
| 3 | 1,5 | 78,9 | 19,6 | - | 3,8 | 65,8 | 30,4 |
| 4 | 0,5 | 85,7 | 13,8 | - | 9,0 | 58,1 | 32,9 |
| Среднее | 12,8 | 75,7 | 11,5 | 0,3 | 11,1 | 57,4 | 31,2 |

* мм – маломощные, см – среднемощные, м – мощные, к – карбонатные, вк – высоко карбонатные, ск – средне карбонатные, гк – глубоко карбонатные.

Агрохимические свойства черноземов – чрезвычайно мобильные показатели в пространстве и во времени. Постановка многолетнего полевого научно-производственного опыта для чистоты эксперимента предусматривает выбор территории максимально однородной по составу почвенного покрова, морфологическим, агрохимическим и физическим свойствам почв. Естественная пестрота почв в процессе агрогенеза (традиционной обработки почв вспашкой) обычно нивелируется, в основном на глубину вспашки [2]. Агрочерноземы при этом частично теряют природное разнообразие в поверхностном гумусовом горизонте, но сохраняют естественную неоднородность в подпахотных.

Средние показатели агрохимических свойств полей по слоям 0-10 и 10-20 см до начала опыта показали близкие результаты, что подтверждает исходную агрогенную однородность поверхностного слоя гумусового горизонта черноземов, связанную с длительным применением вспашки с оборотом пласта.

В тоже время, рассматривая вариабельность агрохимических свойств отдельно по опытным полям, видны определенные различия, обусловленные главным образом СПП. После первой ротации вариабельность агрохимических параметров черноземов усилилась в связи с различиями в технологиях обработки почв. Содержание гумуса в слое 0-10 и 10-20 см возросло соответственно на 0,53 и 0,46%, т.е. в среднем на 0,12% в год. Причем эта прибавка статистически значима и в основном связана с ростом содержания гумуса в черноземах на поле 2, где зоогенное перераспределение органического вещества и карбонатов

является в СПП внутренним фактором, определяющим вариабельность содержания гумуса во времени.

При вспашке фоновое содержание подвижных фосфора и калия в черноземах полей варьирует в результате неоднородного компонентного состава СПП. После ротации содержание подвижных фосфора и калия снизилось в среднем на одну градацию по обеспеченности почв, причем на поле 2, в варианте прямого посева, напротив, отмечается увеличение содержания этих элементов в слое 0-10 см. Таким образом, смена традиционной технологии на прямой посев, приводит к усилению варьирования агрохимических показателей в пахотном слое, адаптируя его к компонентам СПП на фоне тренда климатических параметров.

Заключение. До начала опыта пестрота агрохимических показателей черноземов на полях обусловлена гомогенизацией поверхностного 0-20 см слоя черноземов и компонентным составом СПП полей. Со сменой технологии на прямой посев неоднородность в целом меняется. В отличие от типичных, перерытые черноземы поля 2 реагируют на изменение технологии иначе, существенно усиливая неоднородность агрохимических параметров почв.

Смена технологии на прямой посев, адаптированный к природным условиям, решает несколько фундаментальных задач земледелия: 1) снижение деградации по продуктивным свойствам почв; 2) обеспечение почвозащитного противозерозионного эффекта за счет растительных остатков на поверхности почв; 3) повышение урожайности культур; 4) адаптации к регионально-провинциальным особенностям почвенного покрова на фоне вариабельности климатических параметров.

Список литературы

1. Белобров В.П., Воронин А.Я., Баранцев П.Е., Леонова Н.А., Добролюбов А.Н. Государственный заповедник «Приволжская лесостепь» // Почвы заповедников и национальных парков Российской Федерации. М.: НИИ-Природа Фонд «Инфосфера», 2012. С. 226–229.
2. Белобров В.П., Айдиев А.Ю., Юдин С.А., Ермолаев Н.Р., Дмитриева В.Т. Вариабельность агрохимических свойств типичных черноземов в многолетнем полевом опыте // Черноземы Центральной России: генезис, эволюция и проблемы рационального использования. Воронеж, 2017. С. 181-185.
3. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 224 с.

4. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
5. Фридланд, В.М. Белобров В.П., Дайнеко Е.К. Опыт статистического анализа морфологических свойств черноземов целинной степи // Почвоведение. 1969. № 4. С. 12-24.
6. Целищева Л.К., Дайнеко Е.К. Очерк почв Стрелецкого участка Центрально-Черноземного заповедника // Труды ЦЧГЗ им. В.В. Алехина. Вып. X. Изд-во: Лесная промышленность, 1967. С. 154–186.

ZOOTURBATION OF CHERNOZEMS AND HETEROGENEITY OF SOIL COVER

Belobrov Victor, Yudin Sergey, Ermolaev Nikita

Soil Institute named after V.V. Dokuchaev, Moscow, Russia

E-mail: belobrovvp@mail.ru

Abstract. Field studies in the chernozem reserves of Russia and on arable land have shown that the overburdening of chernozems by earthmoving is one of the characteristic diagnostic features characterizing the heterogeneity of the soil cover structures, the variability of soil properties and crop yield.

Keywords: digging, animals that dig the soil, boling, microrelief, humus

УДК 631.4

УЧАСТИЕ ПОЧВЕННЫХ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ ЖИВОТНЫХ – ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ МАКРОФАУНЫ В СОЗДАНИИ И ПОДДЕРЖАНИИ НЕОДНОРОДНОСТИ ПОЧВЕННЫХ СВОЙСТВ

Рахлеева Анна Алексеевна

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
факультет почвоведения, Москва, Россия
E-mail: a.rakhleeva@gmail.com

Аннотация. Представлен обзор исследований, касающихся влияния почвенных беспозвоночных животных размерного класса макрофауна на процессы создания и поддержания неоднородности почвенных свойств. Отмечено серьезное значение жизнедеятельности ключевых групп крупных беспозвоночных животных, таких как дождевые черви, многоножки, мокрицы, муравьи, многоножки в проявлении неоднородности физических, химических, микробиологических параметров почв.

Ключевые слова: почвенная макрофауна, копролиты, дрилосфера

Не вызывает сомнения, что почвенная фауна, достигая в почвах высоких значений численности и биомассы, особенно в верхней части почвенного профиля, активно формирует неоднородность почвенных свойств. Серьезный вклад в этот процесс вносят беспозвоночные животные – представители макрофауны (использована международная классификация размерных групп почвенных беспозвоночных [6]), чьи размеры по ширине тела превышают 2 мм.

Реализация основных жизненных функций животного организма в почвенной среде (питание, размножение, расселение) связана с необходимостью активного передвижения и ориентации в почве. Жизнедеятельность крупных беспозвоночных оказывает большое влияние на пространственную организацию органического и минерального материала почвы, на формирование неоднородности почвенных свойств. С конца XX века и в нашей стране, и за рубежом развернулись работы по оценке вклада отдельных групп и видов беспозвоночных животных в формирование, поддержание и динамику почвенных свойств. Вначале они имели описательный характер, но в настоящее время проводятся с привлечением арсенала методов почвоведения, почвенной зоологии и микробиологии, а также с использованием возможностей статистического анализа.

Количественная оценка результатов жизнедеятельности почвенных беспозвоночных связана с определенными техническими трудностями.

Необходимы особые нестандартные методические приемы для получения экспериментального материала. Вместе с тем, к настоящему времени в нашей стране, в частности, благодаря исследованиям сотрудников факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова, а также института проблем экологии и эволюции РАН им. А.Н. Северцова, накоплен существенный фактический материал, проверенный методами математической статистики, который демонстрирует активное участие различных представителей почвенной макрофауны в формировании почвенной неоднородности.

Безусловно, ключевую роль для многих типов почв играют дождевые черви, которых справедливо называют «экосистемными инженерами». Постоянная локомоторная и трофическая активность люмбрицид влияет на физические, химические и биологические показатели почв [3, 8, 9, 10, 11, 12, 13 и др.]. Потребляя растительные остатки и пропуская их через свой кишечник, дождевые черви механически измельчают растительные ткани, что во много раз увеличивает доступность органических субстратов для микроорганизмов. В копролитах дождевых червей отмечается повышенная подвижность биогенных элементов, прежде всего азота. Причем, отмечено, что чем выше степень измельчения растительных остатков, тем выше доля подвижного азота [12]. Копролиты отличаются высокой плотностью [11]. Внутри копролитов формируется система накопительных пор с диаметром около 1 мкм. Снаружи копролиты имеют защитный глинистый слой толщиной в 25 мкм, препятствующий проникновению внутрь воды и воздуха, что позволяет поддерживать внутри этих агрегатов высокую влажность и частичную анаэробность, аналогично кишечнику животных (что важно для микроорганизмов). Общая гидрофизическая характеристика копролитов статистически значимо отличается от аналогичных характеристик вмещающего почвенного материала в сторону увеличения водоудерживающей способности [8].

Серьезное значение для формирования почвенной неоднородности как выяснилось, имеют стенки ходов и нор дождевых червей. На примере представителя морфо-экологической группы норников дождевого червя вида *Lumbricus terrestris* было показано, что стенки нор – дрилосфера (слой почвы толщиной 4-5 мм, прилегающий к просвету норы) существенно отличаются по химическому составу от вмещающей почвы. В них содержится в 3-7 раз больше органического вещества, чем в интактной почве соответствующего горизонта, больше доля органического вещества, не связанного с минеральной частью почвы (детрита) - 20-40% против 5-18 в контрольной почве, ниже степень гумификации органики - 23-25% против 37- 48% в почве. В стенках нор

повышено содержание минеральных форм азота и фосфора, однако, доступность этих элементов для микроорганизмов не выше, чем в интактной почве [12]. Биомасса микроорганизмов в несколько раз выше в стенках нор, чем в контрольной почве. Микроорганизмы в этой зоне более активны, чем в интактной почве, и быстрее реагируют на увеличение доступности ресурсов. Стенки нор — весьма стабильные местообитания. Даже при удалении червя из норы основные показатели микробной активности мало меняются в течение длительного времени. Кроме того, в стенках нор дождевых червей отмечается перестройка таксономической структуры микробных сообществ [5, 13].

Помимо дождевых червей большое значение для формирования почвенной неоднородности при достижении высокой плотности в почвах могут иметь мокрицы, двупарноногие многоножки - диплоподы, личинки жесткокрылых и двукрылых [1, 2, 7, 10 и др.]. А такие облигатные представители почвенной макрофауны умеренной зоны, как муравьи оказывают влияние не только на физические свойства почв [14], но и на пространственную неоднородность свойств почв на уровне почвенного покрова [4].

Благодарности

Работа подготовлена в рамках Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова "Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды".

Список литературы

1. Гиляров М.С. Зоологический метод диагностики почв. М.: Наука, 1965. 276 с.
2. Гиляров М.С. Роль почвенных животных в формировании гумусового слоя почвы // Успехи современной биологии. 1951. Т. XXXI. Вып. 2. С. 161-169.
3. Костина Н.В., Богданова Т.В., Умаров М.М. Биологическая активность копролитов дождевых червей // Вест. Моск. Ун-та. Сер. 17 Почвоведение. 2011. № 1. С. 20-26.
4. Кротов Д.Г., Самсонова В.П. Роль муравейников в формировании пространственной неоднородности почвенного покрова // Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны: тезисы докладов VII съезда Общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Издательский дом «Белгород», 2016. С. 263-264.
5. Полянская Л.М., Тиунов А.В. Заселенность микроорганизмами стенок нор дождевых червей *Lumbricus terrestris* L // Микробиология. 1996. № 65. С. 99-101.
6. Потапов М.Б., Кузнецова Н.А. Методы исследования сообществ микроартропод: пособие для студентов и аспирантов. М.: Т-во научных изданий КМК, 2011. 84 с.

7. Самойлова Е.С., Костина Н.В., Стриганова Б.Р. Влияние жизнедеятельности почвообитающих личинок насекомых на микробные процессы в почве // Известия РАН, сер. биол. 2015. № 6. С. 653-660.
8. Смагин А.В., Прусак А.В. Влияние копролитов дождевых червей на основную гидрофизическую характеристику почв // Почвоведение. 2008. № 6. С. 704-709.
9. Стриганова Б.Р. Питание почвенных сапрофагов. М.: Наука, 1980. 244 с.
10. Стриганова Б.Р. Экспериментальная оценка влияния трофической активности животных на динамику аминокислот в почве // Известия РАН, сер. биол. 1997. № 6. С. 717-723.
11. Стриганова Б.Р. Локомоторная и трофическая активность почвообитающих беспозвоночных как фактор формирования почвенной структуры // Почвоведение. 2000. № 10. С. 1247-1254.
12. Тиунов А.В. Метабиоз в почвенной системе: влияние дождевых червей на структуру и функционирование почвенной биоты: автореф. дис. докт. биол. наук. Москва. ИПЭЭ РАН. 2007. 44 с.
13. Тиунов А.В., Добровольская Т.Г., Полянская Л.М. Микробные комплексы в стенках жилых и покинутых нор дождевых червей *Lumbricus terrestris* L. // Почвоведение. 2001. № 5. С. 594-599.
14. Golichenkov M.V., Maksimova I.A., Zakalyukina Yu.V., Dymova A.A., Churilina A.E., Kiryushin A.V. Ants' nesting activity as a factor of changes in soil physical properties // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. [Bristol, UK], England. T. 368. P. 1-5.

**ARTICIPATION OF SOIL INVERTEBRATES –
REPRESENTATIVES OF MACROFAUNA IN THE CREATION
AND MAINTENANCE OF HETEROGENEITY
OF SOIL PROPERTIES**

Rakhleeva Anna

Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty,
Moscow, Russia

E-mail: a.rakhleeva@gmail.com

Abstract. A review of studies concerning the influence of soil invertebrates of the macrofauna size class on the processes of creating and maintaining heterogeneity of soil properties is presented. The importance of vital activity of key groups of large invertebrates, such as earthworms, millipedes, woodlice, ants, millipedes in the manifestation of heterogeneity of physical, chemical, microbiological parameters of soils, is noted.

Keywords: soil macrofauna, coprolites, dryosphere

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ
ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА
ПАЛЕОКРИОГЕННЫХ ПОЧВ**

*Поляков Дмитрий Геннадьевич¹, Рябуха Анна Геннадьевна¹,
Ковда Ирина Викторовна², Архангельская Татьяна Александровна³*

¹ Институт степи УрО РАН, Оренбург, Россия

² Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, Россия

³ МГУ им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва, Россия

E-mail: polakovdg@yandex.ru

Аннотация. Изучен гранулометрический состав палеокриогенных почв, сформированных на меловых ландшафтах. Почвы характеризуются высокой пространственной неоднородностью гранулометрического состава. Неоднородность имеет закономерный характер и является следствием палеокриогенных процессов.

Ключевые слова: криотурбации, кластерный анализ, меловые ландшафты.

Введение. В современном почвенном покрове разных регионов выявлено значительное количество палеокриогенных почв, наследующих черты неоднородности и комплексности криогенного почвенного покрова позднего плейстоцена [1, 2, 5]. В своей последней работе Е.А. Дмитриев высказал предположение, что особенности строения комплексного почвенного покрова Владимирского ополья определяются ныне действующими процессами, которые функционируют уже не одну тысячу лет и могли быть запущены при участии палеокриорельефа [3]. В связи с этим актуальной является задача изучения закономерностей неоднородности палеокриогенных почв.

Цель работы – исследование пространственной неоднородности гранулометрического состава почв палеокриогенного почвенного комплекса.

Объекты и методы. Исследованы почвы меловых полигонов, имеющих комплекс палеокриогенных признаков [4], около с. Новопавловка Акбулакского района Оренбургской области (51°08'10" N, 55°37'16" E). Район работ расположен в пределах Подуральяского плато, сложенного меловыми отложениями.

Климат континентальный (среднегодовая температура воздуха около 4°C) с холодной малоснежной зимой, значительным преобладанием испаряемости (800–900 мм) над осадками (260–390 мм).

Диагностика горизонтов и почвы выполнена в соответствии с WRB (2015).

В исследуемых почвах отчетливо выделяются три основных слоя: темно серые и серые гумусированные горизонты (A); буровато-палевая криотурбированная толща (AC @); белая турбированная меловая толща подстилающих пород, проникающая на дневную поверхность в виде изогнутых интрузий (R'@) (рис. 1).

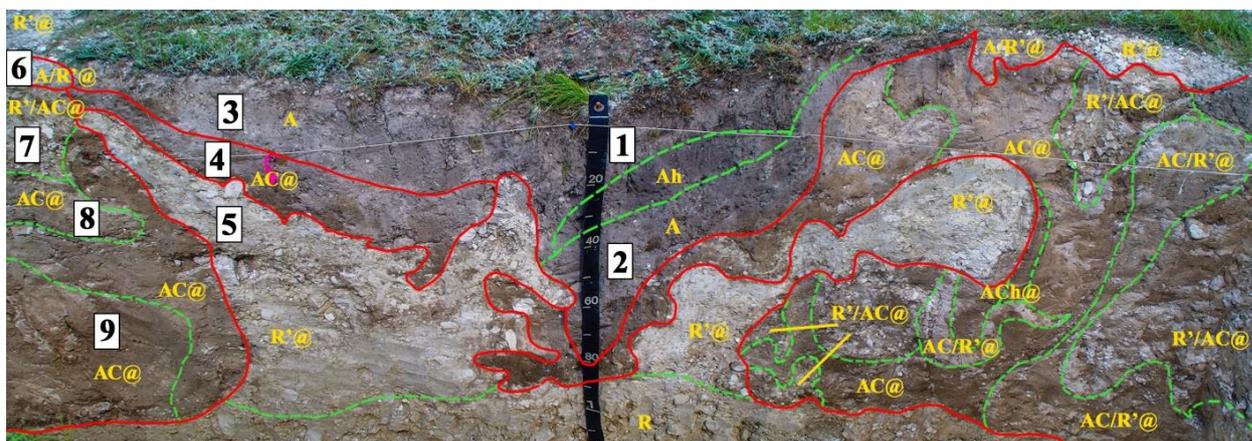


Рис. 1. Строение почв меловых полигонов с указанием мест отбора образцов

Образцы для лабораторных исследований отбирали из представительных горизонтов и морфонов почв по элементам микрорельефа: №№ 1 и 2 в микропонижении, 3-5 – микросклоне и 6-9 – микроповышении (рис. 1). Гранулометрический состав определяли методом просеивания, после чего фракцию мелкозема анализировали пипет-методом [6]. Кластерный анализ проведен с использованием программы Statistica 10.0.

Результаты и обсуждение. Почвы комплекса характеризуются высокой пространственной вариабельностью гранулометрического состава, в основном за счет изменения доли крупнозема и физической глины при низком содержании песчаной фракции (табл. 1).

По содержанию крупнозема горизонты разделяются на 3 группы в соответствии с классификацией Н.А. Качинского: слабокаменистые (0,5–5%), среднекаменистые (5–10%) и сильнокаменистые (более 10%). Сильнокаменистой является криотурбированная белая меловая толща, выходящая пятнами на дневную поверхность, а также гумусовый горизонт микросклона, находящийся в транзитном положении микрокатенарного сопряжения микроповышение – микросклон – микропонижение. Среднекаменистой является верхняя часть гумусового горизонта микрозападины; слабокаменистыми – криотурбированные

почвенные горизонты AC@, а также нижняя часть гумусового горизонта микрозападины.

Таблица 1. Гранулометрический состав почв меловых полигонов. Номера в таблице соответствуют номерам образцов, указанных на рис. 1

| № | Горизонт | Глубина, см | Размер частиц, мм | | | | | | | | | | |
|---|----------|-------------|-------------------|------|-----|-----|-----|----------|-----------|-----------|------------|-------------|--------|
| | | | >10 | 7-10 | 5-7 | 3-5 | 1-3 | 1,0-0,25 | 0,25-0,05 | 0,05-0,01 | 0,01-0,005 | 0,005-0,001 | <0,001 |
| 1 | A | 5-15 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 8 | 21 | 11 | 36 | 17 |
| 2 | A | 43-53 | 2 | 1 | 1 | | 1 | 1 | 3 | 18 | 9 | 36 | 28 |
| 3 | A | 3-13 | 7 | 3 | 2 | 3 | 2 | 1 | 7 | 14 | 9 | 36 | 16 |
| 4 | AC@ | 15-25 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 4 | 18 | 14 | 37 | 22 |
| 5 | R'@ | 35-45 | 22 | 4 | 2 | 1 | 3 | | 8 | 7 | 6 | 36 | 11 |
| 6 | R'@ | 0-10 | 46 | 4 | 2 | 2 | 2 | 1 | 2 | 8 | 2 | 23 | 8 |
| 7 | R'/AC@ | 10-20 | 5 | 2 | 1 | 2 | 2 | 1 | 6 | 2 | 12 | 49 | 18 |
| 8 | AC@ | 40-50 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 6 | 12 | 13 | 46 | 19 |
| 9 | AC@ | 57-67 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 2 | 14 | 8 | 54 | 18 |

По содержанию физической глины также формируются 3 группы: легкие и средние пылеватые глины с наибольшей долей физической глины 73–80%, характерные для криотурбированных горизонтов AC@; легкие пылеватые глины с чуть меньшим содержанием физической глины 61–63% характерны для верхней части гумусовых горизонтов A; внедрения подстилающего мела R'@ и его выходы на поверхность с широким диапазоном содержания физической глины от 33 до 53%, что соответствует средним и тяжелым суглинкам.

Кластерный анализ совокупного гранулометрического состава показал, что образцы группируются в 4 кластера (рис. 2). Первый кластер состоит из образцов № 1-4 отобранных из горизонтов A и AC@ прогумусированной массы, располагающейся над меловыми интрузиями. Второй – образцы 7-9, отобранные из горизонтов AC@ палевой толщи под меловым пятном в центре микроповышения и ограниченной сверху меловыми пятнами и интрузиями. Третий – включает меловую интрузию состоит из образца № 5 отобранного из меловой интрузии R'@. Четвертый – образец № 6, представляющий поверхность мелового пятна (выход меловой интрузии на поверхность).

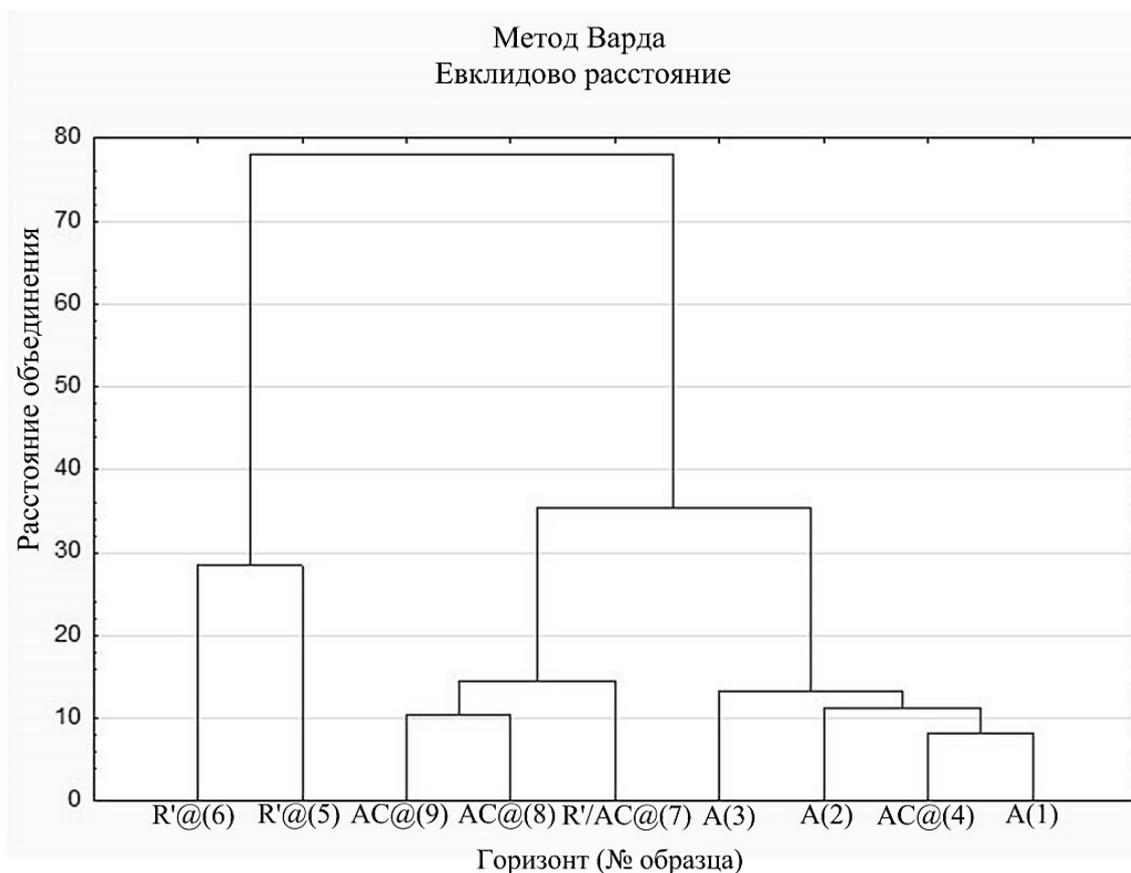


Рис. 2. Результаты кластерного анализа исследуемых горизонтов.

Приведенные данные показывают не только пространственную неоднородность исследуемых почв по гранулометрическому составу, но и определенные закономерности ее формирования. Выше отмечалось, что данный почвенный комплекс сложен материалом трех типов (рис. 1), однако кластерный анализ гранулометрического состава несколько дополнил имеющуюся картину. Так, по гранулометрическому составу четко выделяется прогумусированная масса первого кластера. В него входят не только темноокрашенные гумусовые горизонты А (образцы 1, 2, 3), но и переходный горизонт АС@ (образец 4), располагающийся над интрузией. Можно предположить, что материал всего пространства над интрузиями относится к клиновидной грунтовой жиле, характерной для палеокриогенных почв, большая часть которой проработана процессами современного почвообразования по зональному типу. Также четко выделяется материал буровато-палевой криотурбированной толщи второго кластера (образцы 7, 8, 9), в который не проникли меловые интрузии. Он располагается под меловым пятном в центре микроповышения и является реликтом сезонно-талого слоя без признаков современного зонального почвообразования, так как отсечен от дневной поверхности меловым материалом и практически не содержит органического углерода. Меловой материал интрузии и

мелового пятна, морфологически явно выделяющийся на общем фоне, по своему составу неоднороден в связи с эрозионными процессами на микроповышении, в результате которых в гранулометрическом составе мелового пятна значительно повышается доля крупнозема. Об этом также свидетельствует повышение доли крупнозема в гранулометрическом составе верхних горизонтов подчиненных позиций микрокатенарного сопряжения (табл. 1).

Существенную роль в формировании неоднородности исследуемых почв по гранулометрическому составу имеют проявления реликтовых криогенных процессов. Во-первых – это палеокриотурбации в виде интрузивных внедрений нижнего слоя, насыщенного крупноземом в верхний, практически не содержащий крупнозема. Как отмечалось, при выходе на поверхность интрузии формировали меловое пятно, которое в последующем подвергалось эрозии, теряя часть мелкозема, обогащаясь крупноземом, который также эродировался в подчиненные элементы микрорельефа. Во-вторых – это морозобойное растрескивание, приводящее к формированию полигональных грунтовых жил, которые заполнялись материалом, несколько отличающимся по составу от вмещающих пород.

Заключение. Проведенное исследование показывает, что пространственная неоднородность гранулометрического состава исследованных почв имеет закономерный характер, унаследованный от палеокриогенных процессов, на который накладываются особенности современного почвообразования, связанные с наличием микрорельефа.

Пространственная неоднородность гранулометрического состава современных почв степной зоны, располагающихся в пределах палеокриолитозоны позднего плейстоцена, может быть следствием палеокриогенных процессов.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке НИР Института степи УрО РАН № АААА-А21-121011190016-1, Почвенного института им. В.В. Докучаева № АААА-А19-119081690029-4 и грантов РФФИ №№ 19-04-01298 и 20-05-00556. Авторы выражают признательность Початковой Т.Н. за помощь в проведении анализа гранулометрического состава почв.

Список литературы

1. Алифанов В.М., Гугалинская Л.А., Овчинников А.Ю. Палеокриогенез и разнообразие почв центра Восточно-Европейской равнины. М.: ГЕОС. 2010. 160 с.

2. Величко А.А., Морозова Т.Д., Нечаев В.П., Порожнякова О.М. Палеокриогенез, почвенный покров и земледелие. М: Наука. 1996. 145 с.
3. Дмитриев Е.А. К генезису почв и почвенного покрова Владимирского ополья вблизи Суздаля // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2000. № 1. С. 3-9.
4. Ковда И.В., Рябуха А.Г., Поляков Д.Г., Левыкин С.В., Петрищев В.П., Яковлев И.Г., Норейка С.Ю., Ряхов Р.В. Криогенные признаки в почвах меловых полигонов Оренбургской области // Почвы в биосфере. Томск, 2018. С. 37-41.
5. Овчинников А.Ю., Алифанов В.М., Худяков О.И. Влияние палеокриогенеза на формирование серых лесных почв центральной России // Почвоведение. 2020. № 10. С. 1170-1181. DOI: 10.31857/S0032180X20100147.
6. Шейн Е.В., Архангельская Т.А., Гончаров В.М., Губер А.К., Початкова Т.Н., Сидорова М.А., Смагин А.В., Умарова А.Б. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв. М.: Изд-во Моск. ун-та. 2001. 200 с.

SPATIAL HETEROGENEITY OF TEXTURE IN PALEOCRYOGENIC SOILS

*Polyakov Dmitry¹, Ryabukha Anna¹, Kovda Irina²,
Arkhangelskaya Tatiana³*

¹ Institute of Steppe, Ural Branch of Russian Academy of Sciences,
Orenburg, Russia

² Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia

³ Moscow State University, Faculty of Soil Sciences, Moscow, Russia
E-mail: polakovdg@yandex.ru

Abstract. The soil texture was studied for paleocryogenic soils formed on limestone. The soils are characterized by a high spatial heterogeneity of soil texture. The heterogeneity is regular and is a consequence of paleocryogenic processes.

Keywords: cryoturbations, cluster analysis, limestone.

**АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ
ПОЧВ ДОЛИНЫ ВЕРХНЕЙ ОКИ
ПРИ ИНТЕНСИВНОМ С/Х ИСПОЛЬЗОВАНИИ**

Снег Анна Арнольдовна, Балабко Петр Николаевич

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
факультет почвоведения, Москва, Россия
E-mail: sneg_anna@mail.ru

Аннотация. Приведены результаты исследований свойств аллювиальных почв и почвенного покрова при интенсивном сельскохозяйственном использовании.

Ключевые слова: аллювиальные почвы, интенсивное использование.

Введение. Территория исследований используется в сельскохозяйственном производстве с 60-х гг. XX в. С 2003 г. начато выращивание овощей (свеклы, моркови, капусты) и картофеля по голландской технологии земледелия. Такая технология предусматривает внесение высоких доз минеральных удобрений, орошение дождеванием. Число проходов техники за вегетационный сезон достигает 20 и более. В результате изменяются свойства почв.

Объекты и методы. Исследования проводили в 2002–2020 гг. на участке правобережной поймы р. Оки (площадь около 400 га), являющемся частью территории землепользования ОАО «Агрофирма Сосновка». Изучен участок сегментно-гравистой поймы, территория которого в 60-е гг. XX века была подвергнута работам по планировке поверхности. Территория разделена дорогами на 5 секций (рис. 1), каждая из которых содержит от 8 до 15 «карт» (участков поля, занятых той или иной культурой). На рисунке 1 приведена схема 2015 г.

Результаты и обсуждение. Разрезами вскрыты следующие почвы (названия даны по [3], [2]):

- аллювиальные агротемногумусовые (аллювиальные дерновые насыщенные), сформировавшиеся в условиях прирусловой поймы (рис. 1, карты 42-50 и 53-58). Они характеризуются слабощелочной реакцией среды ($pH_{\text{водн}}$ 7,2–7,8); среднее содержание гумуса в верхнем горизонте составляет 2,6 %;

- аллювиальные агротемногумусовые гидрометаморфические (аллювиальные луговые насыщенные), сформировавшиеся в условиях

центральной части поймы (рис. 1, карты 5-10, 16-23 и 28-37), которые имеют слабощелочную реакцию среды ($pH_{\text{водн}} \text{H}_2\text{O}$ 7,1–7,7); содержание гумуса в пахотном горизонте составляет 2,9 %;

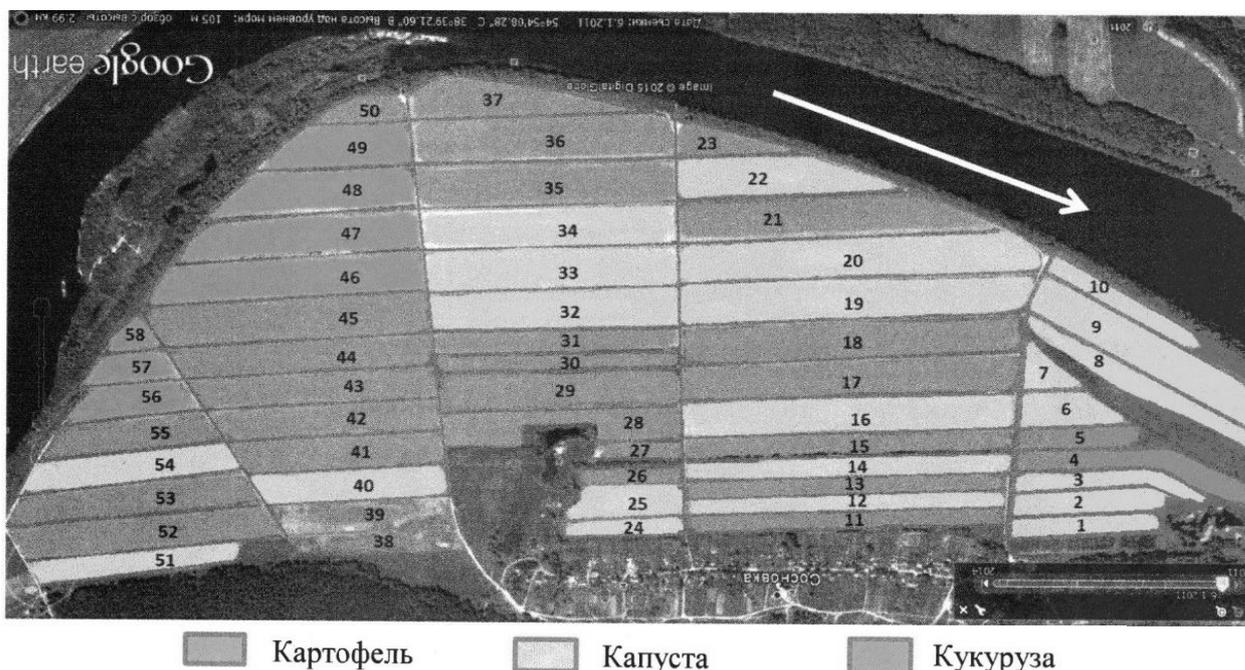


Рис. 1. Схема исследованного участка поймы р. Оки и номера «карт» (полей), 2015 г.

- агрогумусово-гидрометаморфические аллювиальные (лугово-болотные насыщенные) притеррасной области поймы (рис. 1, карты 1, 11-15, 24-27, 38-41 и 51-52), имеющие слабощелочную реакцию среды ($pH_{\text{водн}} \text{H}_2\text{O}$ колеблется от 7,5 до 7,9), среднее содержание гумуса 3,7%.

По уровню pH все данные почвы можно отнести к устойчивым к антропогенному воздействию (pH 7,1-7,9). По содержанию гумуса аллювиальные агротемногумусовые (аллювиальные дерновые насыщенные) относятся к слабоустойчивым (содержание гумуса 1,9-3,9 %). Аллювиальные агротемногумусовые гидрометаморфические (аллювиальные луговые насыщенные) почвы по содержанию гумуса можно отнести к слабоустойчивым и устойчивым (содержание гумуса 1,6-4,6%). Агрогумусово-гидрометаморфические аллювиальные (лугово-болотные насыщенные) почвы являются слабоустойчивыми и устойчивыми (содержание гумуса 2,4-5,0%) [1].

Содержание гумуса в исследованных агротемногумусовых гидрометаморфических (аллювиальных луговых насыщенных) почвах составляет: притеррасная часть поймы 2,3-3%, центральная часть поймы 3,0–4,1%, прирусловье 2,5–3,5%. Согласно литературным данным, содержание гумуса в верхнем горизонте целинных аллювиальных почв, сформированных под злаково-разнотравными лугами, составляло

4,5 (дерновые почвы) - 6,5% (луговые почвы) гумуса [4,5] (рис. 2, 1). После распашки содержание гумуса уменьшается, особенно в первые годы [5] (рис. 2, 2). К 1982 г. аллювиальные почвы, используемые под пашню, по содержанию органического вещества вплотную приблизились к критическому уровню гумусированности для этих почв – 2,5-3,0% [5,7] (рис. 2, 3). Однако данные 2003 г. [7] (рис. 2) не выявили снижения содержания гумуса, что подтвердили и исследования авторов (2014 г.). Согласно данным дисперсионного анализа, почвы притеррасной поймы и прирусловой поймы по содержанию гумуса не отличаются между собой, но отличаются от луговых почв центральной поймы.

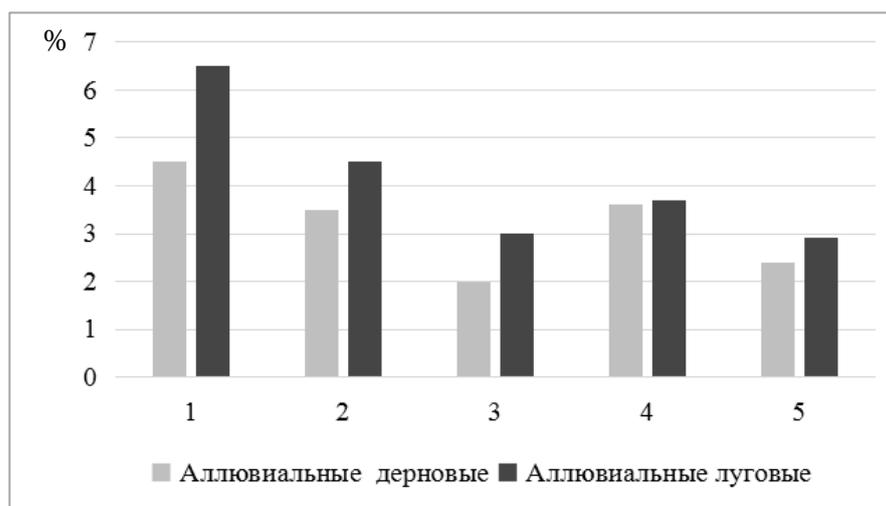


Рис. 2. Динамика содержания гумуса в исследованных аллювиальных почвах. 1 – до распашки; 2 – после распашки, 60-е гг. XX в.; 3 – 1982 г.; 4 – 2003 г.; 5 – 2014 г. (данные авторов)

Состояние структуры аллювиальных агротемногумусовых гидрометаморфических почв по величине коэффициента структурности можно оценить как удовлетворительное (почва центральной поймы) и хорошее (почва прирусловой и притеррасной поймы) [6].

Водопрочность структуры аллювиальных агротемногумусовых гидрометаморфических почв неудовлетворительная [6]. При распашке комковато-зернистые пойменные почвы легко распыляются, при обильном увлажнении (дожди, поливы) поверхность почвы заплывает и превращается в почвенную корку, теряя при этом все ценные водно-воздушные свойства.

Подпахотный горизонт значительно уплотнен по сравнению с пахотным (с уровнем значимости $\alpha = 0,05$) для всех частей поймы (рис. 3). На полях хозяйства встречаются блюдца-просадки (вымочки), которые образовались на месте бывших стариц, засыпанных во время устройства дренажа и планировки поверхности поймы.

По гранулометрическому составу почвы понижений являются тяжелосуглинистыми, при с/х обработке здесь образуется плужная подошва. В результате избыточного полива на фоне выпадающих осадков на контакте верхнего насыпного грунта и плужной подошвы образуется глеевая прослойка мощностью до 10 см, отличающаяся от остального горизонта сизой окраской, очень высокой плотностью сложения, бесструктурностью и низкой порозностью. Выращиваемые на этих участках сельскохозяйственные растения угнетаются или гибнут.

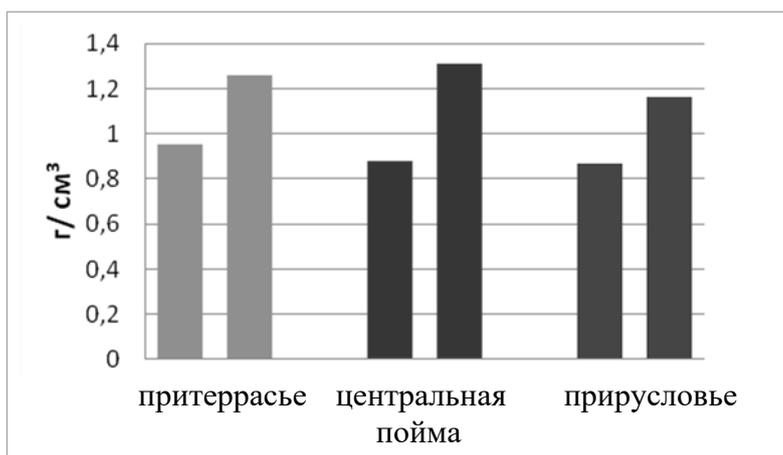


Рис. 3. Средние значения плотности сложения пахотных и подпахотных горизонтов исследованных почв

На территории бывших стариц в пойме формируются «почвы вымочек». Такие почвы имеют своеобразный профиль: Апах – G (глеевая прослойка) – плужная подошва – АВg – В1g' – В2g'' – В3g''' – ВСgf.

На участках с вымочками регулярно проводится чизелевание почвы. После этого территория засеивается луговыми травами. Через 2 года после чизелевания на месте бывшей вымочки и на прилегающей территории угнетения посадок капусты не наблюдали. В заложенной прикопке признаки переувлажнения почвы не обнаружены. Почвенно-грунтовые воды опустились до глубины 120 см.

Заключение. В результате проведенных полевых и лабораторных исследований установлено, что интенсивное сельскохозяйственное использование аллювиальных почв долины р. Оки верхнего течения приводит к деградационным изменениям почв: эрозия, дегумификация, переуплотнение, трансформация комковато-зернистой структуры в глыбистую. Ведение земледелия по интенсивной технологии в долине верхней Оки обусловило вторичное изменение морфологии почв. В пониженных элементах рельефа поймы возникли профили почв с плужной подошвой и глеевой прослойкой, следствием этого являются «вымочки» и пестрополье.

Невысокие показатели содержания гумуса в исследованных почвах обусловлены большой с/х нагрузкой, постоянной распашкой полей и выращиванием в основном пропашных культур без внедрения в севооборота однолетних и многолетних трав. Органическое вещество выносится с полей при уборке урожая вместе с продукцией. Необходимо внесение нормированных доз органических удобрений, применение севооборотов.

Для предотвращения эрозии аллювиальных почв поймы долины р. Оки необходимо исключить из интенсивного земледелия почвы прирусловой поймы и провести залужение этих участков. На участках поймы с вымочками необходимо регулярно проводить чизелевание в целях разрушения уплотненного подпахотного горизонта и глеевой прослойки для улучшения водно-физических свойств почвы.

В связи с наличием деграционных изменений аллювиальных почв долины р. Оки верхнего течения и при наличии современной техники полива выращивание картофеля и овощей можно перенести на водораздельные серые лесные и дерново-подзолистые почвы с более однородным почвенным покровом.

Список литературы

1. Гогмачадзе Г.Д. Деграция почв: причины, следствия, пути снижения и ликвидации. М.: Издательство Московского университета. 2011. С. 79-82.
2. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена. 2004. 342 с.
3. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос. 1977. 224 с.
4. Кораблева Л.И. Плодородие, агрохимические свойства и удобрение пойменных почв Нечерноземной зоны. М., 1969. 278 с.
5. Кораблева Л.И., Слуцкая Л.Д., Авдеева Т.Н. Охрана и воспроизводство плодородия аллювиальных почв (на примере земледелия в поймах Московской области). М., 1989. 59 с.
6. Теории и методы физики почв / под ред. Е.В. Шеина и Л.О. Карпачевского. М.: Гриф и К, 2007. 616 с.
7. Шишов С.А. Минералогические и органические компоненты аллювиальных почв центральной поймы р. Ока: автореф. канд. дисс. М. 2007. 25 с.

AGROECOLOGICAL MONITORING OF ALLUVIAL SOILS OF THE UPPER OKA VALLEY WITH INTENSIVE AGRICULTURAL USE

Sneg Anna Arnoldovna, Balabko Petr Nikolaevich

Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty, Moscow, Russia
E-mail: sneg_anna@mail.ru

Abstract. The results of studies of the properties of alluvial soils and soil cover with intensive agricultural use are given.

Keywords: alluvial soils, intensive use.

**ПОЧВЫ ПОД РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ КРИОГЕННЫХ
ПОВЕРХНОСТНЫХ ОБРАЗОВАНИЙ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ
ОСТРОВА КОЛГУЕВ**

Шматова Анастасия Геннадьевна

Институт географии РАН, отдел географии и эволюции почв,
Москва, Россия
E-mail: a.shmatova@yandex.ru

Аннотация. На основании проведенных полевых исследований в центральной части острова Колгуев (подзона типичных тундр), выделены основные типы и области проявления различных криогенных поверхностных образований. Морфологическое описание почв в траншеях показало, что их строение под некоторыми типами микрорельефа не всегда достаточно контрастно для выделения почвенного комплекса, а действительно контрастные по свойствам почвенные комплексы имеют более ограниченное распространение, чем считается в тундровой зоне.

Ключевые слова: почвенные комплексы, тундра, криогенные образования, микрорельеф.

Введение. Основной причиной микро-неоднородностей почвенного покрова в Арктике являются криогенные образования – сформированные под действием мерзлотных процессов нарушения исходного залегания рыхлых отложений [5]. Как почвоведов, нас интересуют только те из них, которые затрагивают верхний, сезонно-талый слой. В иностранной литературе им наиболее близок термин “patterned grounds” [11]. Криогенные поверхностные образования не всегда имеют прямое отражение в микрорельефе.

Считается, что почвенный покров под криогенными структурами представлен контрастными комбинациями – почвенными комплексами – неоднородностями почвенного покрова, при которых на небольшом расстоянии происходит контрастная смена почв [10].

До недавнего времени Колгуев оставался мало изученным с точки зрения почвоведения: наиболее детальные почвенные исследования были выполнены геоботаниками Смирновой и Богдановской-Гиенеф в 30-х гг. [2, 8], но почвенные комплексы, к сожалению, в работах были рассмотрены весьма поверхностно.

На почвенных картах сведения о почвенном покрове Колгуева несколько разнятся в зависимости от того, какие были представления о тундровых комплексах на тот момент [1, 3, 6, 7]. В первую очередь

легенды карт содержат сведения о составе почвенных комплексов, то есть представляют перечисление входящих в них типов почв. На некоторых картах содержится информация о типе комплекса, который определяется по виду криогенных образований (например, «пятнисто-бугорковатый») или микрорельефа («пучинно-бугорковатый», «плоскобугристый», «бугорковато-кочкарниковый»). Однако в легендах не содержится информации как именно перечисленные типы почв сочетаются в указанном типе микрорельефа: приурочены ли они к микроповышениям или понижениям.

Таким образом, весьма интересным представлялось изучение почв на ранее не обследованной территории, а также уточнение и получение новых сведений о типах неоднородностей почвенного покрова, связанных с криогенными поверхностными образованиями.

Объекты и методы. В настоящей работе исследовалась центральная часть острова Колгуев, для которой характерно сложное геоморфологическое строение. Это равнины, сложенные в основании морскими отложениями, сверху перекрытыми комплексом морских террас и осадков водно-ледникового генезиса [4,9].

В настоящей работе представлены материалы, полученные во время полевых исследований в центральной части острова Колгуев в 2018 – 2021г. В результате маршрутных наблюдений и описаний было выявлено две наиболее различные ландшафтные местности, для которых набор форм криогенных образований несколько отличался. В наиболее типичных местах были заложены траншеи пересекающие основные компоненты структуры. Было выполнено детальное морфологическое описание, на основе которого и сделаны выводы о контрастности почвенных комбинаций.

Результаты и обсуждение. Полученные результаты удобно начать рассматривать с плакорных поверхностей, так как они наиболее специфичны для каждого ландшафта.

В наиболее возвышенной части острова, сложенной морскими тяжелыми суглинками, на выпуклых склонах микрорельеф в целом выровненный слабоволнистый, но местами переходит в нарушенный криогенными процессами. В таких случаях наблюдаются структуры трех типов.

Первые – «классические» пятнистые тундры: пятна голого грунта на чуть приподнятых элементах микрорельефа – встречаются на обдуваемых склонах, часто бровках. Вариация в строении почвенного покрова под такой структурой заключается в отсутствии органического горизонта на поверхности пятна; в следствии процессов криотурбации

минеральные горизонты под пятном перемешиваются с минеральными остальной почвы и не отличаются по морфологии. Эта структура наиболее близка отмеченной на почвенной карте РСФСР под ред. Фридланда [7].

Вторые структуры – крупные пятна, окруженные валиком на вершинах небольших холмов. Строение почвенного покрова под ними наиболее контрастно: почва пятна часто имеет выпоты солей на поверхности и, соответственно местами вскипает от HCl. Почва под валиком насыщена хорошо разложенным органическим веществом и гумусом. Почва вне пятна представляет типичную для данной местности – с маломощным подстильно-торфяным горизонтом, минеральный горизонт местами с признаками оглеения. Так как именно на подобных пятнах чаще всего встречаются выпоты карбонатных солей, то можно считать, что эти структуры отчасти соответствуют указанным на почвенной карте в атласе Арктики [1].

Третья структура – западинки диаметром менее метра среди слабоволнистого выровненного микрорельефа. Расстояние между ними может достигать 5 м. Почва под ними отличается большей степенью оглеения: оно явно выражено, хотя также не сплошное, а пятнами, как в окружающей почве. Такие структуры ранее не выделялись на картах; в литературе описания также не были найдены.

На более низких отметках абсолютных высот расположена более плоская по общему рельефу местность, сложенная ледниково-морскими суглинками. Здесь преобладает волнистый криогенный микрорельеф, среди которого встречаются криогенные пятна, не занимающие определенной позиции в микрорельефе. То есть мы имеем два проявления процессов криогенеза: при одном образуется характерный микрорельеф, а другой, наложенный, – приводит к образованию пятен. Волнистый микрорельеф имеет довольно значительные перепады высот (до 20 см на расстоянии 1.5-2 м) и мог бы быть отнесен к бугорковатому, однако по наблюдениям, сделанным на Колгуеве, такой рельеф стоит отличать от последнего по нескольким параметрам.

Под волнистым микрорельефом, вопреки ожиданию, почвенный покров был достаточно однороден: несколько варьировала мощность подстильно-торфяного горизонта, неравномерно были распределены пятна оглеения по профилю; в целом профиль был заметно криотурбирован и во многих местах тиксотропен. Такой результат – отсутствие выраженной неоднородности – был достаточно неожидан и не предполагался по литературным данным.

Контрастный почвенный комплекс формируется в области распространения пятен: почвы пятна тиксотропные и неоглеенные, часто с выпотами карбонатных солей на поверхности. Окружающая же почва

значительно оглеена, и значительно варьирует мощность подстилочно-торфяного горизонта (от 5 до 15 см), что в местах накопления приводит к резкому поднятию уровня сезонного оттаивания. В целом такое строение почвенного комплекса соответствует указанному на картах [3, 7].

Далее рассмотрим строение почвенного покрова в ложбинах, которые имели очень схожее строение во всех ландшафтных местностях и состояли из бугорковатых склонов и плоских днищ, иногда с мерзлыми буграми. В данном случае рассмотрим строение почв под бугорковатыми поверхностями.

Общей чертой строения было наличие в бугорке минерального ядра и увеличение содержания органического вещества различных стадий разложения вплоть до гумуса. Бугорки отличались по типу органогенного горизонта: в ряде случаев были описаны наполовину состоящие из торфяного материала: иногда слабо, а чаще – хорошо разложенного. Наряду с ними встречались и такие, где органическое вещество было уже в состоянии грубого гумуса и пропитывало минеральную часть. Между бугорками органический горизонт не превышал типичную для зональной почвы мощность в 5-7 см, и мог лишь отличаться меньшей степенью разложения. Минеральная часть между бугорками и под ними отличалась слабо, иногда с признаками большего оглеения в межбугорковом пространстве, где могли образовываться мочажины. Бугорковатые комплексы были указаны на нескольких картах [1, 6, 7], однако их реальное строение стало проясняться только сейчас.

Выводы

1. Почвенные криогенные комплексы в центральной части острова Колгуев представляют собой области распространения вкраплений отличающихся по свойствам почв в фоновую почву.

2. Под выраженным микрорельефом может быть слабая неоднородность почвенного покрова.

3. Пятнистые тундры могут быть двух типов, в одном из которых наблюдается слабая неоднородность почвенного покрова, а в другом - высокая.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 18-05-60279 «Арктика».

Автор выражает благодарность коллективу орнитологов за возможность участия в экспедициях.

Список литературы

1. Атлас Арктики / ред. А.Ф. Трешников. М.: ГУГК. 1985. 204 с.

2. Богдановская-Гиенэф И.Д. Природные условия и олени пастбища острова Колгуева // Тр. Ин-та Полярного земледелия. Сер. Оленеводство. Л. 1938. Вып. 2. С. 7-162.
3. Государственная Почвенная Карта СССР. R-39 о. Колгуев / гл. ред. Герасимов И.П., Егоров В.В., Иванова Е.Н., Розов Н.Н., Фридланд В.М. фабрика № 10 ГУГК. 1982. 1 л.
4. Гусев Е.А., Костин Д.А. Карта плиоцен-четвертичных образований. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1 : 1 000 000 (третье поколение). Серия Северо-Карско-Баренцевоморская. Лист R-39,40(о. Колгуев – прол. Карские Ворота.). СПб.: Карт. фабрика ВСЕГЕИ. 2014. 1 л.
5. Маслов А.Д. Г.Г. Осадчая, Н.В. Тумель, Н.А. Шполянская Основы геокриологии: учеб. пособие. Ухта: Институт управления, информации и бизнеса, 2005. 176 с.
6. Шоба С.А., Добровольский Г.В., Алябина И.О. и др. Национальный атлас почв Российской Федерации. Астрель: АСТ Москва, 2011. 632 с.
7. Почвенная карта РСФСР / под ред. В.М. Фридланда. Масштаб 1:2 500 000. М.: ГУГК, 1988 (Скорректированная цифровая версия, 2007).
8. Смирнова З.Н. Растительные ассоциации о. Колгуев // Ботан. журн. 1938. Т. 23. № 5-6. С. 413-462.
9. Ференс-Сороцкий А.А. Геоморфология и новейшая тектоника острова Колгуев // Геоморфология. 1982. № 2. С. 90-95.
10. Фридланд В.М. Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972. 410 с.
11. Washburn, A.L. Classification of patterned ground and review of suggested origins // Bulletin Geological Society of America. Vol. 67. 1956. Pp. 823-865.

SOILS UNDER DIFFERENT TYPES OF PATTERNED GROUNDS AT THE CENTRAL PART OF KOLGUEV ISLAND

Shmatova Anastasia

Institute of Geography, RAS, Moscow, Russia

E-mail: a.shmatova@yandex.ru

Abstract. Based on the field research in the central part of the island Kolguev (subzone typical tundra), the main types and the distribution of patterned grounds have been identified. The morphological description of the soils in the trenches showed that their structure under some types of microrelief is not always sufficiently contrasting to distinguish the soil complex, and the really contrasting soil complexes have a more limited distribution than it is considered in the tundra zone.

Keywords: soil complexes, tundra, patterned grounds, microrelief.

УДК 631.482.1

ПРОСТРАНСТВЕННОЕ ВАРЬИРОВАНИЕ НОВООБРАЗОВАНИЙ В ПРОФИЛЕ АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ ЮЖНОЙ ТАЙГИ

Хуснетдинова Тамара Ивановна

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
факультет почвоведения, Москва, Россия
E-mail: tamara_iul@mail.ru

Аннотация. Выявлено, что во всех типах аллювиальных почв отчетливо выделяются три группы распределения новообразований. Первая группа характеризуется максимумом содержания самых мелких новообразований диаметром от 1-2 мм, находящихся в горизонтах A1, B1, B2_g и объединяет горизонты дернового и лугового типов. Вторая группа имеет пик новообразований на размере 3 мм. В основном это новообразования горизонта B3_g, G1, G2 болотного типа. Новообразования третьей группы имеют максимум на размере 7, 10 мм и принадлежат к горизонтам B3_g, G1, G2.

Ключевые слова: генезис; новообразования; марганцовисто-железистые конкреции; аллювиальные почвы

Введение. Новообразования являются типоморфными для гидроморфных аллювиальных почв таежных ландшафтов. Они являются важными индикаторами типов почвообразования - дернового, лугового, болотного, что позволяет использовать марганцовисто-железистые новообразования в качестве диагностических признаков при построении морфолого-генетической классификации аллювиальных почв. Впервые строгую приуроченность ортштейнов к таежной зоне и практически их отсутствие в других зонах отметил В.В. Докучаев [8]. Афанасьев Я. Н. [1] подчеркивал локализацию ортштейнов в почвах среднетаежной зоны. В ряде работ авторами рассматриваются пространственное распределение, варьирование и закономерности размещения конкреций в различных экологических условиях их формирования [4, 5, 10, 14]. По утверждению Ф.Р. Зайдельмана [9] с увеличением степени гидроморфизма в почвах происходит возрастание размера конкреций и их количества. В толще почвы новообразования размещены неравномерно, и их содержание может различаться по горизонтам. Как правило, наибольшее количество конкреций приурочено к элювиальной части

профиля, а в подзолистой почве в горизонте А₂. Многие исследователи пришли к выводу, что с глубиной наблюдается изменение количества новообразований их состав и строение [2, 6, 7, 11, 16]. По данным [18], максимальное содержание марганцовисто-железистых новообразований во всех пойменных почвах лесной зоны приходится на верхние гумусово-аккумулятивные горизонты, зону гидрогенной аккумуляции веществ и внутрпочвенных испарений. Рыкуновой и Терешиной [13] была выявлена общая закономерность в распределении конкреций по размерам для всех горизонтов и всех типов в пойменных почвах рек Обь и Москва, что говорит об общности их генезиса.

Объекты и методы. Объектом исследований явились разнообразные по форме, размеру и цвету новообразования аллювиальных почв пойм реки Клязьмы (территория государственного республиканского заказника "Клязьминский"). На типичных участках развитой сегментно-гривистой поймы была заложена почвенно-геоморфологические катена, пересекающие все геоморфологические области поймы - прирусловье, центральную часть и притеррасье. На основных элементах рельефа в различных экологических условиях были заложены опорные разрезы, характеризующие основные типы и подтипы аллювиальных почв: дерновая, дерново-луговая, луговая, лугово-болотная. Новообразования выделялись из почвенных горизонтов путем отмучивания образца (5 кг), в проточной воде и фракционирования с помощью набора сит диаметром отверстий 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 5.0, 7.0, 10 мм. Полученные образцы взвешивали. Далее рассчитывали процентное содержание конкреций от вмещающего горизонта.

Результаты и обсуждение. В дерновой супесчаной и дерново-луговой легкосуглинистой почвах максимум новообразований приходится на горизонты В₁ и В_{1g} (20-30 см), что составляет 0,38 и 2,7% соответственно. Наибольшее содержание новообразований отмечено в луговых почвах, причем содержание их возрастает с увеличением степени гидроморфизма. Максимальное количество новообразований находится на глубине 40-60 см и приходится на горизонт В_{3gf} - 57,70%, образуя ожелезненный горизонт. В лугово-болотной почве притеррасной поймы содержание новообразований сравнительно невысоко и достигает максимума в горизонте В_{2g} - 9,15%. В глеевом горизонте содержание новообразований падает.

В дерново-луговых почвах центральной поймы во всех горизонтах содержится максимальное количество новообразований фракции 1-2 мм (42-46%). Минимальное содержание приходится на фракции размером 0,5-1,0 мм. Размеры новообразований луговой почвы центральной поймы меняются в пределах 0,5-5 мм. В распределении количественного содержания новообразований по профилю почвы прослеживается следующая зависимость; в ряду A1 - B1g - B2g максимум содержания новообразований представлен фракциями: 1-2 мм (48%), 2-3 мм (41%) и 3-5 мм (50%). В луговой почве притеррасной поймы вниз по профилю уменьшается содержание фракции 1-2 мм и в нижних горизонтах уже не наблюдается четкого увеличения содержания крупных фракций новообразований 3-5, 7-10 мм. В лугово-болотной почве преобладающими размерами новообразований являются 1-2, 3-5 мм.

Во всех типах аллювиальных почв отчетливо выделяются три группы распределения новообразований, качественно отличающихся друг от друга. Первая группа характеризуется максимумом содержания самых мелких новообразований диаметром от 1-2 мм, находящиеся в горизонтах A1; B1; B2_g и объединяет горизонты дернового и лугового типов. Вторая группа имеет пик новообразований размера 3 мм. Это в основном новообразования горизонта B3g; G1; G2, которые обобщают горизонты болотного типа. Новообразования третьей группы имеют максимум размера 7, 10 мм и принадлежат к сильно оглееным глубинным горизонтам B3g; G1; G2.

Для анализа распределений конкреций в горизонтах аллювиальных почв была применен кластерный анализ [12, 15, 17]. В наших исследованиях мы сравниваем процентное распределение новообразований по размерам и их общее содержание в горизонте.

Оказалось, что с хорошей связью с уровнем различий меньше 55% и сходства больше 45% выделились две группы горизонтов: 1 группа – горизонты B1 дерновой почвы и A1; B1g; B2Gf; луговой и дерново-луговой почвы; 2 группа – обобщает горизонты болотного типа и 3-я группа с набором сильно оглеенных и ожелезненных горизонтов B3Gf; G1 и Cg луговой озеленённой почвы. Наиболее близкими по оцененным свойствам (15% различий или 85% сходства) являются глубинные горизонты B3Gf и G1 луговой ожелезненной почвы. К ним наиболее близкий горизонт Cg это же почвы – на уровне 29% различий и 75% сходства.

Первая группа объединяет горизонты дернового и лугового типов. Вероятно, распределение и формирование марганцовисто-железистых новообразований в верхних горизонтах дерновых, дерново-луговых и луговых почв идет одинаково, проходят одни и те же стадии развития. В болотной же почве новообразования проходят свой особый путь распределения в профиле почв. Такое различное распределение новообразований в профиле аллювиальных почв свидетельствует о различных условиях формирования этих почв. В первой группе условия были стабильны и, вероятно, поэтому образование новообразований в этих горизонтах происходило одновременно и однотипно. Во второй группе почва испытывала сильные изменения и конкреции стали распределяться по всему профилю почвы, имея близкие друг к другу свойства. В третьей группе почва некоторое время находилась в стабильном состоянии, а потом претерпевала резкие изменения. Поэтому формируются конкреции со своими свойствами, резко отличающимися от конкреций двух других групп. Вероятно, во всех трех группах конкреции обладают разным возрастом, что связано скорее всего с различием условий конкрециеобразования.

Заключение

Выявлено, что во всех типах аллювиальных почв отчетливо выделяются три группы распределения новообразований, качественно отличающихся друг от друга. Распределение и формирование марганцовисто-железистых новообразований в верхних горизонтах дерновых, дерново-луговых и луговых почв проходят одни и те же стадии развития. В болотной почве новообразования проходят свой особый путь распределения в профиле почв. Это свидетельствует о различных условиях формирования этих почв.

Список литературы

1. Афанасьев Я.Н. Из области анаэробных и болотистых процессов / Я.Н. Афанасьев // Почвоведение. 1930. № 6. С. 5–54.
2. Васильев А.А., Романова А.В. Железо и тяжелые металлы в аллювиальных почвах Среднего Предуралья: монография. М-во с.-х. РФ, ФГБОУ ВПО «Пермская гос. с.-х. акад. им. акад. Д.Н. Прянишникова». Пермь: ИПЦ «Прокрость», 2014. 231 с.
3. Гельцер Ю.Г. Биологическая диагностика почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 80 с.

4. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении: учебник / науч. ред. Ю.Н. Благовещенский. Изд. 4-е, доп. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. 336 с.
5. Добровольский Г.В., Терешина Т.В. О биологическом генезисе марганцовисто-железистых новообразований в почвах южной тайги // Вест. Моск. ун-та. 1976. № 3. С. 78-86.
6. Добровольский Г.В., Шоба С.А. Растровая электронная микроскопия почв. М.: МГУ, 1978. 141 с.
7. Добровольский Г.В., Карпачевский Л.О., Соколова Т.А., Ершова Л.С., Шоба С.А. Микроморфология и минералогия гидроокислов железа в почвах и почвенных новообразованиях // Докл. АН СССР. 1982. Т. 264. № 1. С. 221-224.
8. Докучаев В.В. Избранные труды // Способы образования речных долин Европейской России / под. ред. Б.Б. Польшова. М.: Изд-во АН СССР, 1949. 640 с.
9. Зайдельман Ф.Р. Подзоло- и глееобразование. М.: Наука. 1974. 204 с.
10. Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С. Генезис и диагностическое значение новообразований почв лесной и лесостепной зон. М.: Изд-во МГУ. 2001. 216 с.
11. Карпачевский Л.О., Бабанин В.Ф. Формы соединений Fe в почве и методы их изучения // Вестн. Моск. ун-та. Сер. Почвоведение. 1974. № 3. С. 54-66.
12. Рожков В.А. Алгоритмы и программа для объективной классификации почв на ЭВМ "Мир-2". Метод. рекомендации. М.: Почв. ин-т, 1967. 110 с.
13. Рыкунова Л.Е., Терешина Т.В. Распределение железисто-марганцовистых конкреций аллювиальных почв по размеру. Почвы речных долин и дельт, их рациональное использование и охрана. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1974. С. 38-39.
14. Самсонова В.П., Жевелева Е.М., Котова С.А. Характер пространственного содержания ортштейнов в дерново-подзолистой почве // Почвоведение. 1987. № 7. С. 147-150.
15. Скворцова Е.Б., Рожков В.А., Морозов Д.Р. Использование многомерных статистических методов для классификации и диагностики строения порового пространства почвы в микроморфологических шлифах // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2015. Вып. 79. С. 36-52.
16. Ульяночкина Т.И. Морфология и систематика марганцево-железистых новообразований в аллювиальных почвах южной тайги: автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1990. 25 с.
17. Шапиро Н.И. О химическом составе отложений, образуемых Metallogenium и Sidsrococcus // Роль микроорганизмов в образовании железомарганцевых руд. М. - Л.: Наука, 1964. С. 87-95.

- 18.Шоба С.А., Балабко П.Н. Микростроение и состав марганцево-железистых новообразований почв лесной зоны // Микроморфологическая диагностика почв и почвообразовательных процессов. М.: Наука. 1983. С. 21-33.

SPATIAL VARIABILITY OF ORTSTEIN CONTENT IN THE PROFILE OF ALLUVIAL SOILS

Khusnetdinova Tamara Ivanovna

Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty

Moscow, Russia

E-mail: tamara_iul@mail.ru

Abstract. The results of the content of new formations in the profile of alluvial soils are presented. It was revealed that in all types of alluvial soils, three groups of distribution of new formations are clearly distinguished, which are qualitatively different from each other. The first group is characterized by the maximum content of the smallest neoplasms with a diameter of 1-2 mm - these are neoplasms located in the horizons A1, B1, B2g and unites horizons of sod and meadow types. The second group has a peak of neoplasms at a size of 3 mm. - these are mainly new formations of the horizon B3g, G1, G2 - generalizes the horizons of the bog type. Formations of the third group have a maximum at a size of 7, 10 mm and belong to horizons B3g, G1, G2 - strongly gleyed deep horizons. It has been established that the distribution and formation of manganese-ferruginous neoplasms in the upper horizons of sod, sod-meadow and meadow soils pass through the same stages of development. In bog soil, neoplasms pass their own special path of distribution in the soil profile. Such a distinctive distribution of neoplasms in the profile of alluvial soils indicates different conditions for the formation of these soils.

Keywords: genesis; neoplasms; nodule formation; manganese-ferruginous nodules; alluvial soils

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ НЕОДНОРОДНОСТЬ
ПОЧВ ОБОРОНИТЕЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ
АРХЕОЛОГИЧЕСКИХ ПАМЯТНИКОВ НА ПРИМЕРЕ
ДМИТРОВСКОГО КРЕМЛЯ**

Решетникова Радислава Андреевна, Ковалева Наталия Олеговна

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
факультет почвоведения, Москва, Россия

E-mail: rada3025@mail.ru

Аннотация. Почвы и культурные слои в разных зонах крепости Дмитровского кремля отражают воздействие естественных и антропогенных процессов за время существования памятника. Устойчивые свойства почв несут информацию об изменениях природных условий и деятельности человека в историческое время.

Ключевые слова: палеопочвоведение, археологические памятники, почвенная неоднородность, оборонительные сооружения.

Введение. Почвенная неоднородность особенно ярко проявляется в антропогенно преобразованных почвах, в частности, почвах археологических памятников. Вековое воздействие человека на дневную поверхность проявляется в поступлении дополнительных органических и минеральных веществ с отходами жизнедеятельности человека и сельскохозяйственных животных и в результате строительства, захоронении артефактов, перемешивании почвенной массы. В почвенных свойствах сохраняются устойчивые признаки, записанные почвой в разное время, и являющиеся архивом информации о природной среде [6]. Таким образом, подобные объекты очень информативны для изучения прошлого, эволюции палеосреды, древних природных условий, почвенного покрова и определения их роли в жизни человека в историческое время. Пространственно-временная неоднородность археологических памятников, даже в пределах одного оборонительного сооружения, позволяет получить большое количество информации с относительно небольшой территории.

Объекты и методы. Объектом исследования является Дмитровский Кремль – древнерусская крепость XII в., хорошо изученная с исторической точки зрения. Вал Дмитровского Кремля был создан в

период с середины XII по конец XIII века с использованием природоподобной технологии переслаивания материалов с разными свойствами, в том числе аллювиальных песчаных отложений и зональных почв, которые оказались погребенными в толще вала. Вал окружал ров с водой – его небольшой участок был восстановлен в 1980-е гг.

Почвенные образцы были отобраны с помощью бура на вершине вала и на внутреннем склоне с западной стороны, на дне рва, а также из археологического раскопа (арх. Прошкин О.Л.) в основании вала с внутренней стороны западной части (рис. 1). Были исследованы морфологические, химические и магнитные свойства почвенного материала.

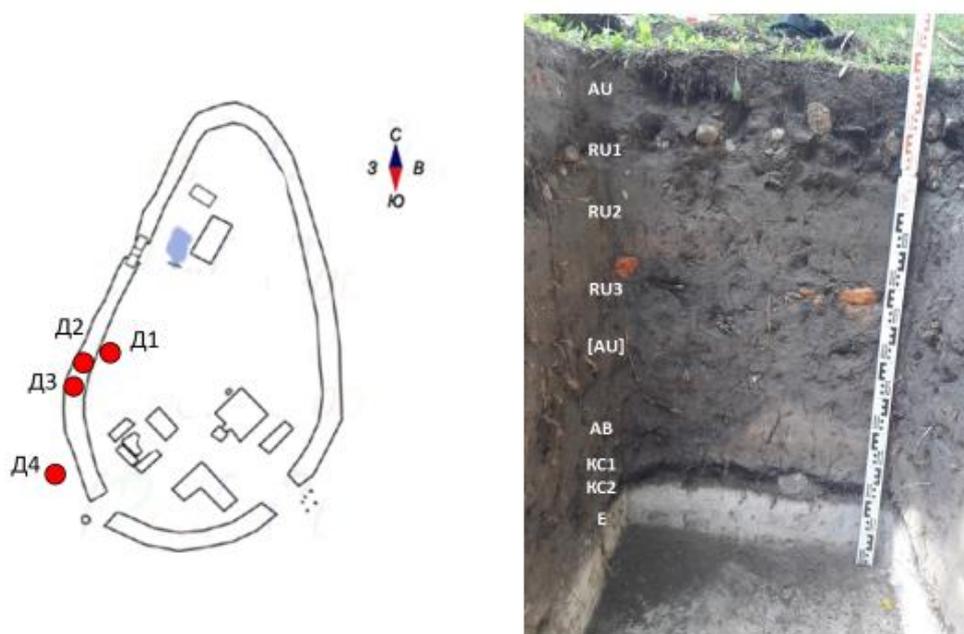


Рис. 1. Расположение скважин и раскопа на схеме Дмитровского Кремля (слева). Фото раскопа Д1 в основании вала (справа).

Результаты и обсуждение. Морфологические свойства почв и культурных слоев с вершины и склона вала крепости соответствуют представлениям о конструкциях подобных защитных валов – культурные слои, гумусированные и насыщенные артефактами, чередуются со слоями песчаного и суглинистого материала, вероятно, аллювиальными отложениями ближайших рек и моренными суглинками (рис. 2). Встречаются прослойки и стяжения рыжего (из-за присутствия окисленного железа) и темного песка, указывающие на существование периодов окисления-восстановления в почвах. В разных горизонтах во множестве встречаются мелкие антропогенные артефакты – кирпич, уголь, древесина, стекло, керамика – что говорит о насыщенном культурном прошлом со времен основания вала до наших дней [4,5].

Раскоп в основании вала вскрывает верхнюю часть профиля исходной погребенной почвы, на которой был сконструирован вал. Это подзолистый горизонт белесого цвета, характерный для фоновых почв южной тайги, которые формируются под хвойной растительностью в условиях промывного водного режима. Ровная граница между подзолистым и вышележащим горизонтом может быть связана с пахотной обработкой почвы, кроме того, антропогенной деятельностью также может объясняться прослойка угля на глубине 105-110 см.

Почти во всех скважинах в некоторых горизонтах наблюдаются признаки переувлажнения и переменной окислительно-восстановительной обстановки – охристые и темно-серые стяжения – скорее всего, это реликты, образовавшиеся в почвенном материале до вовлечения его в строительство вала, и отражающие особенности водного режима того времени. Ров в настоящее время не заполняется водой, но в почвенных образцах из него также наблюдаются признаки оглеения. Почвы рва характеризуются утяжеленным гранулометрическим составом, повышенной плотностью и более темной окраской. Кроме того, на глубине 55-70 см встречаются включения камней и кирпича, из которых могло быть когда-то сформировано дно рва.

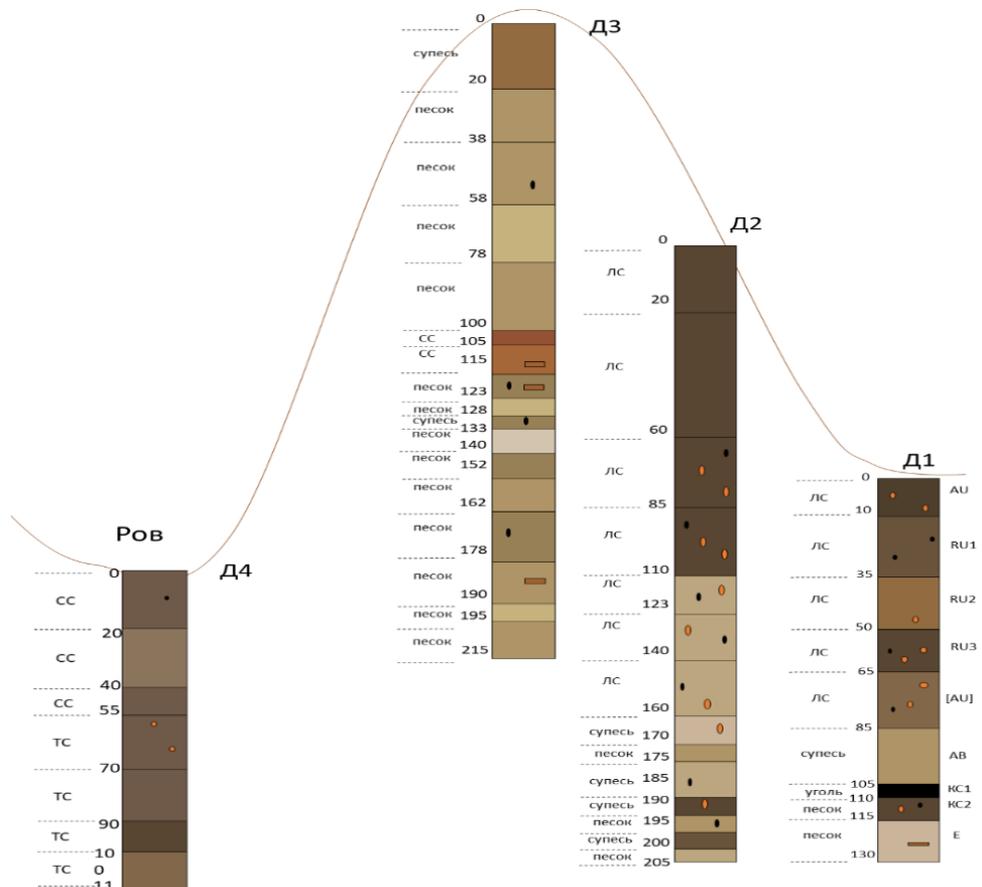


Рис. 2. Схематическое расположение скважин вала Дмитровского Кремля

Величины магнитной восприимчивости подтверждают результаты выделения культурных слоев. Кроме того, магнитная восприимчивость имеет максимумы в поверхностных гумусовых горизонтах, что связано с повышенным содержанием в них органического вещества [1]. Магнитная восприимчивость закономерно увеличивается в отдельных встречающихся ожелезненных слоях песка и слоях темного цвета с супесчаным и легкосуглинистым гранулометрическим составом. Образцы почв из рва обладают более высокими значениями магнитной восприимчивости: намывные почвы имеют более тяжелый гранулометрический состав и содержат большее количество органического углерода.

Содержание органического фосфора в почвах коррелирует с количеством органического углерода, и не везде коррелирует с величинами магнитной восприимчивости. По некоторым графикам заметен небольшой сдвиг максимумов органического фосфора вниз относительно максимумов магнитной восприимчивости – в нижележащие горизонты под культурными слоями - что может объясняться выносом и выщелачиванием соединений в результате почвенных процессов. Максимумы органического фосфора маркируют темноцветные культурные слои, материал которых некогда был в составе поверхностных гумусовых горизонтов, а также наблюдается максимум в слое московской морены в скважине на вершине вала (105-115 см). Максимумы фосфора в скважине на дне рва могут быть связаны с гидроморфным прошлым, когда ров заполнялся водой старицы реки Яхрома.

Заключение

Полученные результаты подтверждают существующие представления о большей гидроморфности ландшафтов в период строительства крепости, чем в современный. Исторические данные свидетельствуют о болотистости территории с близким к поверхности залеганием грунтовых вод [2,3], в то время, как нынешняя обстановка более автоморфная, в том числе благодаря изменению положения русла р. Яхромы. По почвенным свойствам прослеживаются временные периоды с различной окислительно-восстановительной обстановкой. Свойства почв и культурных слоев и почвенная неоднородность отражают влияние процессов строительства крепости и жизнедеятельности людей, а также изменения в природных условиях.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке РФФ № 17-14-01120 в рамках государственного задания МГУ № №117031410017-4 и Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова "Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды".

Список литературы

1. Бабанин В.Ф., Трухин В.И. Магнетизм почв. Ярославль: ЯГТУ. 1995. 223 с.
2. Гольева А.А. Почвенные исследования средневековых валов Дмитрова, Ярославля и Ростиславля // Археология Подмосковья. Материалы научного семинара. М.: Институт археологии РАН, 2009. Вып. 5. 480 с.
3. Милонов Н.П. Дмитровское городище (Кремль города Дмитрова) // Советская археология. Сб. т. 4. М. - Л., 1937.
4. Сунгуров Р. Дмитровский Кремль // Литературная газета. 2007. № 38-39. URL: <https://lgz.ru/article/N38-39-6139-2007-09-26-/Dmitrovskiy-kr%D0%B5mly1685/> (25.04.2020).
5. Сунгуров Р. «...И нарече его Дмитров» // Наше наследие. 2015. № 112. URL: <http://www.nasledie-rus.ru/podshivka/11203.php> (25.04.2020).
6. Таргульян В.О., Горячкин С.В. Почва как память биосферно-геосферно-антропосферных взаимодействий. ЛКИ, 2008. 690 с.

SPATIAL AND TEMPORAL INHOMOGENEITY OF SOILS OF ARCHAEOLOGICAL MONUMENT'S DEFENSE STRUCTURES ON THE EXAMPLE OF THE DMITROVSKY KREMLIN

Reshetnikova Radislava, Kovaleva Natalia

Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty
Moscow, Russia

E-mail: rada3025@mail.ru

Abstract. Soils and cultural layers in different zones of the fortress of the Dmitrov Kremlin reflect the impact of natural and anthropogenic processes during the existence of the monument. The stable properties of soils carry information about changes in natural conditions and human activities in historical time.

Keywords: paleosoil studies, archaeological sites, soil heterogeneity, defensive structures.

**К ВОПРОСУ О ДОСТОВЕРНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК
СОДЕРЖАНИЯ И СВОЙСТВ ОРТШТЕЙНОВ
В ОСУШЕННЫХ ПОЧВАХ**

Ковалев Иван Васильевич, Ковалева Наталия Олеговна

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
факультет почвоведения, Москва, Россия
E-mail: kovalevmsu@mail.ru

Аннотация. На примере светло-серых почв показано, что пока почва остается в естественном состоянии, количество ортштейнов, содержание биофильных элементов, распределение микробного пула адекватно отражают степень ее гидроморфизма. Осушение почв с переменным окислительно-восстановительным режимом способствует высвобождению биофильных элементов из ортштейнов по мере деградации последних и глубокую разрушительную трансформацию и таких устойчивых соединений, как лигнин в ортштейнах, особенно в крупных фракциях.

Ключевые слова: ортштейны, гидроморфные почвы, осушение.

Введение. В качестве диагностического критерия интенсивности проявления гидрологического и ОВП режимов, вторичной степени кратковременного переувлажнения могут выступить Fe-Mn конкреционные новообразования (ортштейны). Вместе с тем, сведения об общих закономерностях изменения содержания и биохимического состава ортштейнов в целом, и по фракциям, в частности, их связи с гидрологическим режимом, и, особенно, динамике свойств в первые годы последствия дренажа остаются малоизученными. Остается открытым вопрос о достаточном количестве отобранных образцов [2] и достоверности характеристик изменения содержания и свойств ортштейнов в почвах естественного увлажнения и под влиянием осушения, как справедливо отмечал Е.А. Дмитриев.

Объекты. Исследования проведены на светло-серых глееватых почвах Коломенского ополья, где осенью 1989 г. был создан экспериментальный мелиоративный полигон «Кочкарево» (55°06'58" с.ш., 38°18'37" в.д.) по проекту «Мосгипрпроводхоз» [3]. Дренажные

системы площадью 2-4 га каждая строились в 3-х кратной повторности для каждого варианта опыта: светло-серые глееватые почвы, осушенные пластмассовым и гончарным дренажом с междренним расстоянием 16 м. Массив отличался близким или тождественным гранулометрическим составом почв и почвообразующих пород, одинаковыми причинами заболачивания [3].

Методы исследования. Смешанные образцы почвы весом около 2 кг из слоя 0-10 см отбирали в первой декаде августа из 30 точек пробоотбора в трех повторностях в 1989-1992 гг. и в шести повторностях – в 1994-2020 гг. [2]. На осушенных светло-серых глееватых почвах отбор проб осуществлялся по линии междренного расстояния. Исследования приурочены к фиксированным точкам наблюдений (реперам) и проведены одними и теми же методами в разные годы обеспеченности осадками, начиная с 1989 года.

В образцах ортштейнов и почв определялся углерод, азот, сера на CNS-анализаторе (VARIO EL, Elementar GmbH, Hanau). Препараты гуминовых кислот для ЯМР-спектроскопии были выделены из почв и ортштейнов трехкратной экстракцией 0,1н. NaOH/0,4 М NaF. Спектры ^{13}C и ^{31}P -ЯМР регистрировались на импульсном ЯМР-спектрометре Bruker AM500. Для определения количественного содержания структурных фрагментов лигнина (VSC) использовали метод мягкого щелочного гидролиза органического вещества оксидом меди в азотной среде с последующим использованием хроматографии тонкого слоя и газового хроматографического разделения [4]. Определен изотопный состав углерода органического вещества и др.

Результаты и обсуждение. Установлено, что в почвах с естественным увлажнением независимо от влажности года и характера использования содержание конкреций остается близким или тождественным на протяжении 30 лет (табл. 1). Аналогичные закономерности наблюдаются и в распределении биофильных элементов в ортштейнах во все годы наблюдений.

Осушение почв оказало воздействие на трансформацию водного режима и ОВП-режима [3], что повлияло на содержание и состав ортштейнов этих почв. Наибольшие изменения в содержании ортштейнов в динамике по годам начинаются на 5-й год последствия дренажа, затем идет стабилизация их количества.

Таблица 1. Динамика содержания ортштейнов в светло-серых лесных оглеенных почвах (г/100 г абсолютно-сухой почвы), n = 5

| Почва | Годы | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1989 | 1992-1994 | 1995-1996 | 2000 | 2008-2009 | 2010 | 2012 | 2016-2019 |
| Масса ортштейнов в г/100г абс. сухой почвы | | | | | | | | |
| Глееватая | 2.30± 0.10 | 2.20± 0.10 | 2.16± 0.14 | 2.22± 0.08 | 2.26± 0.10 | 2.27± 0.08 | 2.29± 0.06 | 2.16± 0.08 |
| Глубокооглеенная | 0.26± 0.02 | 0.27± 0.02 | 0.26± 0.02 | 0.29± 0.02 | 0.27± 0.04 | 0.28± 0.05 | 0.28± 0.05 | 0.26± 0.05 |

Можно предположить, что в это время условия конкрециообразования адекватны новому гидрологическому режиму осушенных серых глееватых почв. Пространственная неоднородность водно-физических свойств почв влечет за собой и неравномерное пространственное распределение обсуждаемых изменений: в 1 метре от дрены уменьшение содержания ортштейнов более контрастно, чем на междренье. Снижение эффективности работы дренажа (заиливание, 2009 г.) адекватно фиксируется по скачкообразному переходу в содержании ортштейнов (рис. 1).

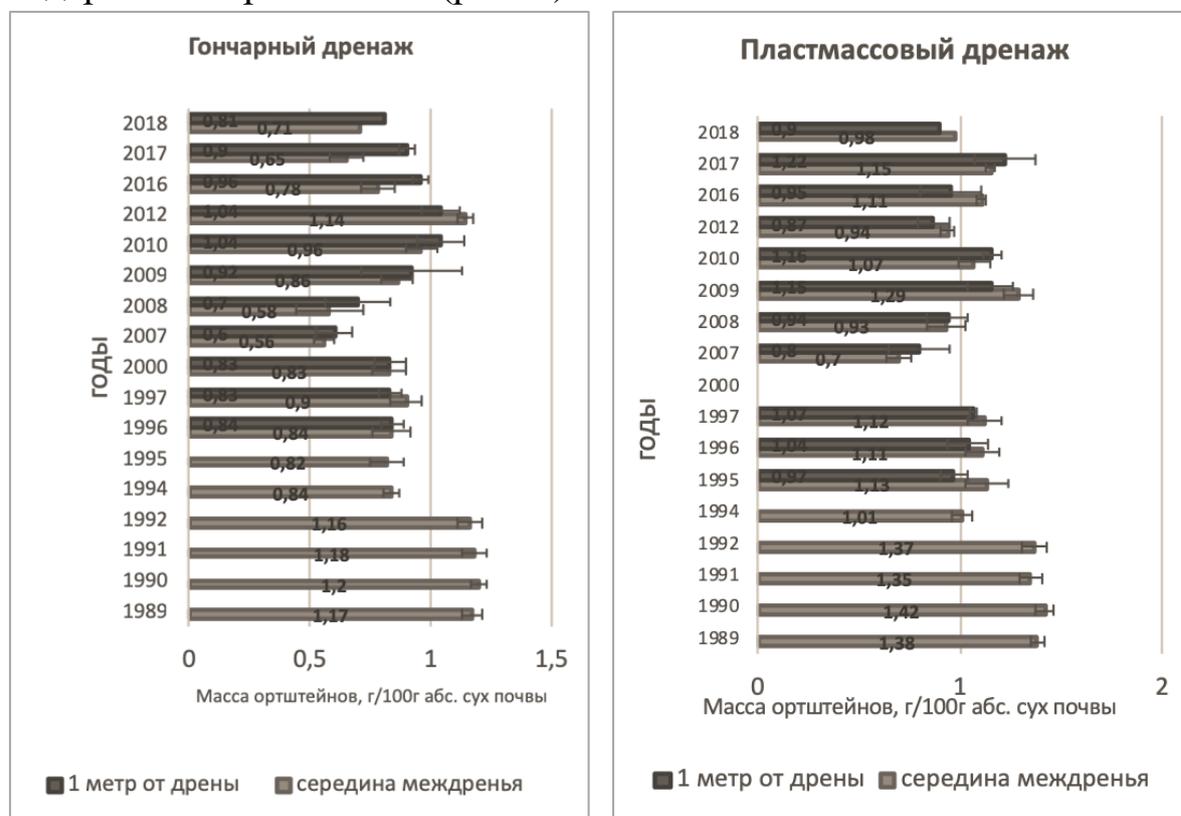


Рис. 1. Многолетняя динамика массы ортштейнов в светло-серой глееватой почве, осушенной гончарным и пластмассовым дренажом

Таблица 2. Динамика распределения углерода и азота (%) в ортштейнах по фракциям (слой 0-10 см) светло-серых глееватых почв

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

n - повторность;

* - статистически значимое уменьшение содержания углерода к контролю при $p < 0,05$;

** - статистически значимое уменьшение содержания углерода и азота по отношению к первым годам (1989-1992 гг.) последствий дренажа при $p < 0,05$ [1].

Удаление гравитационной влаги и уменьшение анаэробного периода оказало отчетливое влияние и на содержание биофильных элементов в конкрециях (табл. 2). Впервые 8 лет последствий дренажа было установлено и снижение содержания железа и марганца, величины коэффициента заболоченности (Кз), хотя изменения последнего показателя еще не выходили за рамки интервала Кз (коэффициента заболоченности) серых лесных глееватых почв, присущего им в естественном состоянии.

Осушение усиливает микробиологическую активность в почвах и ортштейнах, что подтверждается увеличением количества грибной и бактериальной биомассы в Fe-Mn конкрециях, и содержания в них диэфиров микробного происхождения [5]. Как результат, мы наблюдаем трансформацию и такого, казалось бы, устойчивого соединения, как лигнин, в ортштейнах. По отношению к первым годам последствий дренажа (1989-92 гг.) в ортштейнах произошло значимое уменьшение ($P = 0,99$) содержания продуктов окисления лигнина по всем фракциям (рис. 2), нарастание степени окисленности биополимера в ортштейнах всех фракций [4]. Происходит перераспределение кислот и альдегидов в ортштейнах и снижение величин отношения VSC/N в крупных фракциях

как отражение процессов накопления метаболического углерода в лигнине. Степень трансформации молекул лигнина в орштейнах крупных фракций увеличилось более чем в 2 раза по отношению к первым годам последствия дренажа.

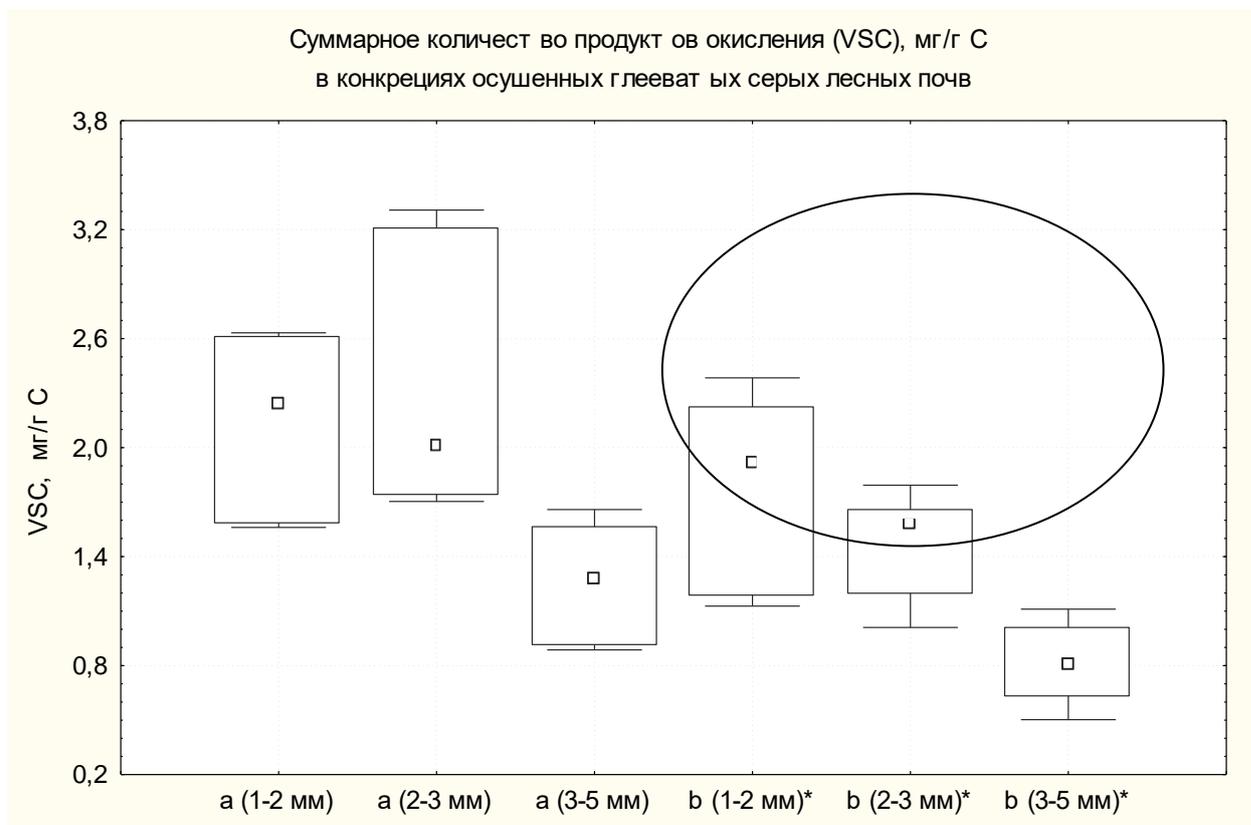


Рис. 2. Квантильное распределение суммарного количества продуктов окисления лигнина (VSC), мг/г Сорг. в Fe-Mn орштейнах светло-серых глееватых осушенных почв. Почвы: **a** – осушенные в **1989-92** гг.; **b** – осушенные в **2000-2002** гг. Фракции орштейнов: 1-2 мм; 2-3 мм; 3-5 мм

* – статистически значимое уменьшение продуктов окисления лигнина (VSC, мг/г Сорг.), ($p < 0,01$) [1].

С помощью метода ^{13}C ЯМР-спектроскопии, также показана разрушительная трансформация молекул гуминовых кислот (ГК) органоминеральных комплексов орштейнов под действием дренажа [5]. Облегчение изотопного состава органического углерода (с $-26,45$ до $-27,16$ $\delta^{13}\text{C}$, ‰) крупных фракций конкреций в осушенных почвах подтверждает наибольшую трансформацию крупных орштейнов.

Заключение. Железисто-марганцевые конкреции (орштейны) аккумулируют не только железо и марганец, но такие биофильные элементы, как углерод, азот, фосфор, сера, а также некоторые органические соединения, например лигнин, изымая их из

биологического круговорота. Сушение почв с переменным окислительно–восстановительным режимом способствует замыканию биогеохимических циклов, высвобождая элементы из новообразований.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках госзаданий МГУ: № 121040800146-3, №117031410017-4, также экспериментальные данные получены при поддержке Российского научного фонда, проект № 17-14-01120п.

Список литературы

1. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ. 1995. – 320 с.
2. Дмитриев Е.А. Теоретические и методологические проблемы почвоведения. М.: ГЕОС. 2001. – 374 с.
3. Ковалев И.В. Сушенные почвы как аналог лизиметра большой площади // Вестник Моск. ун-та. Сер.17. Почвоведение. 2021. № 3. С. 52-61.
4. Kovalev I.V., Kovaleva N.O. Biochemistry of lignin in soils of periodic excessive moistening (from the example of agrogray soils // Eurasian Soil Science. 2008. Vol. 41. no. 10. P. 1066-1076.
5. Kovalev I.V., Kovaleva N.O. Organophosphates in agrogray soils with periodic water logging according to the data of ^{13}P nmr spectroscopy // Eurasian Soil Science. 2011. Vol. 44, no. 1. P. 29-37.

TO THE QUESTION ABOUT OF CHARACTERISTICS OF THE CONTENT AND PROPERTIES OF ORTSTEINS IN DRANED SOILS

Kovalev Ivan, Kovaleva Natalia

Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty

Moscow, Russia

E-mail: kovalevmsu@mail.ru

Abstract. On the example of light gray gleyed soils, it is shown that while the soil remains in its natural state, the number of nodules, the content of biophilic elements, and the distribution of the microbial pool adequately reflect the degree of soil hydromorphism. Drainage of soils with a variable redox regime promotes the release of biophilic elements from nodules as the latter degrade and causes a deep destructive transformation of such stable compounds as lignin.

Keywords: nodules, hydromorphic soils, drainage, various types of drainage.

НЕОДНОРОДНОСТЬ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ОСУШЕННЫХ ЛАНДШАФТОВ

Ковалева Наталия Олеговна, Ковалев Иван Васильевич

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
факультет почвоведения, Москва, Россия
E-mail: natalia_kovaleva@mail.ru

Аннотация. Показано, что первичная неоднородность почвенного покрова, обусловленная гидрологической и литологической неоднородностью, усугубляется при строительстве дренажа. Установлены статистически достоверные отличия морфологических, физических и химических свойств почв осушенных полигонов, дренажных и щелевых траншейных засыпок, возникающих при строительстве осушительных систем на сельскохозяйственных угодьях и на объектах ландшафтного озеленения.

Ключевые слова: неоднородность почвенного покрова, гидрологический режим, литология, гидроморфные почвы, осушение, траншейные засыпки.

Введение. Массовое появление новых типов антропогенных ландшафтов во всех без исключения природных зонах существенно меняет типичную горизонтальную структуру почвенного покрова и вертикальное сложение почв, которые необходимо учитывать при постановке полевых и лабораторных экспериментов.

Пестрота почвенного покрова, обусловленная первичной неоднородностью водного режима, литологией и гранулометрическим составом грунтов [1], степенью заболоченности почв, усугубляется вторичной морфологической, химической и гидрологической неоднородностью, возникающей под влиянием строительства дренажа [3, 6]. Так, при осушении заболоченных почв в Нечерноземной зоне под действием гончарного, и в меньшей степени, пластмассового дренажа возникают новые вторичные структуры – траншейные и щелевые засыпки. При строительстве гончарного дренажа создается траншея шириной 40 см и глубиной до 120 см. При этом мелкозем подпахотных слоев поступает на поверхность, частично перемешивается с пахотным и, после укладки дрен, засыпается обратно в траншею, обогащенный органическим веществом. При укладке пластмассового дренажа дренаукладчики лишь прорезают почвенные горизонты шириной 12 см, не нарушая естественного сложения подпахотных слоев. Мелкозем, закладываемый над пластмассовой дренаей, обогащается гумусом

лишь в результате осыпания верхних слоев. В целом на 1 га при междренном расстоянии 16 м траншейные обратные засыпки составляют – 2,45 %, а щелевые – 0,72 % площади. Структура почвенного покрова (СПП) усложняет строительство открытых магистральных каналов. Вынутый мелкозем из нижних подпахотных горизонтов и почвообразующих пород после планировки перекрывает гумусовый горизонт мощностью до 40 см на расстоянии 5-20 м от канала. С учетом значительной площади осушенных почв (8-9 млн. га) в Нечерноземье [3], траншейные засыпки заслуживают отдельного учета при планировании полевых экспериментов.

Объекты. Исследование выполнено: 1) в Котельничском районе Кировской области на дерново-глееватых и перегнойно-глеевых осушенных почвах, приуроченных к пермским красноцветным карбонатным породам; 2) в Ступинском районе Московской области на серых глееватых естественных и осушенных почвах, сформированных на покровных лессовидных суглинках [4, 6], 3) на объектах ландшафтного строительства в Московской области.

Методы исследования. Свойства и режимы естественных и осушенных почв исследованы традиционными методами изучения физических и химических свойств почв [4, 6]. Изучены показатели гумусного состояния почв, в том числе методами газо-жидкостной хроматографии [5] и ЯМР-спектроскопии.

Результаты и обсуждение. Установлено, что материал засыпки гончарного и щели пластмассового дренажа, на дерново-глееватых и перегнойно-глеевых почвах (Кировская область), несмотря на различный качественный состав слагающего их мелкозема, имеет одинаковую плотность сложения, агрегатный состав и близкую водопроницаемость. На 10-ый год последствия дренажа в траншейных засыпках с глубиной происходит уменьшение содержания общего углерода и увеличение количества фульвокислот. Это связано с поступлением основной массы воды в дрены путем фильтрации через материал дренажных засыпок, в которых возникают анаэробные условия. В щели пластмассового дренажа подобное явление наблюдается лишь в перегнойно-глеевых почвах.

Зафиксировано два минимума, свойственного кривым распределения оксалатного и общего несиликатного железа по профилю траншейной и щелевой засыпок в сильнозаболоченной (перегнойно-глеевой) почве: на глубине 35-40 см в связи с водоупорным глеевым горизонтом; второй минимум совпадает с зоной накопления фульвокислот в нижних слоях засыпок. В почвах меньшей степени

заболоченности (дерново-глееватых) в течение 10 лет незначительный застой влаги в поверхностных горизонтах на фоне обеспеченного дренажа вызывает слабовыраженное элювиирование несиликатного железа (в основном, оксалатного) из верхних слоев профиля засыпки гончарного дренажа и их незначительное накопление в иллювиальных слоях засыпки. Таким образом, иллювиирование в нижних слоях засыпки, переход органического вещества в подвижную форму фульвокислот на сильнозаболоченных почвах при недостаточно быстром отводе избыточных вод дренами потенциально может способствовать существенному изменению в неблагоприятную сторону физических свойств почв: агрегатного состава, плотности почвы.

Траншейные гончарные засыпки и щели пластмассового дренажа в серых глееватых почвах (Московская область) на начальном этапе последствия гончарного и пластмассового дренажа обладают значимо меньшими значениями плотности сложения, повышенными величинами вертикальной фильтрации (определенной методами Хануса и Качинского) по сравнению с иллювиальными горизонтами на сопоставимых глубинах. Однако в слоях щели пластмассового дренажа, соответствующих иллювиальным горизонтам, плотность выше, водопрочность агрегатов мелкозема ниже, чем в слоях засыпки гончарного дренажа, что объясняется разным содержанием мелкозема пахотного горизонта, поступившего при укладке дрен на различную глубину.

В органическом веществе мелкозема вторичных вертикальных антропогенных образований в первые 3 года работы дренажа наблюдается резкое увеличение соотношения $S_{гк}:S_{фк}$ по всей их толще. Интенсивно дренируемая засыпка щели пластмассового дренажа характеризуется весьма существенным и однородным по всему профилю увеличением соотношения $S_{гк}:S_{фк}$ (2,1-2,3), повышением значений коэффициента экстинкции (с 0,010 до 0,160). Засыпка гончарного дренажа имеет двухъярусный характер по этому показателю. В верхнем полуметре наблюдаются высокие значения $S_{гк}:S_{фк}$ (2,04-2,72), что свидетельствует о высоком уровне аэрации этого слоя. Глубже, до дна траншеи, состав гумуса мелкозема приобретает гуматно-фульватный характер. В силу своих конструктивных особенностей гончарные дрены отводят избыточную влагу медленнее, чем пластмассовые. В мелкоземе нижних слоев засыпки гончарного дренажа весной происходит застой влаги, и, возможно, глееобразование. Видимо, данное условие имеет место на спаде паводка, когда в нижних слоях почвенного профиля еще сохраняется переувлажнение, а температура поверхностных горизонтов превышает 5-10 °С. Дренажный сток обычно прекращался в первой декаде мая: модуль дренажного стока 30 марта - 0,06 л/сек-га; 19 апреля - 0,004 л/сек-га.

Таблица 1. Коэффициенты вертикальной и горизонтальной фильтрации агросерых глееватых почва и траншейных засыпок, м/сут

| Горизонт | Глубина, см | n | M | Доверительный интервал среднего |
|---|-------------|---|-------|---------------------------------|
| Вертикальная фильтрация (по методу Хануса) | | | | |
| Агросерая гееватая недренированная (контроль) | | | | |
| ELB fs | 32–40 | 6 | 0.25 | 0.03–0.47 |
| BT2 g'' | 58–66 | 6 | 0.68 | 0.23–1.13 |
| BT3 g''' | 97–105 | 6 | 0.28 | 0.06–0.50 |
| Агросерая глееватая почва, осушенная пластмассовым дренажом (междренье) | | | | |
| P fs,g' | 10–18 | 6 | 2.05 | 0.16–3.94 |
| ELB fs | 32–40 | 6 | 0.92 | 0.40–1.44 |
| BT2 g' | 58–66 | 6 | 1.00 | 0.42–1.58 |
| BT3 g' | 97–105 | 6 | 0.48 | 0.19–0.87 |
| Боковая фильтрация (метод Хануса) | | | | |
| Агросерая недренированная глееватая почва (контроль) | | | | |
| BT2 g'' | 58–66 | 5 | 0.14 | 0.03–0.25 |
| BT3 g''' | 97–105 | 5 | 0.013 | 0.003–0.023 |
| Щель пластмассового дренажа (метод Хануса) | | | | |
| | 0–20 | 5 | 14.10 | 4.57–23.63 |
| | 32–40 | 6 | 7.32 | 0.81–13.83 |
| | 94–102 | 6 | 1.57 | 0–3.68 |
| Засыпка гончарного дренажа (метод Хануса) | | | | |
| | 32–40 | 5 | 2.03 | 0.45–3.61 |
| | 60–68 | 5 | 9.74 | 3.24–16.24 |
| | 92–100 | 5 | 1.55 | 0–3.92 |
| Засыпка гончарного дренажа (метод Качинского) | | | | |
| | 40 | 3 | 1.60 | 0.71–2.49 |
| | 80 | 3 | 1.35 | 0.88–4.31 |

Доверительный интервал: (при $P = 0,95$).

Анаэробная обстановка в данный период препятствует образованию и накоплению гуминовых соединений. Под действием глееобразования возможен переход части гуминовых кислот в фульвокислоты, что может объяснить снижение значения $S_{гк}:S_{фк}$ в нижних слоях засыпок гончарного дренажа. Однако, несмотря на перечисленные факторы, соотношения $S_{гк}:S_{фк}$, $C:N$, величины коэффициента экстинкции, отношение углерода ароматических структур к углероду алифатических структур (A_r/A_L) в засыпках отличаются высокими значениями по сравнению с гумусом исходных почв. Последнее позволяет признать, что органическое вещество траншейных и щелевых засыпок на начальных стадиях последствия дренажа повышает устойчивость гуминовых

Список литературы

1. Дмитриев Е.А. Теоретические и методологические проблемы почвоведения. М.: ГЕОС, 2001. 374 с.
2. Дмитриев Е.А., Манучаров А.С. К объяснению причин асимметрии в распределении водопроницаемости // Почвоведение. 1968. № 7. С. 91-101.
3. Ковалев И.В. Мелиорация как стратегия экологической и продовольственной безопасности в условиях изменения климата // Человек и природа: материалы XXVII Международной междисциплинарной конференции «Проблемы социоестественных исследований». М.: МАКС Пресс, 2017. 158 с.
4. Kovalev I.V. Drained soils as an analogue of a large-area lysimeter // Moscow University Soil Science Bulletin. 2021. Vol. 76. No. 3. P. 138-147.
5. Kovalev I.V., Kovaleva N.O. Biochemistry of lignin in soils of periodic excessive moistening (from the example of agrogray soils // Eurasian Soil Science. 2008. Vol. 41. No. 10. P. 1066-1076.
6. Kovalev I.V., Kovaleva N.O. Evaluation of the effect of modern drainage technologies on the physical properties and productivity of mineral hydromorphic soils // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2019. Vol. 368. No. 1 (012024). P. 1-10.

TO THE QUESTION ABOUT OF CHARACTERISTICS OF THE CONTENT AND PROPERTIES OF ORTSTEINS IN DRANED SOILS

Kovaleva Natalia, Kovalev Ivan

Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty
Moscow, Russia

E-mail: natalia_kovaleva@mail.ru

Abstract. It is shown that the primary heterogeneity of the soil cover, caused by hydrological and lithological heterogeneity, is exacerbated by drainage of landscapes. Statistically significant differences in the morphological, physical and chemical properties of soils of drained landfills, drainage and slotted trench fillings were found for agricultural lands.

Keywords: Inhomogeneity of soil cover, hydrological regime, lithology, hydromorphic soils, drainage, trench backfill

УДК: 504.054; 528.063.9

АНАЛИЗ ПАРАГЕННЫХ АССОЦИАЦИЙ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ Г. МИНСКА

*Карпиченко Александр Александрович,
Кухлевский Егор Александрович*

Белорусский государственный университет, факультет географии
и геоинформатики, Минск, Беларусь
E-mail: kuhljevskiegor@gmail.com

Аннотация. В статье рассмотрена специфика и основные статистические показатели накопления тяжелых металлов в почвах города Минска. Выделены техногенная и литогенная ассоциации элементов методом главных компонент. Рассмотрены вероятные причины накопления элементов.

Ключевые слова: тяжелые металлы, техногенез, почвы, Минск, Беларусь.

Введение. Для понимания специфики техногенных процессов, происходящих в окружающей среде, широко применяются многомерные методы анализа. В геохимии техногенеза широкое распространение получил метод главных компонент. Он позволяет выделить ассоциации парагенных элементов и тем самым объясняет причинно-следственные связи их накопления. С этими целями сотрудниками научно-исследовательской лабораторией экологии ландшафтов Белорусского государственного университета был проведен выборочный отбор проб почв и грунтов на территории города при участии авторов. Анализ валового содержания тяжелых металлов (Cr, Mn, Ni, Pb и Cu) производился эмиссионно-спектральным методом.

Объекты и методы. Объектом исследования являются особенности распределение тяжелых металлов в почвенно-грунтовой покрове города. Для установления существующих парагенных ассоциаций данных металлов был применен метод главных компонент. Как значимые рассматривались два фактора, выделенные по критерию Кайзера (с собственным значением, превышающим 1). Для удобства интерпретации данных было применено ортогональное вращение матрицы факторных нагрузок методом Varimax, которое минимизирует число переменных с высокими нагрузками на каждый фактор. В результате были получены значения факторных нагрузок химических элементов, на основании которых они объединялись в ассоциации и далее анализировались на предмет совместного накопления в результате определённого процесса.

Результаты и обсуждение. Статистические характеристики приведены в табл. 1. Можно видеть, что для меди и свинца характерно аномальное и близкое к нему варьирование, что может указывать на явно техногенное накопление [4]. Распределение остальных металлов, очевидно, более сложно и происходит под действием комплекса факторов. Для всех элементов характерно накопление относительно фонового содержания в почвах республики [2], в то время как превышение ПДК [3] установлено только для Cu, Pb и Ni. Максимальные содержания связаны с центральными и промышленными частями города, а минимальные – с территорией бывшего военного полигона на юго-востоке Минска.

Таблица 1. Основные статистические параметры распределения тяжелых металлов в почвах г. Минска, мг/кг

| | Cu (n = 52) | Pb (n = 52) | Ni (n = 52) | Mn (n = 40) | Cr (n = 52) |
|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Min | 3 | 3,26 | 1,3 | 65,4 | 4,87 |
| Max | 75,3 | 68,23 | 28 | 492,4 | 51,88 |
| Среднее | 12,36 | 17,00 | 10,15 | 278,67 | 23,35 |
| Медиана | 9,57 | 10 | 9,6 | 286,5 | 23,1 |
| V, % | 105,21 | 94,07 | 65,76 | 43,28 | 51,2 |
| Процент проб выше фона | 28,85 | 49,02 | 5,77 | 57,50 | 15,38 |
| Процент проб выше ПДК | 3,85 | 13,73 | 5,77 | - | - |

Для фактора 1 характерна литогенная ассоциация Cr-Mn (рис. 1). Хром оказывает наибольшую нагрузку на данный фактор (0,93), а марганец, в свою очередь, 0,89. Содержание данных элементов, в большинстве своём, определяется региональными литохимическими особенностями содержанием металлов в почвообразующих породах, что подтверждается коэффициентами вариации (Cr – 51,2%; Mn – 43,28%) и фоновыми значениями концентраций. Высокий размах варьирования объясняется неоднородностью гранулометрического состава почвообразующих пород. Накопление Mn также отражает геохимическую специфику территории. Исходя из выше сказанного, можно предполагать, что фактор 1 отражает литохимические особенности почвообразующих пород, когда повышенные содержания отмечаются для суглинистых моренных и лессовидных почв.

Для фактора 2, вносящего заметно меньший вклад в общую дисперсию (21%), характерна ассоциация элементов Ni-Pb-Cu (см. рис. 1). Данная парагенная ассоциация, вероятно, сформировалась преимущественно под действием техногенеза, что подтверждается исходя из характера варьирования и тенденции к накоплению (см.

табл. 1). Медь оказывает наибольшую нагрузку на данный фактор (0,95), свинец – 0,8, а никель – 0,7. Соответственно, накопление Cu-Pb в большей степени определяется техногенезом, что подтверждается аномальным и очень высоким варьированием (см. табл. 1), а для Ni в меньшей, исходя из факторной нагрузки и характера распределения. Исходя из этого можно говорить об комплексном влиянии факторов на особенности его накопления. Наибольшее накопление Ni характерно для суглинистых почв, что может указывать на вероятный механизм накопления (абсорбцию металлов глинистыми минералами [5]). Исходя из того, что данные элементы распределены крайне неравномерно, с явными максимумами накопления вблизи объектов, являющихся источниками техногенной эмиссии тяжелых металлов, можно говорить о том, что фактор 2 отражает техногенез.

Таблица 2. Факторные нагрузки химических элементов

| Фактор | Нагрузки элементов на фактор | | | | | |
|--------|------------------------------|------|-----|------|------|----------|
| | Cu | Pb | Ni | Mn | Cr | Вклад, % |
| 1 | 0,02 | 0,43 | 0,5 | 0,89 | 0,93 | 63 |
| 2 | 0,95 | 0,8 | 0,7 | 0,2 | 0,1 | 21 |

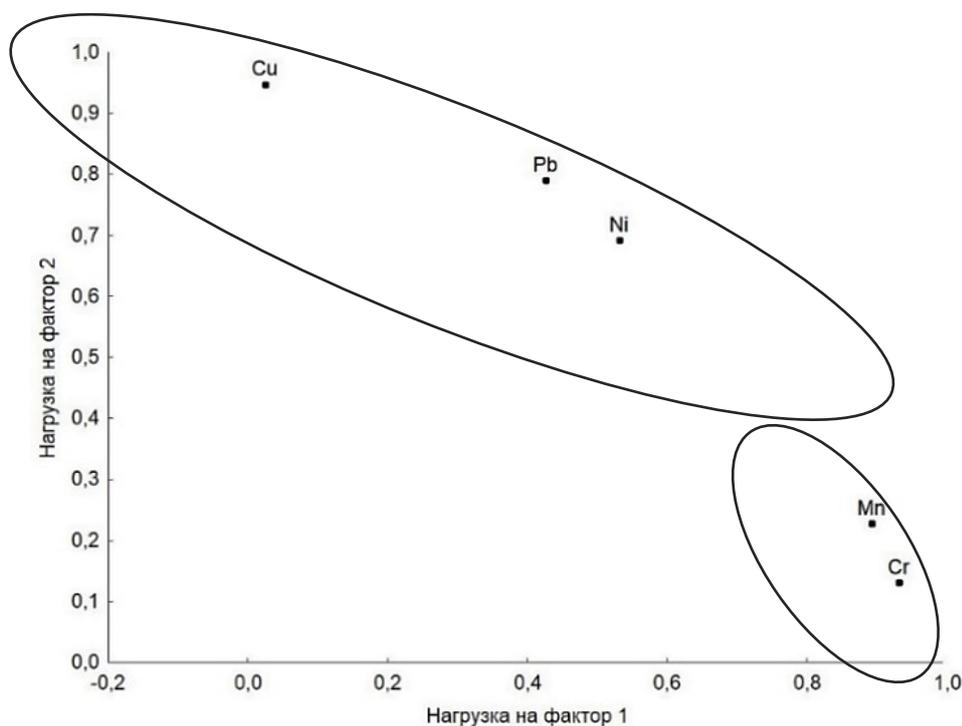


Рис. 1. График факторных нагрузок в двумерном пространстве

Заключение. В результате проведенного анализа были получены данные об парагенном накоплении тяжелых металлов в почвах города. В итоге установлено, что наибольшие концентрации металлов приурочены к центральной и производственным зонам города. На данных

территориях значимым фактором распределения металлов является техногенез, следовательно, характерно парагенное накопление техногенной ассоциации Cu-Pb-Ni. Главными источниками её формирования являются атмосферические выбросы машиностроительных предприятий и транспорта. Оседая из атмосферы на поверхность почвы, они накапливаются и тем самым преобразуют её. В то же время литогенная ассоциация Mn-Cr в поверхностном горизонте почв сформировалась под действием педогенеза и является естественной для данной территории, что отмечалось нами для других городов Беларуси, например, для Молодечно [1]. Проведённый факторный анализ позволил более точно определить причины формирования данных ореолов накопления и выявить существующие ассоциации.

Список литературы

1. Карпиченко А.А., Семенюк А.С. ГИС-картографирование факторов накопления тяжелых металлов в почвах города Молодечно // Географические аспекты устойчивого развития регионов: сб. материалов IV Междунар. науч.-практ. конф., 27–29 мая 2021, Гомель. 2021. С. 65–69.
2. Петухова Н.Н. Геохимия почв Белорусской ССР. Минск: Наука и техника, 1987. 231 с.
3. Перечень предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно допустимых концентраций (ОДК) химических веществ в почве. Гигиенические нормативы 2.1.7.12-1-2004. Минск, 2004.
4. Тюлькова Е.Г., Карпиченко А.А. Эколого-геохимическая оценка условий развития и адаптация древесных растений к техногенному воздействию (на примере г. Гомеля) // Природные ресурсы. 2020. № 2. С. 70–77.
5. White W.M. (ed.). Encyclopedia of Geochemistry: A Comprehensive Reference Source on the Chemistry of the Earth. Springer International Publishing, 2018. 1574 p.

ANALYSIS OF PARAGENIC ASSOCIATIONS OF HEAVY METALS IN THE SOILS OF MINSK

Karpichenka Aliaksandr, Kyhlevski Egor

Belarusian State University, Faculty of Geography and Geoinformatics,
Minsk, Belarus

E-mail: kyhlevskiegor@gmail.com

Abstract. The article discusses the specifics and basic statistics of the accumulation of heavy metals in the Minsk city soils. Technogenic and lithogenic associations of elements are identified by the principal component method. Probable reasons for the accumulation of the elements are considered.

Keywords: heavy metals, technogenesis, soils, Minsk, Belarus.

**МОДЕЛИ ВЗАИМОСВЯЗИ МЕЖДУ ЭКОНОМИЧЕСКИМИ,
ПОЧВЕННЫМИ И КЛИМАТИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ
В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ ЛИПЕЦКОЙ ОБЛАСТИ**

*Куделин Владислав Николаевич¹, Макаров Олег Анатольевич^{1, 2},
Строков Антон Сергеевич³*

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

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
Учебно-опытный почвенно-экологический центр
МГУ им. М.В. Ломоносова, городской округ Солнечногорск,
Московская область, Россия

³ РАНХиГС при Президенте Российской Федерации, Москва, Россия
E-mail: vlad-92-92@mail.ru

Аннотация. Для сельскохозяйственного региона Липецкой области были построены регрессионные модели, которые позволили выявить относительное влияние экономических, почвенных и климатических факторов на изменение урожайности основных растениеводческих культур и выручку от реализации с/х продукции предприятиями.

Ключевые слова: урожайность, влияние климата, эрозия почв, регрессионные модели, растениеводство.

Введение. Проблема прогнозной оценки влияния глобальных изменений природной среды и климата на продукционный потенциал агроэкосистем в Российской Федерации не решена и является актуальной.

Очевидно, что эффективное изучение взаимозависимостей типа «климат – почва – урожайность» для субъектов Российской Федерации может послужить основой для оценки развития сельского хозяйства, которая позволят давать прогнозные оценки взаимодействия между указанными группами показателей.

Целью исследований, отраженных в настоящей статье, являлась оценка влияния почвенных и климатических факторов на урожайность основных сельскохозяйственных культур в агрохозяйствах и муниципальных районах Липецкой области за период 1995–2008 гг. при помощи серии регрессионных уравнений (эконометрических моделей).

Объекты и методы. Территория Липецкой области входит в Среднерусскую лесостепную провинцию оподзоленных, выщелоченных и типичных среднегумусных и тучных мощных черноземов и серых

лесных почв. В систематический список почв региона включены 16 типов, 39 подтипов и большое количество родов почв. На долю серых лесных почв приходится 8% от общей площади Липецкой области, черноземов – 90%, прочих – 2% [1].

Основой экономики Липецкой области являются высокопродуктивное сельское хозяйство и пищевая промышленность. В структуре посевных площадей Липецкой области наибольшую долю занимали озимая и яровая пшеница (29,2%), озимый и яровой ячмень (21,1%), подсолнечник (12,9%), сахарная свекла (8,1%), кукуруза на зерно (7,5%), озимый и яровой рапс (3,1%) и соя (2,7%) [2].

Методологическая концепция эконометрических моделей связана с разработками [3], которые определяли качество с/х угодий (почвенные характеристики) как более важного фактора в производственной функции с/х предприятий, нежели площади этих угодий. Эконометрические модели опираются на исследования [4], в работах которых использовалась модифицированная функция Кобба – Дугласа, где был добавлен качественный показатель пашни – удельная площадь овражно-балочной сети. Их результаты указывали на то, что на деградированных почвах сложно достигнуть тех же уровней урожайности, что и на недеградированных, а с увеличением площади оврагов и балок выход с/х продукции снижается.

В отличие от работ [3, 4], в исследованиях по Липецкой области использовались изначально нормированные показатели, кроме почвенных и климатических, соотношенные с:

- 1) размерами (площадью) посевов (уравнение (1)),
- 2) площадью сельскохозяйственных угодий (уравнение (2)),
- 3) затратами в основном производстве (уравнение (3)).

Для выявления дополнительных факторов, статистически значимо влияющих на урожайность, были добавлены почвенные и климатические показатели. Используемые в работе эконометрические модели (1) – (3) представлены в форме линейно-логарифмических уравнений.

Оценка эффекта от внесения удобрений вкупе с почвенно-климатическими факторами решалась при помощи уравнения (1):

$$Y = f(\text{FERT}, \text{CLIM_DYN}, \text{SOIL}, \text{EROS}), \quad (1)$$

где Y – урожайность в кормовых единицах, ц/га;

FERT – стоимость внесенных минеральных удобрений (NPK), тыс. руб./га;

Уравнение (2) является разновидностью производственной функции Кобба-Дугласа, где ее основные элементы (зависимая и независимые переменные) соотносятся с площадью сельскохозяйственных угодий хозяйств. Тем самым, нивелировался эффект масштаба, который

возникал бы при включении в выборку агрохозяйств различных размеров (площадей):

$$Q/LAND = f (WORK/LAND, CROP/LAND, CAPITAL/LAND, CLIM_DYN, SOIL, EROS), \quad (2)$$

где $Q/LAND$ – соотношение выручки от реализации всей с/х продукции к площади сельхозугодий агрохозяйства (тыс. руб./га);

$WORK/LAND$ – количество занятых людей в с/х производстве, соотнесенное с площадью сельхозугодий агрохозяйства (чел./га);

$CROP/LAND$ – посевная площадь, соотнесенная с площадью всех сельхозугодий агрохозяйства (га/га);

$CAPITAL/LAND$ – величина используемого в производстве капитала (тыс. руб. / га);

Для сопоставления выхода продукции сельского хозяйства с затратами в с/х производстве (по аналогии с методикой [5]), использовалось уравнение (3), дающее возможность оценить влияние экономических, почвенных и климатических показателей на рентабельность всего сельскохозяйственного производства:

$$Q/COST = f (WORK/COST, LAND/COST, CAPITAL/COST, CLIM_DYN, SOIL, EROS), \quad (3)$$

где $Q/COST$ – рентабельность сельскохозяйственного производства (выручка / затраты), тыс. руб./ тыс. руб.;

$WORK/COST$ – количество занятых людей в с/х производстве, соотнесенное с затратами (чел./ тыс. руб.);

$LAND/COST$ – площадь сельскохозяйственных угодий, соотнесенная с затратами на сельскохозяйственное производство (га / тыс. руб.);

$CAPITAL/COST$ – величина используемого при реализации продукции капитала (себестоимость реализованной продукции), соотнесенная с затратами на сельскохозяйственное производство (тыс. руб./тыс. руб.);

Таким образом, уравнение (1), позволяет оценить, какие факторы влияют на продуктивность пашни в большей степени. Уравнение (2) помогает определить экономическую эффективность использования всех сельскохозяйственных угодий за счет учета выручки, как от продукции растениеводства, так и животноводства. Уравнение (3) позволяет оценить факторы, влияющие на рентабельность агрохозяйств.

Все стоимостные показатели за каждый год приводились в сопоставимые цены 2008 г. с помощью дефляторов. Аппроксимация моделей (1–3) линейно-логарифмическими уравнениями производилась методом наименьших квадратов в программе STATA (версия 11).

Результаты и обсуждение. Для расчетов по уравнениям (1), (2) и (3) была подготовлена база данных, состоящая из почвенных, климатических и экономических показатели из различных источников.

Статистические данные экономических и сельскохозяйственных показателей с/х предприятий Липецкой области за период 1995–2008 гг. были взяты из базы данных СХО Росстата. К этим данным были добавлены данные по муниципальным районам Липецкой области по почвенным показателям, размещенным на сайте Липецкой агрохимической службы [6].

Использовались результаты VII (1994–1997 гг.), VIII (1998–2002 гг.), IX (2003–2007 гг.) и X (2008–2012 гг.) циклов агрохимического обследования: средневзвешенное значение содержания подвижного фосфора (мг/кг), обменного калия (мг/кг), содержания гумуса (% к площади пашни района).

В базу данных также вошли несколько показателей эрозии почв: использовали данные Л.В. Замятиной (площадь смытых почв, %; площадь оврагов, га/км; площадь подтопленных земель, га/км²) [7] и Е.В. Недиковой, С.В. Масленниковой, П.В. Бакулиной (удельный вес потенциально эрозионных почв, % от общей площади сельскохозяйственных угодий района; доля фактически эродированных почв, % от общей площади с/х угодий) [8].

Для формирования климатических данных применялись среднемесячные и среднегодовые данные по атмосферным осадкам и температуре атмосферного воздуха метеостанций в с. Конь-Колодезь и г. Елец [9, 10].

Результаты расчетов урожайности, полученными при аппроксимации по уравнению (1), показали, что почвенные характеристики на уровне муниципальных районов положительно влияют на рост урожайности этих культур. Так, значение параметра коэффициента эластичности для обменного калия и доступного фосфора составляют +0,24 и +0,29, соответственно. Показатель потенциальной эрозии почв на уровне муниципального района (статичный показатель) влияет на снижение урожайности (со слабой значимостью).

Из представленных факторов наиболее сильное влияние (с отрицательным знаком) оказывают среднемесячные показатели температуры атмосферного воздуха –1,50. Это означает, что уменьшение температуры в том или ином муниципальном районе Липецкой области в среднем за месяцы май–июль на 1% ведет к увеличению годовой продуктивности пашни хозяйства, выраженной в выходе кормовых единиц, на 1,5%. Эту зависимость можно выразить так: рост температур в Липецкой области в период май–июль может быть отражением негативных тенденций изменения климата и приводить к снижению урожайности. Наибольшая статистическая значимость проявляется у показателей затрат на минеральные удобрения, что свидетельствует о

возможности агрохозяйствами увеличивать урожайность путем совершенствования технологий и увеличения внесения минеральных удобрений на единицу посевов.

В результатах оценки параметров уравнения (2), как и при анализе уравнения (1), здесь прослеживается отрицательное влияние потенциальной эрозии почв на объем выручки.

Следовательно, проявление эрозии почв не только способствует снижению урожайности сельскохозяйственных культур (уравнение (1)), но и в целом негативно сказывается на финансовой деятельности агропредприятия.

Содержание обменного калия в почве является важным условием размещения и наращивания производства, и поэтому значение параметра этого фактора имеет положительный знак, как и в уравнении (1). Следует отметить, что значение параметра при показателе содержания органического вещества имеет отрицательный знак, что в данном случае свидетельствует о незначительной роли пониженного содержания гумуса при принятии решения о размещении сельскохозяйственного предприятия и организации его деятельности на территории Липецкой области.

В уравнении (2) изменились знаки параметров показателей температуры и осадков по сравнению с уравнением (1). Если в уравнении (1) использовались средние данные за 5–7 месяцы (май–июль) каждого года, то в уравнении (2) применялись среднегодовые данные по температуре и сумме осадков за год. Оцениваемые параметры имели положительный знак, что свидетельствует о том, что увеличение температуры и количества осадков на исследуемом промежутке времени (1995–2008 гг.) положительно влияло на выход продукции (в стоимостном выражении) с единицы площади используемых земель. Это может быть признаком того, что изучаемый промежуток времени является слишком кратким для выявления влияния изменения климата на объем выручки от сельскохозяйственной деятельности (возможно, здесь просто совпадение трендов).

Из анализа уравнения (3) следует, что увеличение средней температуры атмосферного воздуха в мае–июле на исследуемом промежутке времени вело к уменьшению рентабельности хозяйств, что соответствует результатам анализа уравнения (1). Потенциальная эрозия почв также негативно влияла на рентабельность аграрных предприятий.

Показатели качества почв (содержание органического вещества, обменного фосфора и доступного калия) не включены в итоговое уравнение (3), поскольку они были статистически незначимыми. В итоге,

главным фактором увеличения рентабельности оказался капитал (у него самая большая значимость t статистики) и уменьшение площади сельскохозяйственных угодий.

Таким образом, основным драйвером повышения рентабельности агропредприятия в данном случае становится интенсификация сельскохозяйственного производства.

Заключение. Проведенное исследование доказывает возможность интеграции экономических, почвенных и климатических показателей при оценке результативности работы с/х предприятий (урожайности и выручки).

Результаты для Липецкой области показывают, что из климатических данных наиболее сильное влияние на снижение урожайности и выручки агрохозяйств региона оказывает увеличение среднемесячной температуры в период с мая по июль.

Из почвенных показателей наиболее устойчивое статистически значимое влияние на рост урожайности в кормовых единицах и рост всей выручки от с/х деятельности муниципальных районов Липецкой области оказывало среднее содержание обменного калия в возделываемых почвах и увеличение затрат на минеральные удобрения. При этом показатель потенциальной эрозии почв влиял на уменьшение урожайности и выручки.

Благодарности

Исследование выполнено в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема №121042600177-3 «Агрохимическая, экотоксикологическая и эколого-экономическая оценка антропогенно преобразованных почв Северного Подмосковья») и Программы развития Междисциплинарной научно-образовательной школы МГУ им. М.В. Ломоносова «Будущее планеты и глобальные изменения окружающей среды».

Список литературы

1. Ахтырцев Б.П., Сушков В.Д. Почвенный покров Липецкой области. Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 1983. 264 с.
2. Сайт экспертно-аналитического центра агробизнеса. URL: <http://abs-centre.ru/page/selskoe-hozyaystvolipeckoy-oblasti/> (дата обращения: 31.07.2019).
3. MacCallum D.E. Soil erosion control and resource allocation / 10th Annual Australian Agricultural Economics Society Conference, February, Armidale, 1967.

4. Walpole S., Sinden J., Yapp T. Land quality as an input to production: the case of land degradation and agricultural output // *Economic analysis & policy*. 1996. V. 26. № 2. P. 185-207.
5. Светлов Н.М., Янбых Р.Г., Логинова Д.А. О неоднородности эффектов господдержки сельского хозяйства // *Вопросы экономики*. 2019. № 4. С. 59-73.
6. Сискевич Ю.И., Бровченко Н.С., Гасиев К.Н., Никулова В.А. Мониторинг агрохимических показателей почв Липецкой области. URL: <https://agrohim48.ru/articles/monitoring-agrohimicheskix-pokazatelej-pochv-lipeczkojoblasti.html> (дата обращения: 07.06.2019).
7. Замятина Л.В. Методика оценки состояния земельных ресурсов и обоснование мониторинга земель: на примере Липецкой области: автореф. дисс. ... канд. географ. наук: 25.00.26. М.: б.и., 2004. 25 с.
8. Недикова Е.В., Масленникова С.В., Бакулина П.В. Анализ эрозионных процессов на территории Липецкой области // *Модели и технологии природообустройства региональный аспект*. 2017. Т. 2 (5). С. 50–53.
9. База данных NCDC Climate data online по осадкам и температуре на станциях Конь-Колодезь и Елец. URL: <https://www.ncdc.noaa.gov/cdo-web/> (дата обращения: 03.07.2019).
10. База данных Беркли по наблюдениям ежемесячным по температуре на метеостанции в Ельце. URL: <http://erkeleyearth.lbl.gov/auto/Stations/TAVG/Text/169249-TAVG-Data.txt> (дата обращения: 03.07.2019).

MODELS OF THE RELATIONSHIP BETWEEN ECONOMIC, SOIL AND CLIMATIC INDICATORS IN AGRICULTURE OF THE LIPETSK REGION

V.N.Kudelin¹, O.A.Makarov^{1, 2}, A.S. Strokov³

¹ Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty,
Moscow, Russia

² The EE Soil-Ecological Center «Chashnikovo» of Moscow State University

³ The Russian Presidential Academy of National Economy and Public
Administration (RANEPA), Moscow, Russia

E-mail: vlad-92-92@mail.ru

Abstract. Several regression equations were constructed to identify the relative impact of economic, soil and climatic factors on the yield of major crops and the value of sales of agricultural products in agricultural organizations of the Lipetsk region.

Keywords: productivity, climate influence, soil erosion, soil indicators, regression models, crop production

АНАЛИЗ СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ АГРОСЕРОЙ ПОЧВЫ*

Мищенко Анастасия Вячеславовна, Карпова Дина Вячеславовна

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
факультет почвоведения, Москва, Россия
nast0896@mail.ru, karpovad@mail.ru

Аннотация. Проанализировано структурное состояние агросерой почвы в слое 0-20 см при четырёх видах обработки: отвальной, энергосберегающей, ярусной и противоэрозионной. Почвы имеют отличную структуру при всех обработках, но методом главных компонент и кластерным анализом выявлено, что при отвальной обработке увеличивается содержание агрегатов >10 мм, и падает водопрочность.

Ключевые слова: почвенные агрегаты, кластерный анализ, метод главных компонент, водопрочность, способы обработки почвы.

Введение. Для описания структуры почвы используются коэффициент структурности, критерий водопрочности, содержание агрономически ценных агрегатов [1,5]. Эти характеристики дают представление о структурном состоянии почвы. Нашей целью было сравнить структурное состояние и водопрочность агросерой почвы при четырёх видах обработки: отвальной, энергосберегающей, ярусной и противоэрозионной. По классическим характеристикам структурное состояние было отличным при всех обработках, почвы имели высокую водопрочность и содержание агрономически ценных агрегатов. Поэтому для сравнения их структуры мы решили использовать метод главных компонент и кластерный анализ [2]. Такой подход к агрегатному анализу был описан Холодовым [4]. Также этот подход был нами применён для выявления особенностей структуры агросерой почвы при наличии второго гумусового горизонта [3].

Объекты и методы. Исследования проводились на участке опытного поля по изучению адаптивно-ландшафтных систем земледелия ФГБНУ «Верхневолжский ФАНЦ». Опыт был заложен в 1995 году. Обработки включают в себя операции – общепринятая отвальная под все культуры: лущение стерни осенью после уборки предыдущей культуры, вспашка на глубину 20-22 см, а под 5-ю культуру (черный или занятый пар) глубокое рыхление на 25-27 см. Комбинированно-энергосберегающая: плоскорезная обработка на 10-12 см и весеннее гл. рыхление на 25-27 см два раза в ротацию. Комбинированно-ярусная: плоскорезная обработка на 10-12 см, весеннее гл. рыхление на 25-27 см.

Перед мн. травами 1 г.п., яровой пшеницей – вспашка на 20-22 см. Противозерозионная обработка: гл. рыхление на 25-27 см осенью и весной.

Почвенные образцы мы отобрали при всех видах обработки с глубины 0-20 см с делянок под чёрным паром, под паром, занятым викоовсяной смесью и пшеницей. Образцы отбирались буром в трёхкратной повторности.

Образцы почв были просеяны на стандартной колонке сит: >10; 10-7; 7-5; 5-3; 3-2; 2-1; 1-0,5; 0,5-0,25; <0,25 мм, водопрочность определялась по методу Саввинова. Обработка полученных результатов была проведена с использованием метода главных компонент и кластерного анализа.

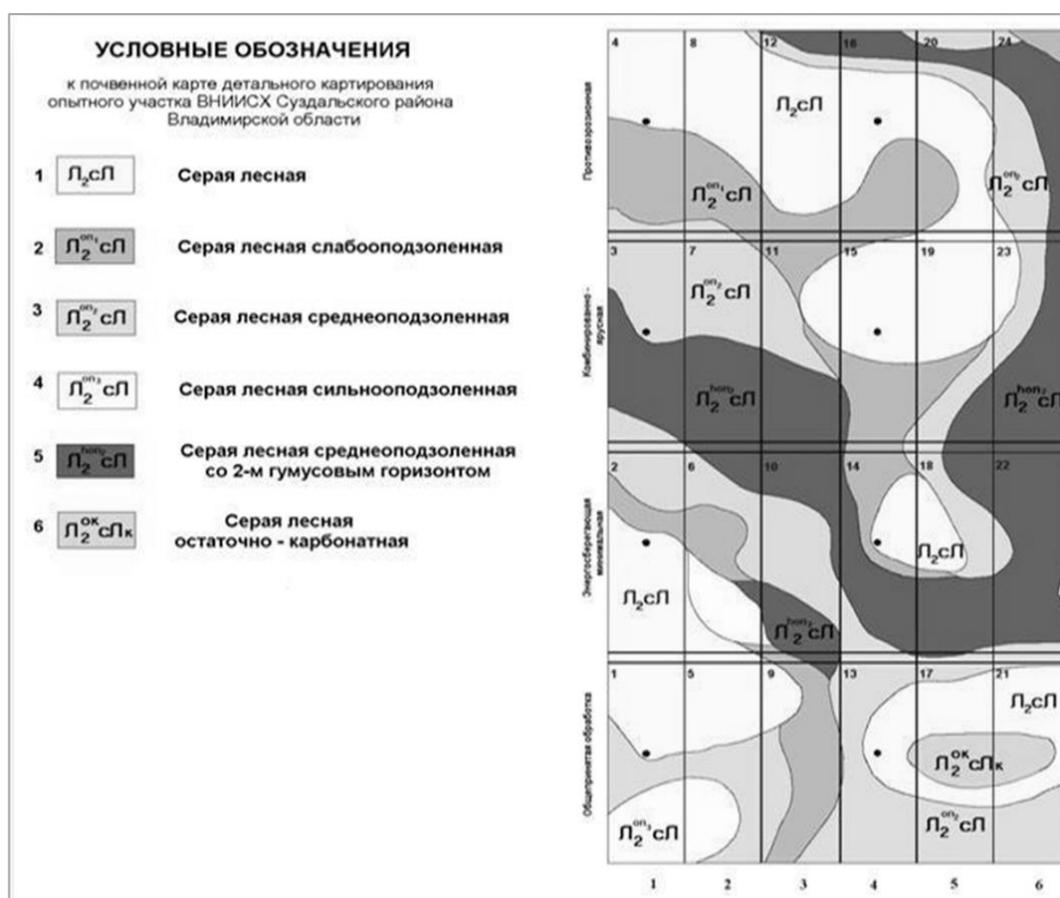


Рис. 1 Схема участка

Таблица 1. Агрохимические свойства почв участка

| рН | Нг, мг-экв/кг | Сумма осн., мг-экв/кг | NO ₃ , мг-экв/кг | NH ₃ /мг-экв/кг | K ₂ O, мг-экв/кг | P ₂ O ₅ , мг-кв/кг | Гумус, % |
|-------------|---------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|--|-------------|
| 5,42 ± 0,11 | 32,5 ± 2,0 | 214,3 ± 5,4 | 36,5 ± 13,1 | 11,4 ± 2,0 | 212,0 ± 23,7 | 121,2 ± 9,0 | 2,99 ± 0,12 |

Результаты. Почвы имеют отличное структурное состояние по содержанию в них агрономически ценных агрегатов и коэффициенту структурности, водоустойчивость структуры избыточно высокая и хорошая. Средний диаметр агрегатов от 3,6 до 6,1 мм, среднее значение 4,7 мм.

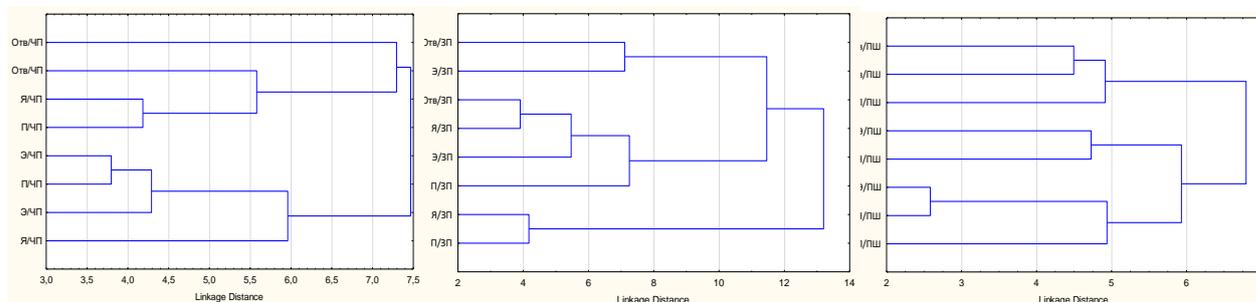


Рис. 2. Дендрограммы агрегатного состава: а) черный пар б) занятый пар в) пшеница

Для классификации делянок по агрегатному составу мы провели кластерный анализ для каждой культуры по 8 делянок, по две на каждую обработку (рис. 3). При этом распределение по кластерам хорошо согласуется с картосхемой почвенных подтипов участка (рис. 1). Рассмотрим подробно кластеры на черном пару. При противоэрозионной обработке нет различий в агрегатном составе (делянки 8 и 4). Наибольшее расстояние (16,1) между делянками ярусная (делянка 3) и отвальная (делянка 5). На делянках 8 и 4 выделены почвенные разности: агросерая и агросерая слабоподзоленная. На делянке 3 выделены почвенная разность со вторым гумусовым горизонтом, а делянка 5 содержит средне и сильноподзоленные почвы.

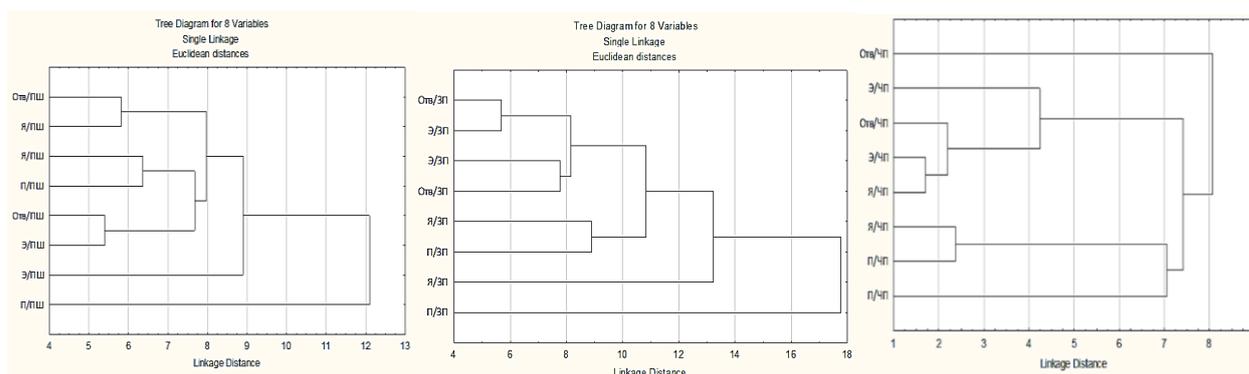


Рис. 3. Кластерный анализ водопрочных агрегатов: а) черный пар, б) занятый пар, в) пшеница

Кластерный анализ результатов просеивания по методу Саввинова, как и для результатов воздушно-сухого просеивания, проводился по культурам (рис. 4). В целом разброс в содержании водопрочных

агрегатов у делянок под занятым паром больше, чем у делянок под черным паром и пшеницей. Делянки, находящиеся в соседстве друг с другом, имеют меньшее кластерное расстояние и сходный состав водопрочных агрегатов, это можно объяснить, как и для воздушно-сухих, наличием почвенных разностей, которые пересекают делянки.

Кластерный анализ позволяет классифицировать объекты, но без выделения значимых параметров классификации. Для этого используется метод главных компонент.

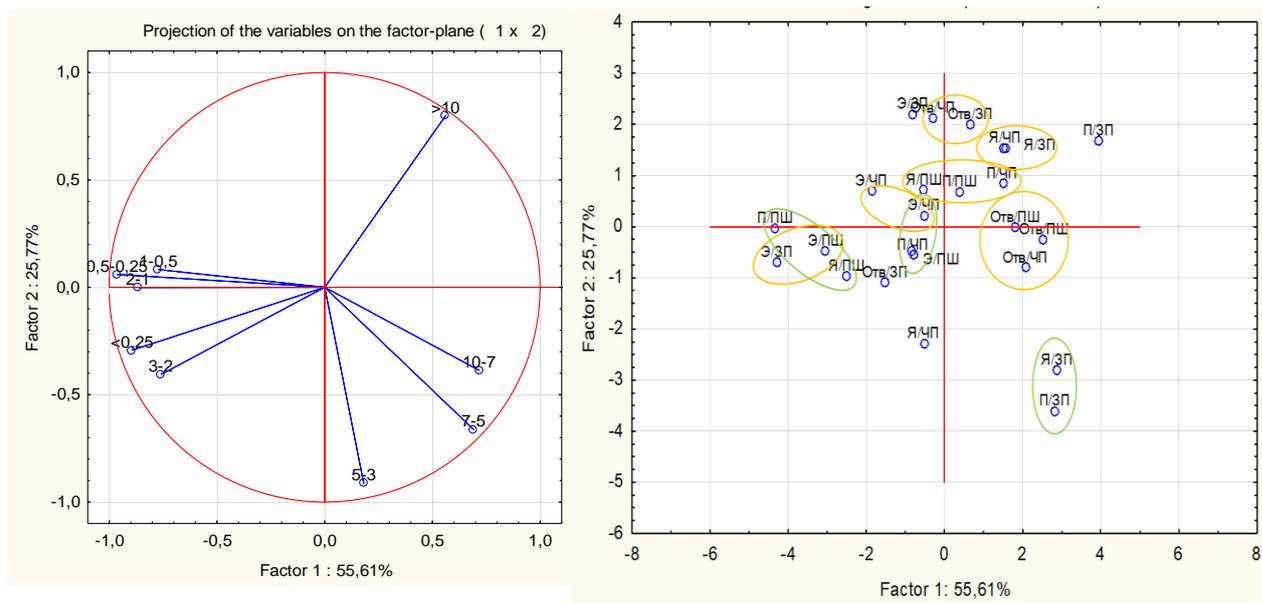


Рис. 6. Сухие агрегаты

ГК1 (55,6% вариации) включает фракции 10-7, 7-5, 3-2, 2-1, 1-0,5, 0,5-0,25, <0,25 мм, ГК 2 (25,8% вариации) включает фракции >10, 5-3 мм. В данном случае различия в агрегатном составе между делянками можно будет отследить по ГК2, т.е. содержанию агрегатов >10 мм и 5-3 мм. Ось у – ГК 2, чем выше расположена делянка на этой оси, тем больше содержание агрегатов >10 мм или 5-3 мм (высокая корреляция с ГК2), чем этих агрегатов было меньше, тем ниже по оси у такая делянка. Например, делянки 11 (Я/ЗП) содержит агрегатов >10 мм 10,46%, 12(П/ЗП) – 7,10%, 3(Я/ЧП) – 8,44%, делянки с большим содержанием агрегатов >10 мм: 5 (Отв/ЧП) – 22,89%, 13 (Отв/ЗП) – 23,51%, 16 (П/ЗП) – 28,99%.

Для результатов просеивания водопрочных агрегатов в слое 0-20 см ГК 1 (54,9% вариации) включает фракции >5, 5-3, 2-1, 1-0,5, 0,5-0,25 мм, ГК 2 (20,7% вариации) включает фракции 3-2, <0,25 мм. Здесь, как и для воздушно-сухих агрегатов значимой для различий агрегатного состава делянок будет вторая компонента.

Распределение делянок по содержанию водопрочных агрегатов в координатах главных компонент: ось у – ГК 2, чем выше расположена

делянка на этой оси, тем больше содержание агрегатов <0,25 мм или 3-2 мм (высокая корреляция с ГК 2), чем этих агрегатов было меньше, тем ниже по оси у такая делянка. Например, делянка 21 (Отв/ПШ) – 10,3% фракции <0,25 мм, делянка 24 (П/ПШ) – 9,30% фракции <0,25 мм, делянка 22 (Э/ПШ) – 8,00% фракции 2-3 мм, а высокое содержание агрегатов <0,25 мм у делянки 13 (Отв/ЗП) – 26,67%; делянка 10 (Э/ЗП) 28,76%. В целом на графике видно, что делянки занятого пара (ЗП) в основном находятся в положительной области ГК 2 и содержание агрегатов <0,25 для этих делянок ниже, чем для делянок черного пара и пшеницы.

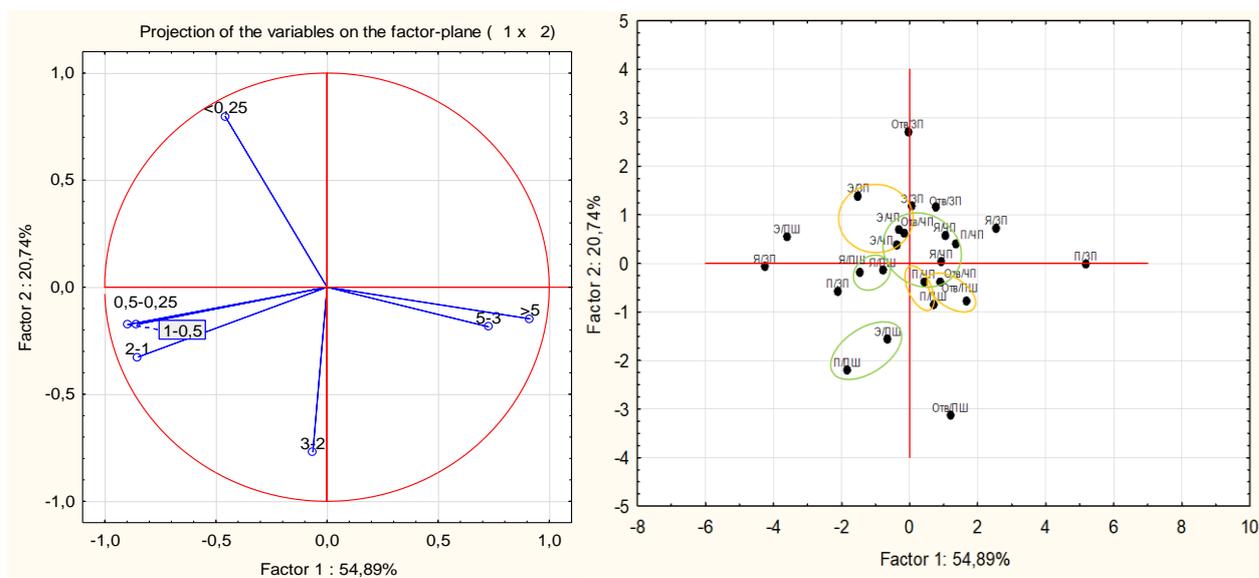


Рис. 4. Водопрочные агрегаты

Заключение. Кластерный анализ и метод главных компонент позволили выделить различия в структурном состоянии почв, относящихся к одному типу и расположенных в пределах одного опытного участка. Результаты кластеризации согласуются с почвенной картой участка и выделенными подтипами. Методом главных компонент можно выделять как генетические особенности почв, так и обусловленные обработкой, в отличие от общепринятых коэффициентов, при использовании которых даётся только обобщённая характеристика структурного состояния. При отвальной обработке содержание агрегатов >10 мм составляет более 20%, при других обработках 5-10%. При занятом пара в отличие от черного агрегатов >10 мм меньше. В целом в почве сохранилось большое количество не разрушенных водой агрегатов >5 мм, что и создаёт избыточную водопрочность.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № АААА-

A21-121012290189-8 «Научно-практические основы и информационное обеспечение устойчивого управления почвенно-земельными ресурсами европейской части РФ»).

Список литературы

1. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов: учебное пособие для студентов вузов. Изд. 2-е. М.: Высшая школа, 1973. 399 с.
2. Мешалкина Ю.Л., Самсонова В.П. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2008. 84 с.
3. Мищенко А.В., Карпова Д.В., Иванова Е.А., Абдулханова Д.Р., Петросян Р.Д. Структурное состояние пахотных серых лесных почв Владимирского ополья при различных способах обработки // Агрехимический вестник, издательство ред. "Химия в сел. хоз-ве" (М.). № 5. С. 9-16.
4. Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Лазарев В.И., Фрид А.С. Интерпретация данных агрегатного состава Типичных черноземов разного вида использования Методами кластерного анализа и главных компонент // Почвоведение. 2016. № 9. С. 1093–1100.
5. Шейн Е.В. Курс физики почв. М.: Изд-во Моск.ун-та, 2005. 432 с.

ANALYSIS OF THE STRUCTURAL STATE OF AGROGRAY SOIL

Mishchenko Anastasia Vyacheslavovna, Karpova Dina Vyacheslavovna

Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty

Moscow, Russia

nast0896@mail.ru, karpovad@mail.ru

Abstract. The structural state of agro-gray soil in the 0-20 cm layer was analyzed with four types of tillage: plowing, energy-saving, layered and anti-erosion. The soils have an excellent structure in all treatments, but by the method of principal components and cluster analysis, it was revealed that during dumping, the content of aggregates >10 mm increases, and the water resistance decreases.

Keywords: soil aggregates, cluster analysis, principal component method, water resistance, soil cultivation methods.

**ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ СОДЕРЖАНИЯ
АММИАЧНОГО И НИТРАТНОГО АЗОТА ПОСЛЕ ВНЕСЕНИЯ
ЖИДКОГО АММИАКА В ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ И СЕРОЙ
ЛЕСНОЙ ПОЧВАХ**

Кротов Дмитрий Геннадьевич

ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянск

E-mail: krotovd@mail.ru

Аннотация. Пространственная изменчивость содержания аммонийного и нитратного азота, связанная с внесением жидкого аммиака, исследовалась на контрастных по гранулометрическому составу и кислотности почвах. Оказалось, что при осеннем внесении на дерново-подзолистой супесчаной почве влияние внесения аммиака на содержание минерального азота не обнаруживается. На серой лесной почве при внесении жидкого аммиака содержание общего азота увеличивается, однако на момент весеннего определения его количество существенно меньше ожидаемой прибавки. Это объясняется как использованием азота растениями, так и быстрым удалением аммиака из почвы.

Ключевые слова: жидкий аммиак, дерново-подзолистая почва, серая лесная почва, аммиачный и нитратный азот

Введение. Азот является одним из необходимых для развития растений элементов, поэтому совершенствование существующих и поиск новых способов его увеличения в почве весьма актуален. В последнее время начинает применяться внесение жидкого аммиака в сельскохозяйственных предприятиях Брянской области.

Жидкий аммиак вносят во влажную почву специальными машинами на глубину 20-55 см осенью или весной перед посевом. Предполагается, что жидкий аммиак будет немедленно заделан в почву. При внесении в иссушенную глыбистую почву возможны потери в газообразном виде в атмосферный воздух.

Внесенный в почву безводный аммиак адсорбируется почвенными коллоидами и поглощается почвенной влагой, образуя гидроксид аммония NH_4OH . Взаимодействуя с анионами почвенного раствора, аммоний дает различные соли и поглощается почвой. Скорость и степень поглощения аммиака зависят от содержания в ней гумуса, ее механического состава и влажности, а также от способа и глубины заделки удобрения. На тяжелых, богатых гумусом, хорошо обрабатываемых и нормально увлажненных почвах аммиак поглощается лучше, чем на легких, бедных органическим веществом почвах.

Объекты и методы

Содержание минерального азота определяли на участках, расположенных в Унечском и Стародубском районах. Почвы на участке в Унечском районе - дерново-подзолистые супесчаные, развивающиеся на водно-ледниковых отложениях. В Стародубском районе поля расположены на серых лесных легкосуглинистых, развитых на лессовидных суглинках.

Жидкий аммиак в дозе 150 кг/га вносился осенью перед посевом озимой пшеницы. Отбор проводили по ходу движения сошника с аммикопроводом, так и между ними. Отбор проб с двух глубин 0-18 см и 18-36 см проводился весной 1 апреля 2021 г. на обработанных полях и на контрольных полях из траншей длиной 200 см и глубиной 40 см с интервалом 20 см. Внешний вид одной из траншей приведён на рис. 1. Из каждой траншеи отбирали 20 проб почвы. Всего отобрано 80 проб почвы.



Рис. 1. Отбор проб на серой лесной почве

Содержание аммиачного азота определялось по [1], содержание нитратного азота по [2], кислотность в водной и солевой вытяжках [3]. Обработка результатов проводилась в программе Excel и STATISTICA.

Результаты и обсуждение

На обоих угодьях свойства почвы оказываются неблагоприятными для закрепления аммиачного азота. Средние значения рН для дерново-подзолистых почв лежали в диапазоне 6-7 единиц, а для серых лесных почв - 7-8 единиц (табл. 1). При этом в нижней части слоя значения рН были значимо выше. Щелочная реакция среды препятствует связыванию аммиака, причем это более выражено на серых лесных почвах.

Содержание и аммиачного, и нитратного азота очень сильно варьирует в пространстве. Как правило, максимальные содержания показателей расположены на расстояниях, соответствующих сошникам, при помощи которых жидкий аммиак вносился в почву (рис. 2).

Таблица 1. Статистические характеристики содержания аммонийного и нитратного азота

| Почва | Внесение аммиака | Статистики | рН1 | рН2 | NH ₄ _1 | NH ₄ _2 | NO ₃ _1 | NO ₃ _2 |
|---------------------|------------------|-------------------------|-----|-----|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | | | | | | | |
| Дерново-подзолистая | Без внесения | Среднее | 6,3 | 6,8 | 1,4 | 1,0 | 10,4 | 26,2 |
| | | Коэффициент вариации, % | 3,2 | 3,9 | 97,3 | 83,1 | 156,8 | 78,9 |
| | С внесением | Среднее | 6,1 | 6,2 | 2,0 | 1,8 | 10,2 | 26,4 |
| | | Коэффициент вариации, % | 5,3 | 3,6 | 100,5 | 90,7 | 163,3 | 96,8 |
| Серая лесная | Без внесения | Среднее | 8,0 | 7,9 | 1,2 | 1,1 | 51,5 | 19,4 |
| | | Коэффициент вариации, % | 1,4 | 3,4 | 69,7 | 70,4 | 103,3 | 149,9 |
| | С внесением | Среднее | 7,3 | 7,0 | 2,5 | 0,5 | 57,1 | 43,3 |
| | | Коэффициент вариации, % | 5,4 | 6,1 | 79,4 | 125,6 | 75,5 | 91,1 |

Примечание. Индексы 1 и 2 в заголовках обозначают первую и вторую глубину пахотного слоя.

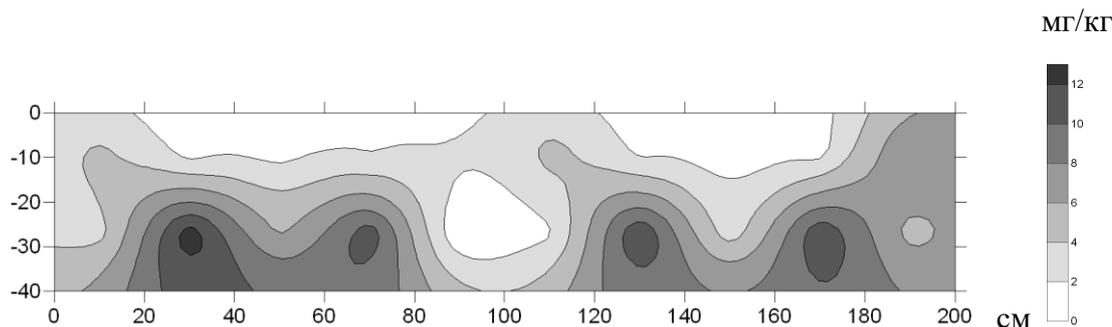


Рис. 2. Распределение минерального азота по профилю дерново-подзолистой почвы

Дисперсионный анализ, проведенный отдельно для аммонийного и нитратного азота, показывает, что осеннее внесение аммиака не отражается на содержании аммонийного азота весной ни на дерново-подзолистых, ни на серых лесных почвах. Различие средних значений этого показателя перекрывается случайными погрешностями анализа и пространственной изменчивости. А для нитратного азота зависимость оказывается статистически значимой - на серых лесных почвах на удобренном участке содержание нитратного азота заметно выше (рис. 3).

Если рассчитать прибавку содержания минерального азота, которую можно считать обусловленной внесением аммиака, то на дерново-подзолистых почвах она оказывается практически незаметной, сопоставимой с аналитическими ошибками, а на серых лесных почвах в

среднем составляет 7,2 мг/кг, что обеспечивает более выраженный азотный статус удобренной почвы.

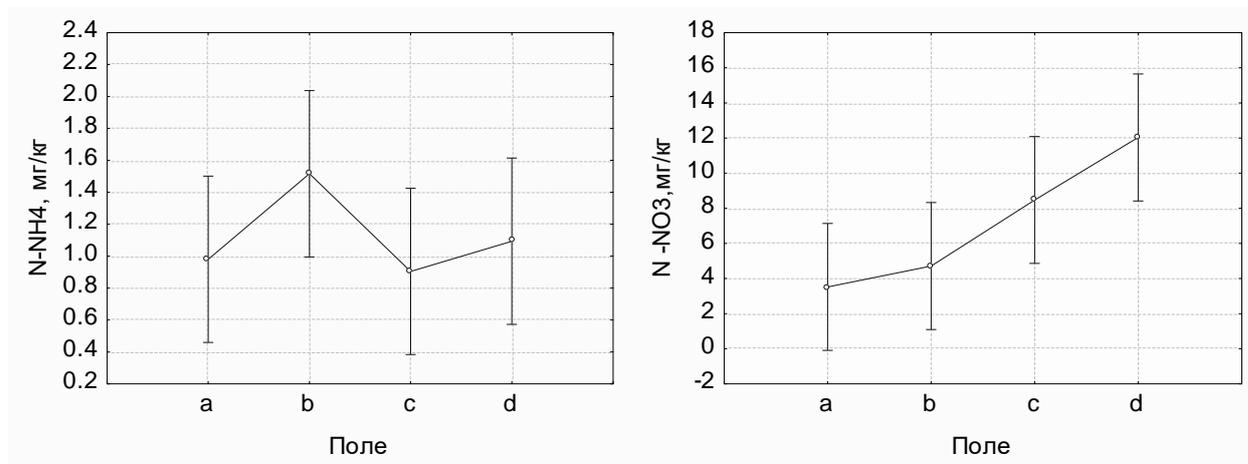


Рис. 3. Изменение содержания аммонийного и нитратного азота (а и б – дерново-подзолистая почва, с и d – серая лесная почва; а и с – без аммиака, б и d – с внесением аммиака)

Заключение. Таким образом, на дерново-подзолистые супесчаных почвах внесение жидкого аммиака осенью оказывается неэффективным, а на серых лесных почвах, имеющих суглинистый гранулометрический состав, может способствовать увеличению азота. В проведенном исследовании не учтены многие факторы, которые могли оказать влияние на конечный результат, однако оно показывает, что этот прием на супесчаных почвах практически неэффективен.

Список литературы

1. ГОСТ 2 6489-85. «Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО».
2. ГОСТ 26951-86. «Почвы. Определение нитратов ионометрическим методом».
3. ГОСТ 26483-85 «Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО», ГОСТ 26423-85 «Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки».

SPATIAL VARIABILITY OF AMMONIUM AND NITRATE NITROGEN CONTENT AFTER ADDING LIQUID AMMONIA IN SODDY-PODZOL AND GRAY FOREST SOILS

Krotov Dmitriy

Bryansk Agrarian University, Bryansk. Russia
E-mail: krotovd@mail.ru

Abstract. The spatial variability of the content of ammonium and nitrate nitrogen, associated with the introduction of liquid ammonia, was studied on soils contrasting in particle size distribution and acidity. It turned out that during the autumn application on sod-podzolic sandy loam soil, the effect of ammonia application on the content of mineral nitrogen was not detected. On gray forest soil, with the introduction of liquid ammonia, the content of total nitrogen increases, but at the time of the spring determination, its amount is significantly less than the expected increase. This is due to both the use of nitrogen by plants and the rapid removal of ammonia from the soil.

Keywords: liquid ammonia, soddy-podzolic soil, gray forest soil, ammonia and nitrate nitrogen

НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА ПОСТАЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ПОЙМЫ РЕКИ ИСТРЫ

*Вертянкина Виктория Юрьевна¹,
Колесникова Варвара Михайловна², Мешалкина Юлия Львовна^{2,3},
Иванов Антон Валерьевич²*

¹ ФГБУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля», Москва, Россия

² Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, Москва, Россия

³ Российский государственный аграрный университет - МСХА имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия
E-mail: victoria_vert@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследования почв центральной поймы реки Истры. Преобладающим типом почв являются аллювиальные серогумусовые посталлювиальные почвы. Они сохранили характерные морфологические черты пойменных почв, однако строительство Истринского водохранилища привело к ослаблению признаков оглеения.

Ключевые слова: посталлювиальные почвы, почвы поймы, Истринское водохранилище

Введение. Аллювиальные почвы широко распространены на территории Московской области и, в зависимости от условий формирования и расположения в рельефе, отличаются своим разнообразием [7]. Особая роль аллювиальным почвам отведена в области сельского хозяйства. Одним из ведущих факторов, влияющих на формирование профиля аллювиальных почв, являются полые воды. В процессе регулярного затопления поймы осуществляется принос и аккумуляция пойменного наилка, вместе с которым поступают питательные вещества, и создаются благоприятные условия для выращивания сельскохозяйственных культур. Освоение пойменных ландшафтов зачастую связано с зарегулированием речного стока и строительством водохранилищ. Изучению влияния последних на процессы почвообразования в поймах рек посвящены работы многих авторов [1; 5-9]. В ряде случаев, в результате зарегулирования речного стока происходит осушение затапливаемых ранее пойм и, как следствие,

сокращается их продуктивность [7]. Кроме того, прекращается принос и накопления почвенного наилка, уменьшается количество поступающих с паводковыми водами, питательных веществ и гумуса, нарушается гидрологический режим почв, снижается уровень влияния интразональных факторов почвообразования и увеличивается доля влияния зональных факторов на процессы почвообразования [1]. Результатом всех вышеперечисленных преобразований является формирование нового почвенного профиля.

Территория водосбора реки Истры подвержена интенсивной сельскохозяйственной деятельности. В 1935 году на реке Истре было построено Истринское водохранилище, расположенное в 61,5 км от устья реки. Площадь водохранилища составляет 34 км², площадь водосбора 1100 км². Строительство Истринского водохранилища привело к прекращению поемного процесса в пойме реки Истры и, как следствие, формированию посталлювиальных почв. Цель данной работы заключалась в определении наиболее характерных свойств посталлювиальных почв, преобладающих в центральной пойме реки.

Объекты и методы. Почвенные исследования на территории поймы р. Истра проводились в период с 2012 по 2014 гг. в составе экспедиции кафедры географии почв факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. В центральной части поймы были проведены геоботанические описания ключевых участков и заложено 13 почвенных разрезов, которые были отнесены к посталлювиальным почвам.

В отобранных погоризонтно образцах почвы из этих разрезов были определены: величина $pH_{водн}$, содержание органического углерода методом Тюрина в модификации Никитина, обменные основания по методу Шолленбергера для кислых почв и по методу Пфедфера в модификации Молодцова и Игнатовой для нейтральных и щелочных почв; содержание подвижных форм фосфора и калия по методу Кирсанова для кислых почв и по методу Мачигина для карбонатных почв, содержание аморфных форм железа по методу Тамма и свободных форм железа по методу Мера – Джексона; гранулометрический состав пиррофосфатным методом [2-4]. Результаты статистической обработки представлены далее как: в скобках дан объем выборки, далее – среднее \pm стандартное отклонение. В случае, если выборка была представлена всего двумя значениями, указаны минимум и максимум через тире.

Результаты и обсуждение. Преобладающим типом почв центральной поймы реки Истры являются аллювиальные серогумусовые типичные посталлювиальные почвы. Профиль почв характеризуется следующим набором горизонтов АУ_{гз} – АУ – АУС – АУСГ – С. Под буровато-темно-серого цвета дерниной АУ_{гз} средней мощностью (n = 11) 6,4±2,1 см выделяется серогумусовый, супесчаный горизонт АУ темно-бурого цвета, мощностью (n = 7) 30,8 ± 25,4 см. Далее располагаются переходные к породе горизонты АУС и АУСГ. Горизонт АУС характеризуется охристо-бурый цветом преимущественно супесчаным гранулометрическим составом с наличием железистых и марганцевых новообразований, единичными включениями хряща, щебня, гальки и угля, средняя мощность горизонта (n = 10) 55,7 ± 46 см. Горизонт АУСГ характеризуется неоднородной окраской, мощностью 160,7 ± 59,9 см, выделяются сочетания пятен голубовато-серого, охристо- бурого и темно-охристо-бурого цвета, супесчаного гранулометрического состава, встречаются железистые и марганцевые новообразования, а также слаборазложившиеся остатки корней. Горизонт С песчаного гранулометрического состава, светло-охристо-бурого цвета.

Типичные посталлювиальные почвы центральной поймы реки Истры характеризуются невысоким содержанием гумуса (n = 8) 3,2 ± 0,93 % в дернине АУ_{гз} и (n = 11), 1,68 ± 0,53 % – в гумусовом горизонте АУ с резким уменьшением в нижней части профиля до (n = 3) 0,12 ± 0,02 % в горизонте СГ. Актуальная реакция среды слабокислая по всему профилю почв и изменяется от (n = 11) 5,71 ± 0,55 в горизонте АУ, достигая значения (n = 6) 6,25 ± 0,63 в горизонте С, и снижается до (n = 4) 5,57 ± 0,35 в горизонте СГ. Сумма обменных оснований достигает своего максимума в верхней части профиля и составляет (n = 5) 15,32 ± 5,18 смоль (экв)/кг почвы в горизонте АУ_{гз} и (n = 6) 11,97 ± 3,41 смоль (экв)/кг почвы в горизонте АУ, снижается до 1,04-6,01 смоль (экв)/кг почвы в горизонте СГ. Почвы характеризуются высокой обеспеченностью подвижными формами фосфора. Значение фосфора составляет (n = 16) 317,1 ± 211,2 мг/кг почвы в серогумусовом горизонте АУ и 44,2-113,6 мг/кг почвы в горизонте СГ. Причина высокого содержания фосфора в почвах Истринской поймы может быть связана с тем, что река Истра местами размывает юрские глины, включающие часто стяжения фосфоритов [5]. Содержание подвижных форм калия характеризуется как низкое и очень низкое и находится в пределах от (n = 6) 44,3 ± 29,7 мг/кг почвы в серогумусовом горизонте до 5,4-49,0 мг/кг почвы в горизонте СГ. Почвы

содержат менее 1% аморфных и свободных форм железа, однако местами отмечается превышение аморфных форм Fe_2O_3 над свободными формами, что дает нам право диагностировать наличие процесса оглеения в профиле почв.

Заключение. Преобладающим типом почв центральной поймы реки Истры являются аллювиальные серогумусовые посталлювиальные. В целом, почвы сохранили характерные для аллювиальных почв морфологические черты, однако строительство Истринского водохранилища привело к ослаблению признаков оглеения. Почвы характеризуются низким содержанием гумуса, слабокислой актуальной реакцией среды, повышенным содержанием подвижных форм фосфора, низким и очень низким содержанием калия, а также небольшим содержанием аморфных и свободных форм железа.

Список литературы

1. Аветян С.А. Оценка изменений морфологических свойств аллювиальных почв равнинных территорий Европы вследствие зарегулирования речного стока при гидротехническом строительстве // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2002. № 3. С. 3–7.
2. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 487 с.
3. Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А. Методы исследования физических свойств почв. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
4. Воробьева Л.А. Теория и практика химического анализа почв. М.: ГЕОС, 2006. 400 с.
5. Добровольский Г.В. Почвы речных пойм центра Русской равнины. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во МГУ, 2005. 293 с.
6. Мартынов А.В. Влияние регулирования речного стока на почвенный покров пойм крупных рек Зейско – Селемджинской равнины: автореф. дис. ... канд. геогр. наук: 25.00.36 / ИГИП ДВО РАН. Хабаровск, 2013. 23 с.
7. Почвы Московской области и их использование: в 2-х томах / коллектив авторов; отв. ред. акад. РАСХН Л.Л. Шишов, член-корр. РАСХН Н.В. Войтович. Т. 1. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 2002. 500 с.
8. Chao B. F. Anthropogenic impact on global geodynamics due to reservoir water impoundment. *Geophysical Research Letters*. Vol. 22. issue 24. 1995. pp. 3529-3532.
9. Nilsson C., Berggren K. Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation. *BioScience* . vol. 50. issue 9. 2000. pp. 783-792.

SOME FLUVISOLS'S PROPERTIES OF THE ISTRA FLOODPLAIN

*Vertyankina Victoria*¹, *Kolesnikova Varvara*²,
*Meshalkina Joulia*², *Ivanov Anton*²

¹ Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,
Moscow, Russia

² Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty,
Moscow, Russia

³ Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev
Agricultural Academy

E-mail: victoria_vert@mail.ru

Abstract. The paper considers the results of a study of the soils of the Istra River central floodplain. Alluvial gray-humus postalluvial soils became the predominant type of soils. The soils retained their characteristic morphological features; the construction of the Istra reservoir led to a decrease in the degree of gleying in the profile.

Keywords: postalluvial soils, floodplain soils, Istra reservoir

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ДИСПЕРСИОННОГО И КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА В ОПЫТНОМ ДЕЛЕ

Синих Юрий Николаевич

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
факультет почвоведения, Москва, Россия
E-mail: sinih.ju@yandex.ru

Аннотация. Приводятся результаты дисперсионного и корреляционного анализа экспериментальных данных (урожайность зеленой массы горчицы белой, динамика гумуса, урожайность сельскохозяйственных культур) в длительном полевом опыте, заложенном на дерново-подзолистой почве в 1980 году в учхозе «Михайловское» ТСХА Подольского района Московской области.

Ключевые слова: севооборот, горчица белая, математическая обработка.

Введение. Урожайные данные каждого методически выдержанного, то есть достоверного по существу полевого опыта, а также наиболее важных наблюдений и учетов (если они проведены как минимум в двух повторениях отдельно) должны подвергаться математической обработке методом дисперсионного анализа. Для обработки результатов опытов, проведенных по факториальным схемам, изучения зависимости признаков и обобщения данных многих полевых опытов применяют корреляционный регрессионный анализ.

Целью исследований является:

- изучение и научное обоснование приемов воспроизводства плодородия почвы для достижения высокой продуктивности зерновых культур при длительном их возделывании в полевых севооборотах с пожнивной горчицей и запашкой соломы,
- установление зависимости урожайности надземной массы горчицы белой от агроклиматических ресурсов пожнивного периода.

Объекты и методы. Исследования проводились в полевом опыте, заложенном в 1980 году на опытном поле экспериментальной базы ТСХА «Михайловское» Подольского района Московской области. Почва опытного участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая, слабо-окультуренная. Содержание гумуса в пахотном слое почвы (0-20 см) перед закладкой опыта составляло 1,94 %, подвижного фосфора и калия по Кирсанову – 131 и 164 мг/кг, рН_{сол.} 5,7.

Рассматривались следующие варианты севооборотов:

I – 50 % зерновых на фоне NPK: многолетние травы 1-го года пользования (г.п.) – многолетние травы 2-го г.п. – озимая пшеница – кукуруза на силос – овёс – ячмень с подсевом трав.

II – 83 % зерновых на фоне NPK (контроль): викоовсяная смесь (на зелёный корм) – озимая пшеница – овёс – ячмень – озимая рожь – ячмень.

III – 83 % зерновых на фоне NPK с пожнивной горчицей (ПГ) на зелёное удобрение: викоовсяная смесь (на зелёный корм) – озимая пшеница + пожнивное зелёное удобрение (ПГ) – овёс – ячмень – озимая рожь + пожнивное зелёное удобрение (ПГ) – ячмень + пожнивное зелёное удобрение (ПГ).

IV – 83 % зерновых на фоне NPK с пожнивной горчицей (ПГ) на удобрение и запашкой соломы (С): викоовсяная смесь (на зелёный корм) – озимая пшеница + пожнивное зелёное удобрение (ПГ) + солома (С) – овёс – ячмень – озимая рожь + пожнивное зелёное удобрение (ПГ) + солома (С) – ячмень + пожнивное зелёное удобрение (ПГ) + солома (С). Севообороты развёрнуты во времени и пространстве на делянках с рандомизированным размещением в системе блоков. Размер делянки – 80 м² (16 м × 5 м), повторность – 4-кратная, размещение блоков – 4-ярусное.

Результаты и обсуждение. Сравнительный анализ погодных условий пожнивного периода выращивания горчицы белой в севообороте (август-сентябрь) за 18 лет наблюдений показал (рис.1), что вариабельность урожайности её зеленой массы (У, т/га) находилась в тесной зависимости от гидротермического коэффициента (ГТК, Х), в котором интегрировано совместное влияние атмосферных осадков и суммы активных температур.

Эта связь по разным зерновым предшественникам описывается уравнениями регрессии параболы второго порядка на фоне NPK и непосредственно с зеленым удобрением и совместно с соломой [1].

Исходя из полученных зависимостей, высокую урожайность горчицы белой (20-28 т/га) после уборки озимых зерновых культур в осенний пожнивной период (август-сентябрь) можно получить в интервале ГТК 1,5-2,0, после ячменя в севообороте (15-20 т/га) – 1,5-1,8.

Корреляционно-регрессионный анализ выявил закономерность между количеством запахиваемой в сумме за ротацию воздушно-сухой массы пожнивной горчицы и содержанием гумуса в почве (рис. 2).

Вариабельность содержания гумуса (Х %) по ротациям севооборота от суммарной сухой массы пожнивной горчицы (У, т/га), запахиваемой под посев яровых зерновых культур, описывается уравнением параболы второго порядка с коэффициентом корреляции R = 0,96. Из полученной зависимости следует, чтобы поддерживать содержание гумуса в дерново-

подзолистой почве на уровне 1,9 %, ежегодное внесение поживной горчицы (сухой массы) должно составлять 4-5 т/га [2].

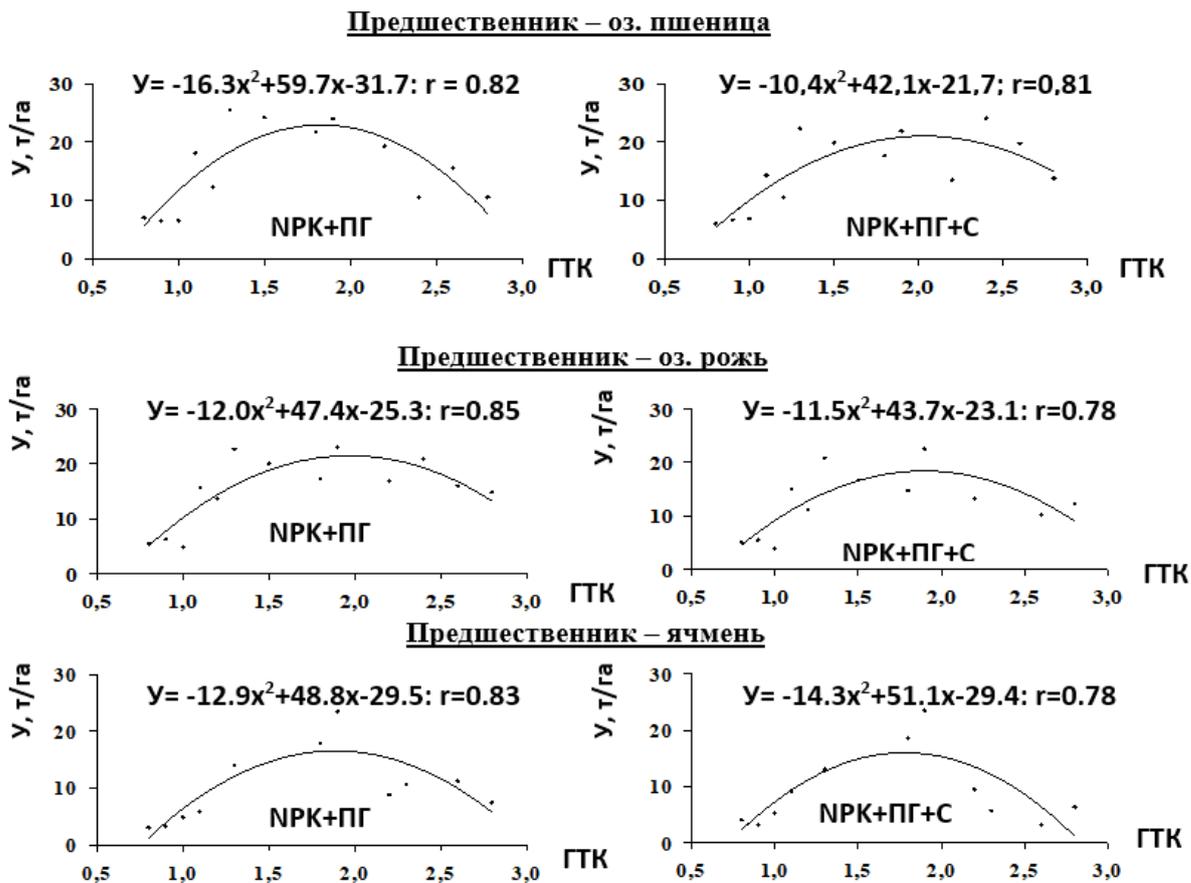


Рис. 1. Зависимость урожайности зеленой массы горчицы белой (Y, т/га) от погодных условий (X, ГТК) поживного периода (август-сентябрь), в ср. за 1981-1998 гг.

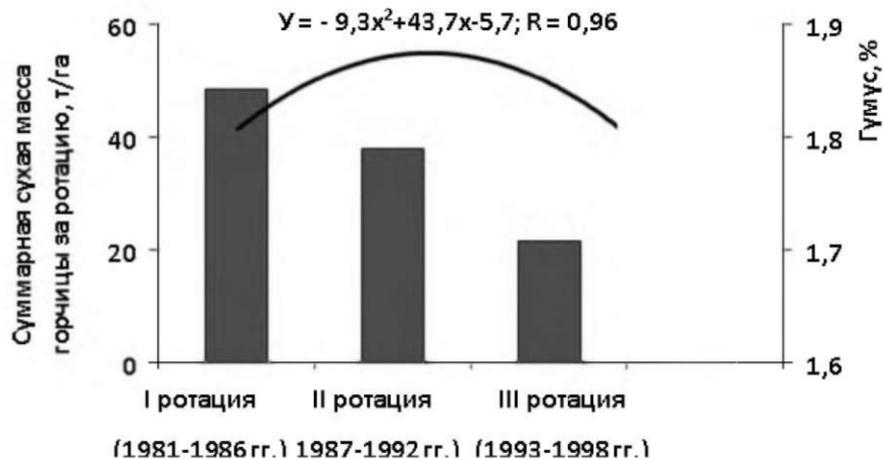


Рис. 2. Зависимость между количеством внесенной в почву сухой массы горчицы за ротацию севооборота (Y, т/га) и содержанием гумуса (X, %)

Таблица 1. Урожайность озимой пшеницы «Инна» в полевых севооборотах (в среднем за 1992-1995 гг.), т/га

| Севооборот, % зерновых | Вариант удобрения | Годы | | | | В среднем за 4 года | |
|---------------------------|-----------------------------------|------|------|------|------|---------------------|------------------------|
| | | 1992 | 1993 | 1994 | 1995 | урожай- ность | прибавка к контролю |
| I-50 | НРК | 6,73 | 3,38 | 3,47 | 3,49 | 4,27 | – |
| II-83 (контроль) | НРК | 6,42 | 3,10 | 4,64 | 3,24 | 4,35 | – |
| III-83 | НРК+ПГ (послед- действие) | 7,14 | 3,30 | 4,98 | 3,41 | 4,71 | 0,36 |
| IV-83 | НРК+ПГ+С (послед- действие) | 6,82 | 3,97 | 5,29 | 3,67 | 4,94 | 0,59 |
| НСР ₀₅ | | 0,36 | 0,53 | 0,70 | 0,22 | 0,33 | |

Данные таблицы 1 показывают, что наиболее высокий урожай зерна был получен в 1992 году, который составил в варианте с длительным применением пожнивной горчицы на фоне минеральных удобрений – 7,14 т/га с прибавкой к контролю – 0,72 т/га (11 %), а совместно с соломой 6,82 т/га и, соответственно, 0,40 т/га (6 %). Однако при насыщении полевого севооборота зерновыми культурами с 50 до 83 % без применения органоминеральных удобрений урожайность снижалась на 5 % (0,3 т/га). В последующие 3 года сбор зерна варьировал в пределах 3-5 т/га. В среднем за 4 года в вариантах с использованием пожнивной горчицы и соломы на фоне применения минеральных удобрений урожайность зерна составила 4,7-4,9 т/га. Дополнительно к контролю получено 0,36-0,59 т/га зерна. Сбор урожая зерна превысил таковой относительно плодосменного севооборота на 10-15 % [3].

Выводы. В условиях Центрального Нечерноземья на дерново-подзолистых почвах посев горчицы белой в зерновом севообороте после уборки озимых зерновых культур (озимая пшеница, озимая рожь) в начале августа до наступления осенних холодов обеспечивает получение 18-30 т/га зеленой массы в интервале агроклиматического показателя ГТК – 1,5-2,0, после ячменя (15-20 т/га) – 1,5-1,8. Установлены корреляции и уравнения регрессии высокой степени достоверности ($R=0,78-0,85$) между урожайностью зеленой массы горчицы и ГТК ее произрастания.

Список литературы

1. Синих Ю.Н. Горчица белая в Центральном Нечерноземье. М.: ВНИИА, 2019. 96 с.
2. Синих Ю.Н. Севообороты в Центральном Нечерноземье. М.: ООО «Плодородие», 2020. 120 с.
3. Синих Ю.Н. Пути экологизации и биологизации земледелия Центрального Нечерноземья. М.: ООО «Плодородие», 2021. 84 с.

ANOVA AND CORRELATION IN EXPERIMENTAL DATA TREATMENT

Sinikh Yuri

Lomonosov Moscow State University, Soil Science Faculty

Moscow, Russia

E-mail: sinikh.ju@yandex.ru

Abstract. This paper presents the results of the dispersion and correlation analysis of the experimental data obtained (the yield of the green mass of white mustard, the dynamics of humus, crop yields) in a long-term field experiment laid on sod-podzolic soil in 1980 at the Mikhailovskoye agricultural farm of the Podolsk district of the Moscow region.

Keywords: crop rotation, white mustard, mathematical processing.

МАГНИТНЫЕ И НЕКОТОРЫЕ ДРУГИЕ СВОЙСТВА ГОРОДСКИХ ПОЧВ

Азовцева Н.А.¹, Парфенова А.М.², Францев В.В.³

¹ Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Москва, Россия

² Химический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

³ РТУ МИРЭА, Москва, Россия

E-mail: azovtseva@mail.ru

Аннотация. В условиях увеличивающейся антропогенной нагрузки на почвы мегаполиса с целью прогноза и моделирования их состояния были проведены исследования физико-химических свойств почв участков тестовых территорий.

Ключевые слова: прочностные свойства почвы, урбанозем, магнитная индукция

Объекты и методы. Были исследованы почвы двух участков с разной степенью антропогенной нагрузки: в районах Ростокино СВАО и Новокосино ВАО города Москвы (1, 2), из 14 тестовых точек с трёх глубин были отобраны образцы почв. Почва является многофакторной системой, для изучения которой требуется комплексный подход исследования различных почвенных параметров разнообразными методами. На урбанозёме на покровном суглинке подстилаемым мореной, расположенном на участке между ЖБК «Ростокино» и автомобильной трассой «Северо-восточного диаметра» в районе Ростокино, а также на урбодерново-подзолистой на флювиогляциальных отложениях Парк в Новокосино была исследована прочность городских почв тестовых территорий, как показатель их устойчивости. Определение агрегатного состава почв из Новокосино и Ростокино было проведено с помощью лазерного анализатора размеров частиц Microtrac S3500 (серия Bluewave 1) Microtrac Inc. (США, 2013).

Исследования прочностных характеристик почв были проведены пенетрационным методом с помощью конического пластомера в 7-ми кратной повторности (3). Перспективность исследования прочностных свойств почв заключается в их связи с почвенной эрозионной устойчивостью и рекреационными свойствами почв в условиях мегаполиса. Новым направлением в изучении структуры городских почв явилось использование методов магнитометрии. Была обнаружена корреляционная связь (зависимость) содержания гумуса с

интенсивностью магнитной индукции, с суммарным содержанием тяжёлых металлов, с содержанием железа и с содержанием основных элементов в слоях почв тестовых территорий. Обнаружено, что поступление в почвенный профиль антропогенных включений различной природы, в том числе кирпича и строительного песка, отражается на изменении индукции магнитного поля в слоях урбанозёма.

Аналитические исследования были проведены Исследовательским центром Почвенного института. Исследования магнитных характеристик почв проведено авторами на разработанном ими приборе (регистрационный номер № 2021666155/69) названном «Магнитометр ВОЛНА-2» (4). Этот прибор способен измерять магнитное поле Земли над поверхностью и в толще почвы с привязкой к географическим координатам и времени. Измерения выполнены в пятидесятикратной повторности с использованием разработанного авторами пакета программ (5) (Азовцева, Францев, 2020; Азовцева, Францев, 2021).

Выводы:

1. Показана резкая дифференциация прочностных свойств по глубине, что связано с гранулометрическим составом почв и подстилающей породой, оказывающими влияние на влагоудерживание.

2. Определена зависимость магнитной индукции от содержания в почве органического вещества, от содержания железа и тяжелых металлов.

3. Показана перспективность проведённых исследований в условиях мегаполиса для создания благоприятной среды для роста и развития растений и комфортной жизни человека.

Список литературы

1. Азовцева Н.А., Смагин А.В., Садовникова Н.Б., Криченко А.В. Физико-химические предикторы загрязнения почв мегаполиса // В сборнике: Фундаментальные концепции физики почв: развитие, современные приложения и перспективы: сборник научных трудов Международной научной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Анатолия Даниловича Воронина. М.: Изд-во МИИ, 2019. С. 652-654. ISBN 978-5-7913-1108-5. <https://doi.org/10.31453/kdu.ru.91304.0065>. URL: <https://bookonline.ru/node/4660>
2. Azovtseva N.A., Smagin A.V., Sadovnikova N.B., Kirichenko A.V. and Lasareva E.V. Physical-chemical predictors of soil pollution in the megapolis // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1592. No. 012010. P. 012010.

3. Азовцева Н.А., Лазарева Е.В., Парфенова А.М. Исследование прочности почв и почвенных модельных систем // Сборник материалов докладов Первой открытой конференции молодых ученых Почвенного института имени В.В. Докучаева «Почвоведение: горизонты будущего», ФГБНУ «Почвенный институт имени В.В. Докучаева». Москва, 2017. С. 172-176.
4. Азовцева Н.А., Францев В.В. Свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ № 2020618668 от 03 августа 2020 г. «Программа для ЭВМ для измерения и записи компонент геомагнитного поля».
5. Азовцева Н.А., Францев В.В. «Магнитометр ВОЛНА-2» для измерения геомагнитного поля Земли над поверхностью и в толще почвы с привязкой к географическим координатам и времени UTC. Регистрационный номер № 2021666155/69.

MAGNETIC AND SOME OTHER PROPERTIES OF URBAN SOILS

Azovtseva N.A.¹, Parfenova A.M.², Frantsev V.V.^{1,3}

¹ Federal Research Centre V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,
Moscow, Russia

² Chemical Faculty of Lomonosov Moscow State University,
Moscow, Russia

³ MIREA, Moscow, Russia
E-mail: azovtseva@mail.ru

Abstract. In the conditions of increasing anthropogenic load on the soils of the metropolis, in order to predict and model their condition, studies of the physicochemical properties of the soils of the test areas were carried out.

Keywords: strength properties of soil, urbanozem, magnetic induction

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

ВДОЛЬ И ПОПЕРЕК

(монологи о почвах: из переписки с Е.А. Дмитриевым)

Ю.Н. Благовещенский

Монолог 1-й

... Знаете ли вы, что такое почва? Нет, вы не знаете, **что** такое почва... А знает ли В.А. Ковда? – "Почвенный покров представляет собой самостоятельную сложную специфическую оболочку земного шара, окутывающую сушу материков и мелководья морей и озер." Вспомняем же и других великих мужей, кто не побоялся глаголить о том, что такое почва...

"Благородная ржавчина Земли" – В.И. Вернадский.

"... о почве ... мы разумеем рыхлый поверхностный горизонт суши земного шара, способный производить урожай растений... Плодородие – существенное свойство, качественный признак почвы, независимо от степени его количественного проявления." – В.Р. Вильямс.

"... поверхностный слой земной коры, возникающий в результате воздействия биосферы и атмосферы на литосферу и обладающий плодородием." – В.М. Фридланд.

"... сложная полифункциональная открытая многофазная система, обладающая плодородием." – Б.Г. Розанов.

Так вы еще не знаете, **что** такое почва? – Конечно же, нет! И никогда не узнаете, пока она не покинет вас, не уйдет из-под ног: вот тогда-то все схватятся за голову и будут причитать, что нет её...

Почва... Это – ПОЧВА! Это – П–О–Ч–В–А!.. Или же: "Произведение Огромного Числа Великих Аккумуляций", "Плоть – Основа – Чистилище – Воскрешение – Алтарь", "Попытка Одарить Человека Временным Авансом"... – **Почва!**

И все-таки: что же такое **почва**? Прежде всего это то, чем занимаются почвоведы. А чем занимаются почвоведы? Они занимаются ... любовью, интригами, дружескими попойками, поиском хорошего лаборанта, лишней ставки, иногда – диссертацией о свойствах того или иного метода на оскопленных образцах, вырванных из почвы, но при всем том они занимаются и **почвой**, т.е. тем, что *еще земля* (в ее самом простом смысле: начни рыть яму – и хоть рой, хоть долби, хоть грызи, хоть на километр вглубь, а все – земля), но *уже не безжизненная земля*, а та, что почувствовала уже существование жизни не от метаморфозы мгновения, а как пробуждающийся от сна: медленно, добротнo, только от того, что уже выспался, а не от резкого крика с улицы или от включенной в соседней квартире дрели.

А вы никогда не возделывали почву для огорода на Кольском

полуострове? О, это изумительное занятие! Сначала лопатой, типа саперной, вы вспарываете панцирь черничных, голубичных и вороничных корней, делаете аккуратные отвалы. После этого по проторенным стежкам-дорожкам проходите с хорошим ломом, вытаскивая пуда два камней на каждый квадратный метр, чтобы в эти стежки-дорожки переложить то, что было накопано вами до этого. Затем вы ту же процедуру проделываете с оставшимися, не возделанными стежками и начинаете работать настоящей лопатой до тех пор, пока не измельчите все до хорошего винегрета сантиметров на 25-30. И все это надо проделать осенью, где-нибудь в начале сентября, чтобы весной повторить все заново, внося те удобрения, что удалось накопить за зиму или «достать», как все в нашей жизни приходится «доставать», в конце концов хороший огород получится!

В этом, поистине мужском деле меня прежде всего волнуют камни: стограммовые и пудовые, спрессованные из гранитной крошки и цельные куски кварца, полевого шпата, того и другого вместе с пластинками черно-дымчатой слюды, которые словно плавают в верхних 10-40 см, словно их выталкивает кто-то из чрева земли, хотя на глубинах в 40-160 см их существенно меньше, – там слоистый пирог из песков разных цветов (от белого до почти черного, слюдяного) и разной плотности. А если уж и встречается камень, то на несколько сот килограмм и более... Так вот, эти «плавающие» камни – почва, ее естественные включения. И думаешь: они для почвы – свое, кровное, или же – «камни в почках»?

В уголовной криминалистике есть одна необычайно трудная проблема: немотивированные преступления. Так же обстоит дело и в Природе: явление, с которыми какой-нибудь объект встречается в процессе своего существования с очень малой вероятностью, является для него немотивированным и влияет на объект «не-естественным» для его эволюции образом. Это – землетрясения, смерчи, атомная бомба, греющийся у зажженного муравейника «любитель» природы, упавший на поле метеорит и т.п.

Я воспользуюсь этим словом и введу одно понятие, понятие-символ: *мотивированное явление природы для данной категории объектов*. Замечу, что случайность не исключает отнесения явлений к мотивированным: к ним естественно относить и случайный выбор места любовных схваток оленей, дождь, град, выбросы высоких значений солнечной радиации, сходжение лавин и многие другие. Легко обнаружить, что на земле имеется множество участков, где мотивированным явлением природы будет продукт взаимодействия органического и неорганического, существующий в этом взаимодействии. Такие участки земли могут быть и в глубоких пещерах,

и в заводях рек, и тысяче других мест. Эти участки земли – и почва, и не почва, и все, что может быть между породой и почвой. И мы не можем точно указать ту грань, за которой этот продукт станет почвой.

Действительно, когда начинается лес? Одно дерево – еще не лес, а десять? Сто? Тысяча? Вы скажете, что 1000 – уже лес!? А если они посажены вдоль дороги? И совсем простой вопрос: Что такое метр? Да, обычный метр. Что это? Окантованный жестью кусок доски, которым отсчитывают число метров клеенки в хозяйственном магазине? Эталон, хранящийся в парижском метрологическом институте? Путь, который проделает звук метронома с такой-то частотой за такое-то время в таких-то условиях?.. – И то, и другое, и третье, и ..., но не будем мелочны, не так уж важно (да и невозможно) дать точное определение понятию *почва*, важнее, тысячекратно важнее дать ей ИМЯ и ОТЧЕСТВО, т.е. попытаться через «определение» предугадать путь опознания почвы, путь названия: "у-гу!" для первого младенчества, через все Ванюши, Катюши и Марьюшки к Иванам, Иван Иванычам, к просто Иванычам и дедусям.

И мне кажется, что два аспекта почвы являются фундаментальными. Первый заключается в том, что почва – продукт земли и, одновременно, продукт живого, органического, продукт их взаимодействия, вбирающий в себя и живое, и неживое, объединяющий их в нечто неразделимое. Второй, не менее важный аспект – наличие этого взаимодействия, присутствия его как формы существования почвы, ее «жизни». Причем, оба этих аспекта, рассматриваемые как явления природы, должны быть мотивированными явлениями, не навозной ямой, в которой фекалий перемешан с грунтом. Поэтически прекрасно сказал Вернадский: "Благородная ржавчина Земли", – если «благородная» восходит к живому, к органическому, то всё уже в этих словах присутствует (земля – порода, неорганическое, а «ржавчина» – взаимодействие и его мотивированный результат).

Итак, рискую дать свое¹ «определение»...

ПОЧВА – это продукт естественного взаимодействия органического и неорганического в земле-породе и являющийся устойчивой средой для таких взаимодействий в их пространственно-временной эволюции.

Чем привлекает меня такое «определение»? – Очень многим. Прежде всего тем, что *почва* в таком «определении» оказывается *живущим* объектом, поскольку она не только продукт, но и среда взаимодействия органического и неорганического, не только результат этого процесса, но

¹ Я везде пишу слово *определение* в кавычках, поскольку это всего лишь некий текст, содержащий некие важные, на мой взгляд, атрибуты почвы, но далеко не исчерпывающие все бесконечное многообразие этого великого произведения природы.

и включает этот процесс в себя. Во-вторых, такое «определение» не снимает возможности для почвы стареть и молодеть, трансформироваться из одного «сорта» в другой, рождаться и умирать. Она может возникнуть из лёсса, если в нем взаимодействие органического и неорганического вступит в ту стадию, когда мы, говоря метафорически, «пятьсот деревьев согласны назвать лесом». И она может превратиться в торф, если процессы взаимодействия станут столь незначительны, что их можно уже не считать существенными.

Это «определение» дает одно, как мне кажется, важное методологическое положение, без которого трудно говорить о почвенном индивидууме, а именно: в этом «определении» генезис почвы не является довлеющим, уводящим от ее настоящего, – он присутствует в настоящем как данность происходящего, имеющегося в почве «на сегодня».

И действительно, если две почвы «на сегодня» идентично устроены, то независимо от их истории, их генезиса они в равных условиях будут и одинаково жить. Конечно же, понятия идентичности, равных условий и одинаковости весьма относительны, и может обнаружиться их такое различие, что было *невидимо* при одном исследовании и *видимо* – при другом. И это различие может оказаться существенным в тех или иных отношениях. Но это будет лишь означать, что наше понятие идентичности в данных исследованиях не годится, что его надо уточнять.

И еще о почвенном индивидууме. В предложенном «определении» содержится по сути *профиль*, некоторая условная «игла», направленная вглубь, с ореолом вокруг нее такого размера, что существенное в пределах этой «иглы» доходит во взаимодействии до границ ореола. Это – некий возможный вариант «определения» почвенного индивидуума, проекция на него данного выше «определения» почвы.

Монолог 2-й.

И кто только не соблазнился на критику!..

Несчастливая Лили! – Она никак не может понять, что не модно носить шкуру саблезубого тигра хвостом вниз!.. Бедный Платон! – Он до сих пор не может понять, что он – только идеалист, а в издательстве «Философские науки» это не модно!.. Упрямый Вернадский! – Он свято верит, что есть Поэзия Науки, он никак не может понять, что сейчас не эра Ученых, а эра Специалистов, – какой же уважающий себя (и только себя!) специалист «скатится» до поэзии!..

Я не хочу критиковать, я хочу порассуждать о языке, о словах. "Поверхностный слой земли" – Что это? До каких глубин? Наверно, всякий чуть грамотный человек будет считать, что *поверхностный слой* – это нечто, простирающееся от его ног, его ступней до *некоторой* глубины. Правда, *глубина* этой глубины будет сильно зависеть от

собственной фантазии каждого человека. И все же (и это важно!) в слове "поверхностный" присутствует соприкосновение двух сред, их «живое» соседство, *взаимодействие*. Это означает, с одной стороны, что поверхностный слой *всегда* испытывает *воздействие* атмосферы и всего ей «присущего» (солнце, магнитное поле земли, ветер, птицы и бабочки, грязь и т.п.), а с другой стороны, поверхностный слой *всегда воздействует* на примыкающий к нему слой «воздушного океана» (и кто может знать, до каких высот простирается это воздействие!). Другими словами: на границе двух сред, в области их контакта всегда происходит *взаимодействие*, и если в результате возникает нечто (*почва*, например), то не от воздействия одной среды на другую, а от *взаимного воздействия* друг на друга, от *взаимодействия*.

А теперь чуток в сторону: возможность оживления рыб и ряда других животных после специального замораживания на сроки, существенно превышающие обычные возможности организма в прерывании жизненных функций, имеет аналогию с почвами, погребенными в ледниковых отложениях. Однако самопроизвольное оживление такой "почвы" при ледниковых оползнях и других пертурбациях практически не наблюдалось: эти почвы, оттаивая, *умирают*, и на их "основе", на их месте (вместо них) *рождаются* с муками и эрозиями *новые* почвы. Но вот в чем вопрос: "Чем является в год оттаивания (или через год) этот субстрат, бывший когда-то *почвой*?". Очевидно, что это – поверхностный слой земли, возникший в результате воздействия биосферы и атмосферы на литосферу и обладающий (да, обладающий!) плодородием. И являющийся вне сомнения "сложной полифункциональной открытой многофазной (четырёхфазной) системой"!

Мне думается, что в этих замысловатых "определениях" почвы не столько неправильность тезисов, сколько неудача языковая: вся «соль» таких "определений" как бы перемещается со слова "*почва*" на другие слова, которые столь же трудно (или еще труднее) объяснить в сравнении с исходным словом. Например, Б.Г. Розанов *четырёхфазность* почвы объясняет через "твердую основу", "раствор", "газ" и "живое вещество", но именно в почве понятие "живого вещества" являет нам такую массу проблем и неопределенностей, что почти невозможно придумать работающее хотя бы на качественном уровне "определение" *живому веществу*.

Конечно, любое определение базируется на словах, на символах языка, – с чего-то надо начинать, что-то надо принять без объяснений, априори считая общеизвестным и одинаковым по смыслу для всех. Но...

Исходные слова-символы, используемые для формулировки определения, обязаны обладать меньшим смысловым разнообразием, чем определяемое слово!

Это – *первое* требование к любому определению. И еще: определение предмета науки не должно делаться на языковых особенностях самой науки. Математику нельзя определить «математически», астрономию нельзя определить в терминах, присущих только астрономии, – определение *предмета науки* (почвы, в нашем случае) обязано быть общенаучным, выходить за рамки своего языкового поля...

Монолог 3-й

"Что есть истина?"... Кому неведом этот вопрос, с которого начинается наше летоисчисление? "Нужно ли рыть глубоко?" – спрашивает почвовед и, как правило, останавливается на «золотой» середине. Быть может, так и надо: кто-то из современных философов совершенно серьезно утверждал, что открытию законов Ома способствовала плохая техника измерений! Мол, если бы у Ома под рукой были бы современные приборы, то пытаясь описать зависимость между напряжением, силой тока и сопротивлением проводника в электрической цепи, он никогда бы не нащупал главную и «грубую» закономерность (влияние теплового шума, индукции, неоднородности проводника и других факторов запутали бы его). С другой стороны, в науке, казалось бы, всегда надо рыть глубоко. Это диалектическое противоречие давно известно, материалисты говорят о "неисчерпаемости атома" в противовес богословскому тезису – "Пути господни неисповедимы". В связи с «фундаментальной» проблемой века "Надо ли рыть глубоко?", на ум приходят разные народные высказывания (а их так любили приводить в своих трудах классики марксизма-ленинизма и их верные ученики и соратники!). Вот одно из них, как будто специально придумано для почвоведов: "Не рой яму другому – сам в нее попадешь!". Следуя единственно научным путем – путем диалектического материализма, попробуем наметить решение этой глубочайшей проблемы о глубине почвы под ногами (когда она есть, разумеется, – в противном случае примем эту глубину за нуль, как говорят математики).

А теперь чуть посерьезнее... С проблемой глубины связано несколько нетривиальных вопросов. И один из них возвышается над другими, как Останкинская башня над окружающими строениями: "Зачем мы роем?". И не менее серьезно: "Каковы критерии значимости тех или иных феноменов, которые могут предоставить имеющиеся в нашем распоряжении методы исследования при движении вглубь, относительно тех вопросов, которые мы задаем почве?". И еще серьезней: "Какие вопросы мы хотели бы задать Почве? Каков спектр

возможных, в принципе, откликов?" – без *этого*, вне сколько-нибудь вразумительного ответа на этот «мыслительный» эксперимент, мы оказываемся перед единственной возможностью: методом «тыка». Но в настоящее время ПОЧВА, как предмет науки *почвоведение*, переросла свой младенческий возраст и уже обижается и перестает разговаривать, когда ей «тыкают»: надо бы «на Вы»!

Остановимся и еще на ряде вопросов, непосредственно связанных с проблемой *глубины*. И здесь я с удовольствием вспоминаю эмоциональные рассказы Е.А. Дмитриева о вывалах в Прикарпатье. Суть же не столько в них самих, сколько в значительном (по отношению к временным масштабам "жизни" почвы) влиянии процессов «перепаживания», «выворачивания», приводящих, похоже, к необходимости для почвы в отдельных случаях «начинать всё с начала». Конечно, не в смертельно категорическом смысле, а в том, что, если над тобой обрушилась кровля, то придется ее чинить и воссоздавать свой дом заново. Вопрос же о глубине расширяется тем самым до вопроса о той трехмерной массе земли *над* заданной точкой (географические координаты места на Земле плюс координата глубины), которая *взаимодействует* с профилем *под* этой точкой. Под взаимодействием опять-таки понимается структура взаимовлияний основных компонент почвы друг на друга, тот потенциал, известный и неизвестный нам, который и позволил бы нам диагностировать почву, дать ей ИМЯ.

Однако все эти вопросы – лишь предпосылки к *проблеме*: каковы законы взаимодействия между горизонтальными и вертикальными составляющими почвенной массы? И теперь я готов ответить на пресловутый вопрос о глубине: его нет!!! Он содержится в более трудном и неизбежном вопросе-проблеме:

Если нас интересует характер основных компонент "жизни" почвы в некотором фиксированном её объеме, то каковы размеры ореола вокруг этого объема, в которых эта «жизнь» проявлена и, одновременно, «жизнь» самого ореола заметным образом проявлена в почвенной массе выделенного нами объема?

Представим себе ту фантастическую ситуацию, когда мы знаем ответ на это «бесконечный» вопрос. И рассмотрим *профиль*, некоторую «иглу вглубь»: пусть X означает размер интересующего нас столбика с поверхности до некоторой точки на глубине, а Y – ту координату глубины, измеряемую сверху вниз, с которой ещё могут быть «услышаны сигналы», существенные для «уха почвы», для основных компонент ее "жизни". Тогда (это *следует* из всего предшествующего опыта почвоведения) зависимость между Y и X должна выглядеть в общих чертах так, как это показано на чисто иллюстративном рисунке ниже.

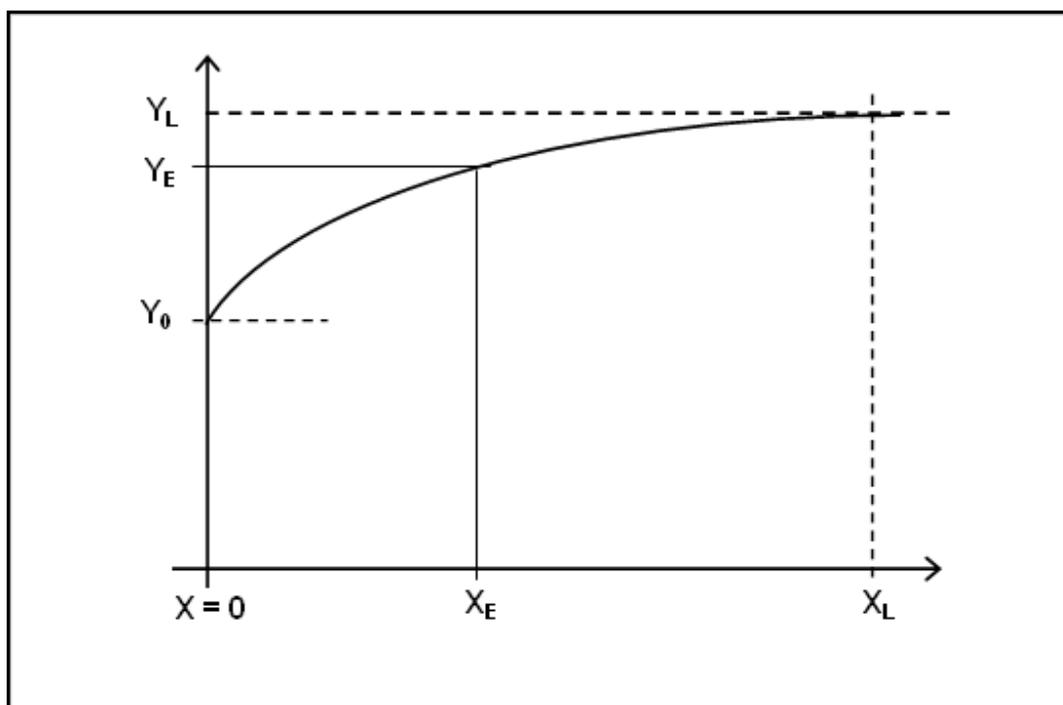


Рис. 1. Здесь по обеим осям откладываются значения глубины, измеряемой сверху вниз. На поверхности ($X = 0$) почва «слышит» сигналы (испытывает влияние) с глубины Y_0 , на глубине X_E – с глубины Y_E , а на предельной глубине X_L для почвы (если такая глубина существует) почва уже не получает сигналов снизу, поскольку ниже почвы уже нет, так что $Y_L = X_L$.

Что отсюда следует? Представив себе, что такое исследование возможно, и мы откуда-то знаем области влияния на каждую точку профиля не только по вертикали, но и по горизонтали, то, – Да простится мне дерзость! – мы смогли бы неведомым пока образом оценить горизонтально-плоскостные размеры ореола, участвующего в "жизни" выбранного профиля, «столбика» почвы до глубины X_L .

Я отлично понимаю, что обсуждаемая проблема в такой «идеальной» форме нереальна и было бы безнадежно глупо требовать даже чуточку близкого к этому «идеалу» ответа. Да и не идеал это вовсе!

Я и не собирался предлагать высказанное выше как некоторое решение, нет! Мне просто кажется, что направленность поиска должна быть в заведомо идеализированном пространстве, – именно в этой, пусть сфантазированной идеализации, чуть-чуть «попахивает истиной». Закончить же этот монолог мне хочется словами моего отца, который всю свою жизнь, кроме четырех лет войны, занимался лесоводством и вредителями леса, живя, как говорится, в естественных условиях. Он наставлял меня: "Ставь себе такие задачи, которые *выше* твоих возможностей, а иначе упрешься головой в потолок и истинной своей высоты не достигнешь...".

Монолог 4-й

*Всё – выбор слов. И тем не менее
вовеки, как сейчас,
с тобой мы не сойдемся в мнении,
кто виноват из нас.*

*Любовь со словарем не знается, –
откуда же узнать,
где – просто гордость, где –
вменяется ей истины печать?*

Г. Беккер

*В одном мгновенье видеть вечность,
огромный мир – в зерне песка,
в единой горсти – бесконечность
и небо – в чашечке цветка.*

У. Блейк

... Если придерживаться логики, то всё, что нам остается – голый арифметический счет. При всей кажущейся парадоксальности этого высказывания – такова жизнь: любой опыт, производимый деятельно или в извилинах нашего мозга, опирается либо на возможность измерений (столько-то единиц такого-то наименования), либо на название самых разных компонент наблюдаемого, используя самые разные слова-символы: альфа-частица, гидроокисел, сжатие, больше, рыжий (цвет), коэффициент честности, глеевый горизонт, значимость и так далее, и тому подобное.

И, к великому сожалению, научные тексты весьма часто оказываются трудно читаемыми и в значительном числе случаев абсолютно неинформативными, поскольку формально-логическое препарирование символов, без всякого права на это, превращает такие исследования в жонглирование терминами. Это оказывается возможным потому, что большинство слов-символов лишь *намекают* на предмет разговора, а не раскрывают его сущностей. Что из того, что коэффициент корреляции между двумя свойствами равен нулю? А это означает лишь то, что ни в одном из этих свойств мы не обнаружим линейного вклада от другого свойства (т.е. добавки его значения с каким-нибудь коэффициентом. И больше – ничего! Для того, чтобы выводы стали богаче, необходимо иметь кое-какие дополнительные знания и чуть внимательней присмотреться к полученным в эксперименте данным: это «чуть» может потребовать весьма серьезной работы с цифрами и с гипотезами о возможных типах влияния этих свойств друг на друга.

Не впадаю ли я в тот же грех жонглирования? По крайней мере, я осознаю такую возможность и пытаюсь ее избежать. Так о чем же на самом деле я здесь толкую? Прежде всего о том, что настоящая наука начинается не там, где всё сведено в систему чисел и (или) обрамляющих их текстов (слов-символов), а там, где делается *перевод* с языка природы на язык чисел и слов и *перевод* с языка чисел и слов на язык природы.

Первая часть – *до* эксперимента, *предэксперимент*, во время которого планируются вопросы к природе, составляется калькуляция её возможных откликов на то или иное наше воздействие и продумывается натурный эксперимент со всеми его возможными исходами. Вторая – после эксперимента или в процессе его проведения, после завершения того или иного этапа. Это – *объяснение* наблюдаемых в процессе эксперимента или выведенных на основе полученной в ходе его информации *феноменов*. И конечно же, в результате всех попыток такого «объяснения» – просеивание предэксперимента, его идей, через сито полученной информации, постановка новых вопросов и выдвижение новых гипотез для нового эксперимента.

Вкратце я сформулировал бы следующее: основная научная работа *ученого* – поиск *тупиков* при анализе натурального эксперимента и многообразия возможных интерпретаций, *опровергающих* рабочие гипотезы. Когда возникает «блестящая» идея, ученый обязан сначала бросить все свои силы на попытку ее опровергнуть. И лишь тогда, когда ему это не удастся, когда он исчерпает все свои возможности для этого, он имеет право выдвигать ее, идею, для экспериментальной или теоретической проверки.

Монолог 5-й

Я задаю себе один и тот же вопрос, когда хочу в чём-то разобраться: "Почему это «что-то» меня привлекает?". Я не ищу причин, которые обратили моё внимание на этот объект или «заставили» меня столкнуться с ним, – их в жизненных ситуациях бывает неисчислимо много, и каждая из причин «хочет» быть первой. Меня же интересует не прошлое, а настоящее: моё *взаимочувство* с объектом. Именно об этом и пойдет речь.

Итак, **п о ч в а**. Несколько отступая от своих первых страниц, я мог бы дать такую «расшифровку по буквам»:

"Породо-Органическое Чудо Взаимодействующих Аккумуляций".

И только теперь начинается мой монолог, точнее, обрывки мыслей, фрагменты видений... Сначала – несколько «мудрых» фраз: "Свежий взгляд, как и свежий навоз, далеко не лучшее удобрение", "Безграмотность – не порок!..." и моя молитва.

Молитва

"Да простят мне Боги Почвоведения, что словом нечистым поганю их дело научное! Писание их Священное, не чтимое мной так, как подобает рабу божьему, извращаю пером-самопискою... И не знаю заклинаний, ниспосланных святым Докучаевым во озарение отцам великим противу слова сатанинского, – грешен! Да спошлют мне Боги прощение и покаяние в грехах содеянных, а пуще всего в тех, что содейть собираюсь! Аминь..."

И все же я должен самому себе задать этот пресловутый вопрос: "Что же все-таки привлекает меня в **почве**? А ответ напрашивается сам собой: именно в ПОЧВЕ, как в фокусе, сходятся сейчас все лучи, все направления возможной деятельности ученого: физика и химия, биология и география, философия и математика, лингвистика и механика, метеорология и история, ботаника и экономика, теория познания и зоология, медицина и теория эксперимента, – я не сказал ничего лишнего, скорее – многое упустил (экология, кристаллография и т.д.). Но важнее всего то, что в ПОЧВЕ сочетаются все фундаментальные и узловые феномены Природы: время, движение, закономерность, случай, пространство, сплошность, дискретность, взаимодействие, жизнь, единичное, распад, развитие, переход, память... Другими словами, ПОЧВА – это тот пробный камень, на котором конкретно и широко может испытываться *любая теория научного познания*. Это и привлекает меня прежде всего. И последнее: мне кажется, что почвоведение находится сейчас в «особой точке», – период накопления наблюдений «со стороны» идет на спад и начинается процесс разглядывания «изнутри», начинает создаваться нечто *собственно почвоведческое*, а не заимствованное из других наук о природе, из географии, химии, физики, механики, биологии, агрономии, прикладной математики. Что же это такое, *собственно почвоведческое*? Точно ответить трудно – могу лишь как метафорой «ответа» воспользоваться одной мыслью А. Пушкина. Он говорил, что в наше (его, имеется в виду) время ни одной новой философской фразы нельзя придумать, все уже было сказано, но всегда можно так столкнуть чужие мысли друг с дружкой, что от их соударения родится искра нового, никем ещё неслышимая и невидимая до этого мысль.

Монолог 6-й

Я слишком много болтаю «вокруг да около», а пора уже поговорить о самой почве, о ее насущных задачах. Но при этом я хочу сразу же оговориться: я не буду касаться проблем *агрочвоведения*. Не потому, что считаю эти проблемы «вторыми», ни в коей мере! – Просто потому, что *агрочвоведение* – это наука о взаимоотношениях между человеком и почвой, её основная цель – создание такого равновесного состояния между почвой и воздействием на неё, при котором свойство её плодородия не убывало бы во времени. Само же *почвоведение* – это изучение того феномена природы, что являет нам почва во всем своем многообразии, и результаты такого изучения безусловно будут полезны настоящему *агрочвоведению*, если не в текущий момент, то в будущем. В таком же отношении находятся физика и техника, философия и идеология, эстетика и мода... Но и мода, если она истинна, может быть

выше «средней» эстетики, и достижения агропочвоведения сплошь и рядом выше околонуточных притязаний почвоведов и того почвоведения, которое они представляют...

Попробуем же выделить те основные проблемы и методы, которыми занимается почвоведение сейчас и которые действительно являются проблемами именно почвоведения. Моё перечисление таких проблем наверняка будет неполным. Отчасти это произойдет от моего незнания, а отчасти – от спорности ряда проблем: являются ли они по своей внутренней сути почвоведческими или должны быть отнесены к другим разделам человеческого познания? И конечно же, надо учесть мою субъективность...

Прежде всего я выделю круг гносеологических проблем, а среди них я выделю в первую очередь *проблему оогенеза почв*: возникновение и становление почвы от «нуля» до того момента, когда обрывается пуповина, связывающая ее с породой, когда почва начинает «жить» как *природное тело* (в терминологии Докучаева)... Это – одна из труднейших проблем хотя бы потому, что *время* почвообразования простирается от нескольких десятков лет до нескольких столетий.

Другая, не менее важная и не менее трудная проблема из того же ряда может быть названа проблемой «*памяти*» почв: "Что «забывает» почва? Какие формы ее структуры обновляются (как кровь в человеке) намного быстрее, чем сроки ее долголетия? Хранится ли в «зрелой» почве информация о процессах ее почвообразования?..".

Прежде чем сформулировать еще одну проблему, зададимся «простым» вопросом: "Как соотносится время существования на Земле черноземов (как типа почв, а не конкретной территориальной единицы) с длительностью существования растений и животных?". Зададим этот же вопрос по-другому: «Существовали или нет несколько миллионов лет тому назад почвы того же типа, что и современные черноземы?".

В более общей форме ту же *проблему долголетия почв* можно сформулировать так: "Каковы те времена (эпохи), в течении которых протекает возникновение *типа почвы*, его «взрослая» жизнь, старение и исчезновение?". Причем, здесь имеется в виду не «жизнь» конкретного типа в конкретном регионе с конкретными географическими границами, а факт существования данного *типа* в каких-либо регионах, быть может, в разное время: конкретный ихтиозавр умирает, место распространения ихтиозавров на Земле меняется, но они, как определенная данность, имели свой срок на земле. Было время ихтиозавров – можно ли говорить о времени черноземов или о времени подзолов?

Мне кажется, что именно эти проблемы, независимо от того, насколько они были осознаны или нет, сформировали заботу о *генетическом* аспекте в почвоведении, желание исходить из *генезиса*

почв при любом ее исследовании. Но эти проблемы, как и проблемы гносеологии в любой науке, относятся к научно-философским проблемам, являются *открытыми*, т.е. экспериментально не реализуемыми. Это – проблемы ретроспективного анализа конкретно-временных экспериментов и наблюдений в мыслительных интерпретационных исследованиях. С другой стороны, никакой долгосрочный прогноз в науке невозможен без концепции исторического генезиса, без моделей развития объектов данной науки. Однако *генетическое*, являясь концептуальным в почвоведении, не может быть основой для структурно-морфологических, полуколичественных и количественных закономерностей в «живущей здесь и сейчас» почве. И не может дать критериальное знание при построении систематики почв на уровне основных таксономических единиц, хотя на высших уровнях необходимо обращение к наиболее общим, концептуальным моделям в данной науке, поскольку конкретное экспериментальное знание всегда ограничено не только состоянием науки, но и принципиальной невозможностью «глобального экспериментирования».

Следующий круг проблем, который, как мне кажется, обладает определенной общностью, связан с *анатомией* почв, с ее структурным многообразием. И здесь есть две взаимосвязанные группы проблем: в одной краеугольным вопросом является вопрос о структурно-морфологических соотношениях, так сказать, о «внешности» почв, о ее «теле», в другой же группе главной является проблема выявления внутренней сущности, «характера», устойчивых проявлений почвы в процессе ее функционирования, в процессе ее «жизни». Обе группы этих проблем и важны, и трудны, но если вторая из них является прежде всего совокупностью вопросов о механизмах, осуществляющих и сопровождающих «жизнь» почвы, о тех взаимодействиях, что бытуют в ней, устанавливая некий *баланс сил*, создавая устойчивость ее, право на ИМЯ, то первая группа проблем связана с вопросом о том, насколько «внутренняя жизнь» почвы проявляется в «зримом» виде, на разрезе, в горизонтальных срезах, в градационных и качественных характеристиках, поставляемых морфологией почв.

Монолог 7-й и последний!

Ох, уж эта память! Иногда мне хочется воскликнуть вслед за Константином Симоновым (не дословно, но точно по смыслу): сдать бы её кому-нибудь на прокат – пусть пострадают! И вот ведь что получается: помнишь именно то, что лучше было бы позабыть, а вот то, что надо – никак не удастся вспомнить... Наверно, тоже самое происходит и с почвой. Какой бы наводящий вопрос ей задать?.. Вспоминаю свой 3-й монолог, где я пытался найти ответ на вопрос о том, сколь «широка»

память почвы (ореол, а может быть, ареал памяти, не знаю, что точнее) о происходящем в данном объеме почвы вокруг фиксированной точки. Но есть и «обращенный» вопрос о большой территории, например, поле в 173 га: "Много ли надо знать о небольшом «куске» этой территории, чтобы ее могли «узнать» те, кого я пошлю на это поле, снабдив добытой с исследованного куска информацией?". Этот вопрос тут же «тянет» за собой другой, *волнительный* вопрос: "Какова природа *случайного* в почве?". Ведь, с одной стороны, для почвы существенное значение имеет поведение свойств, их взаимосвязь в находящихса близко друг от друга профилях и взаимосвязь *тенденций* на более отдаленных расстояниях, т.е. обусловленная природой зависимость, функциональность в законах изменения свойств от одной географической точки к другой, отстоящей от неё на том или ином расстоянии, находящейся на той же глубине или нет. А с другой стороны, для характеристики *целого по части* в отсутствии функциональных законов связей между разными точками пространства (пока что в почвоведении они практически отсутствуют и нет уверенности, что они когда-нибудь будут) единственным методом оказывается *статистика*. Однако для реального статистического анализа необходимы не столько значения свойств, сколько *стохастическая природа* этих значений, *генезис экспериментальных данных*, в который входят не только процессы в самой почве, но и не особо регламентированные процессы организации эксперимента самими исследователями. Так какова же эта *стохастическая* природа?

И здесь снова приходится говорить о почвенной памяти: одна из них о делах давно минувших, обусловленная давними наслоениями условий, в которых формировалась почва (лесные пожары, многолетние засухи или периоды «мокрых» лет, смена растительного сообщества, переселение птиц, антропогенные воздействия и тому подобное), а другая – о недавнем, «сиюминутном» по отношению к историческому времени существованию почвы (крупные и мелкие пертурбации – прошлогодний вывал, кротовина, ходы дождевых червей, трещины и затекание в них воды после ливня, разные погодные ненастья и многое другое). Эта двойственность почвенной памяти отмечалась многими, но попытку определить ее, видимо, первым предпринял В. Таргульян, который ввел два новых термина: *почва-память* и *почва-момент*. Можно думать, что функциональные модели пригодны для тех связей в почве, которые обусловлены почвой-памятью, а те, где ведущую роль играют процессы, обусловленные почвой-моментом, имеют ярко выраженную стохастическую природу.

В общем, ясно, что почва – неисчерпаемый полигон для испытания любых стохастических и физических моделей, но это уже – конкретная работа с конкретным материалом, а не мои монологи... Аминь!

Научное издание

Природная и антропогенная неоднородность почв
и статистические методы ее изучения

Сборник научных статей по материалам
Всероссийской научной интернет-конференции с международным
участием, посвященной 90-летию со дня рождения заслуженного
профессора Е.А. Дмитриева

Под общей редакцией В.П. Самсоновой,
М.И. Кондрашкиной, Ю.Л. Мешалкиной

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова
Факультет почвоведения

Сертификат соответствия № РОСС RU.AB51.HO5316

Подписано в печать 28.02.2022. Формат 60x90 1/16.
Печать цифровая. Бумага офсетная № 1. Усл. печ. л. 15,5.
Тираж 500 экз. Заказ №

Издательско-торговая корпорация «Дашков и К^о»
129347, Москва, Ярославское шоссе, д. 142, к. 732
Тел.: 8 (495) 668-12-30, 8 (499) 182-01-58
E-mail: sales@dashkov.ru — отдел продаж;
office@dashkov.ru — офис; <http://www.dashkov.ru>

Отпечатано: АО «Т8 Издательские Технологии»
109316, Москва, Волгоградский проспект, дом 42, корпус 5
Тел.: 8 (499) 322-38-30

ISBN 978-5-394-05059-6

