

Лобков Василий Александрович

**ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ
ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА
БОРИСОГЛЕБСКОЙ ВОЗВЫШЕННОСТИ
И СУЗДАЛЬСКОГО ПЛАТО**

Специальность 1.6.12 – физическая география и биогеография,
география почв и геохимия ландшафтов;
1.6.14 – геоморфология и палеогеография

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Работа выполнена в отделе географии и эволюции почв ФГБУН Института географии Российской академии наук

- Научный руководитель:** **Илья Германович Шоркунов**,
кандидат географических наук, старший научный
сотрудник отдела географии и эволюции почв
ФГБУН Института географии РАН
- Официальные оппоненты:** **Рыжов Юрий Викторович**,
доктор географических наук, заведующий
лабораторией геологии мезозоя и кайнозоя
ФГБУН Института земной коры СО РАН
- Конюшков Дмитрий Евгеньевич**,
кандидат географических наук, ведущий научный
сотрудник отдела генезиса, географии,
классификации и цифровой картографии почв
ФГБУН ФИЦ «Почвенный институт имени В.В.
Докучаева»
- Ведущее учреждение:** ФГБУН ФИЦ «Пушинский научный центр
биологических исследований РАН»

Защита состоится «20» июня 2025 года в 14 час. 00 мин в конференц-зале на заседании диссертационного совета 24.1.049.02 при Институте географии РАН по адресу: 119017, г. Москва, Старомонетный переулок, д. 29; тел./факс (495) 959-00-33; E-mail: d00204603@igras.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института географии РАН и на интернет-сайте <http://igras.ru/4115>

Приглашаем Вас принять участие в обсуждении диссертации на заседании диссертационного совета и присылать отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенных печатью организации, по указанному адресу секретарю диссертационного совета.

Автореферат разослан «___» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат географических наук



Елена Анатольевна Белоновская

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Значительные перестройки природной среды в течение последнего ледниково-межледникового цикла обусловили полигенетичность ландшафтов возвышенностей центра Восточно-Европейской равнины (ВЕР). Для них в последние ~130 тыс. л. были характерны относительно низкие темпы осадконакопления и продолжительные периоды стабильного экспонирования поверхности, что выразилось в наличии реликтовых черт, унаследованных от предыдущих климатических этапов, в чехле послеледниковых отложений и дневных почвах.

Накоплен обширный материал по крупномасштабной неоднородности морфологических, физико-химических и геофизических свойств, изучены актуальное функционирование и связь пространственной организации почвенного покрова с дневным и погребенным микрорельефом (Тюрюканов, Быстрицкая, 1971; Симакова, 1984; Алифанов, 1995; Величко и др., 1996; Савастру, 1999; Архангельская и др., 2007; Коснырева, 2007; Умарова, 2008; Макеев, 2012 и др.). Изучение реликтовых черт послужило основанием для выявления роли факторов почвообразования, действовавших в предыдущие климатические этапы, и формирования представлений о полигенезе почв региона (Таргульян и др., 1974; Александровский, 1983; Алифанов, 1995; Величко и др., 1996; Гугалинская, 1997; Макеев, 2012). Однако, до сих пор остаются дискуссионными вопросы формирования текстурно-дифференцированного профиля (ТДП), второго гумусового горизонта (ВГГ), карбонатных новообразований, глеевых признаков и т.д., их педо- или литогенное происхождение. Пространственная и временная организация почвенного покрова рассматривается преимущественно независимо в рамках географической и эволюционной моделей педогенеза, что затрудняет сопоставление результатов разных исследовательских групп и направлений. Таким образом, дальнейшее накопление знаний о генезисе, полигенезе, эволюции и функционировании дневных почв представляется наиболее эффективным в рамках развития эволюционно-генетической парадигмы структуры почвенного покрова региона.

Объектами исследования выбраны микрокомбинации почвенного покрова двух возвышенных участков Восточно-Европейской равнины, расположенных между границами максимального распространения средне- и позднеплейстоценовых оледенений, – Борисоглебской возвышенности и Суздальского плато. **Предмет** исследования составляет пространственная и временная неоднородность почвенного покрова в масштабе микрокомбинаций, причины и факторы ее формирования.

Цель исследования – разработать концептуальные географические и эволюционные модели педогенеза, описывающие крупномасштабную пространственно-временную организацию почвенного покрова на ключевых участках Борисоглебской возвышенности и Суздальского плато.

Задачи исследования:

1. Определить последовательность формирования педогенных признаков в полигенетичных дневных почвах ключевых участков.

2. Выявить эволюционные стадии развития дерново-подзолистых и серых почв Борисоглебской возвышенности и Суздальского плато.

3. Подобрать наиболее эффективный методический подход для выявления пространственной неоднородности почвенного покрова, ее профильной и картографической визуализации в крупном масштабе.

4. Определить компонентный состав, геометрию и структуру внутренних связей микрокомбинаций почвенного покрова.

5. Выявить эволюционные стадии и процессы формирования микрокомбинаций почвенного покрова.

Методологическую основу работы составляет морфогенетическое исследование морфологических и физико-химических свойств в иерархическом ряду масштабов организации почвенного тела от макро- к микро (Таргульян и др., 1974; Gerasimova et al., 2016). Помимо классических методов почвоведения и палеопочвоведения применен морфологический анализ рельефа, комплекс методов дистанционного зондирования, геофизическая профильная и площадная съемка, комплексный литологический анализ.

Области исследования в соответствии с паспортами специальностей. Специальность 1.6.12 «физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов»: 7. География и картография почв, происхождение и структура почвенного покрова; 8. Естественная и антропогенная эволюция почв и почвенного покрова. Специальность 1.6.14 «геоморфология и палеогеография»: 21. История перигляциальных и экстрагляциальных областей; 22. Палеопедология и история формирования почвенного покрова.

Фактический материал и личный вклад автора. Полевые данные получены в ходе работ на Борисоглебской возвышенности (2016–2024 гг.) и Суздальском плато (2020–2023 гг.) при непосредственном участии автора с 2019 г. В каждом районе исследованы по два ключевых участка: «Поклонский холм» и «Козловская котловина», «Гнездилово-12» и «Дубовая роща». Используются архив спутниковых изображений открытого доступа (Google Earth) за 2004–2023 гг., ортофотопланы и цифровые модели местности, выполненные В.Р. Беяевым, Н.Н. Луговым, А.П. Вергуном и А.А. Медведевым в ходе БПЛА-аэрофотосъемок ключевых участков в 2017–2024 гг. На ключевых участках «Дубовая роща» и «Поклонский холм» при участии и лично автором выполнены геофизические съемки. Также привлечены материалы геофизических съемок на ключевом участке «Гнездилово-12», любезно предоставленные коллективом Суздальской археологической экспедиции – научными сотрудниками Института археологии РАН, ГИМ и геологического факультета МГУ А.М. Красниковой, И.Н. Модиним, С.А. Ерохиным и В.А. Шевченко.

Автор участвовал на всех этапах сбора, обработки и анализа основных типов данных. Определение магнитной восприимчивости и пробоподготовка выполнялись автором в Институте географии РАН (г. Москва). Определение гранулометрического состава методом лазерной дифракции для ключевого участка Поклонский холм выполнено в лаборатории палеоархивов природной среды ИГ РАН (г. Москва) с

помощью анализатора размеров частиц Malvern Mastersizer 3000, для участков «Козловская котловина» и «Дубовая роща» – на кафедре геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ (г. Москва) Е.В. Гаранкиной и Е.Д. Шеремецкой на анализаторе Fritsch ANALYSETTE 22 NanoТес, закупленном по Программе развития МГУ. Обработка и графическая визуализация (построение графиков и 3D-моделей) результатов макроморфологического исследования, гранулометрического анализа, объемной и частотно-зависимой магнитной восприимчивости выполнена автором. Определение содержания углерода карбонатов и железа несиликатных соединений выполнено в лаборатории ИФХиБПП РАН (г. Пушкино). Определение содержания общего органического углерода и азота методом сухого сжигания выполнено в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» ИГ РАН (г. Москва). Датирование общего органического углерода почв методом жидкостной сцинтилляции проведено в радиоуглеродной лаборатории Института геохимии окружающей среды НАНУ (г. Киев, Украина), общего органического углерода почв методом ускорительной масс-спектрометрии в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» Института географии РАН» и Центре прикладных изотопных исследований Университета штата Джорджия, США в 2016–2024 гг.

Научная новизна:

1. Впервые для региона исследований показано повсеместное включение почвенных тел средневалдайского мегаинтерстадиала в дневные педолитокомплексы междуречий.
2. Выявлены признаки глубокого растрескивания и лессиважа, характеризующие самостоятельный доголоценовый этап почвообразования.
3. Впервые на основе данных литологического, иерархического морфологического и физико-химического исследования дана палеогеографическая и педогенетическая трактовка неоднородности геофизических свойств микрокомбинаций почвенного покрова. Определено место и потенциал площадной электротомографической и съемки аномалий магнитного поля Земли в выявлении, исследовании и картографической визуализации пространственной неоднородности почв.

Теоретическая и практическая значимость:

1. Выявленные взаимосвязи геофизических свойств и особенностей строения и состава почвенно-осадочных толщ могут быть использованы при определении оптимальной методики и интерпретации данных электро- и магниторазведки, разделении аномалий естественного и антропогенного происхождения, выборе мест для заложения разрезов и скважин бурения.
2. Установленная пространственная воспроизводимость стратиграфических уровней педогенеза MIS 3 – MIS 2 важна для геологического картографирования, стратиграфического расчленения и корреляции позднеплейстоценовых отложений.
3. Алгоритм и материалы комплексных площадных исследований на участках могут быть использованы при агроэкономической оценке почв, составлении

детальных планов почвенного покрова. Выявленные закономерности пространственного распределения сноса и аккумуляции материала, а также их динамики в исследованном хроноинтервале имеют значение для разработки моделей эрозии почв и ее прогноза.

Основные защищаемые положения:

1. Вертикальная неоднородность срединных горизонтов текстурно-дифференцированных почв возвышенностей региона определяется стратиграфией почвообразующих пород – послеледниковых отложений, сформированных процессами водной, эоловой и склоновой аккумуляции, денудации и циклического криогенеза. Дневные почвенные тела вмещают набор признаков разновозрастного педогенеза. Наиболее ранние признаки сформированы в течение средневалдайского мегаинтерстадиала, фронт их распространения связан с погребенной поверхностью финала MIS 3.

2. Горизонтальная неоднородность дневного почвенного покрова междуречий связана с микрофациальностью слоев почвообразующих пород и начала формироваться с позднего пленигляциала (MIS 2) синхронно с развитием криогенной морфоскульптуры. Твердофазная запись признаков педогенеза наиболее полно раскрыта в горизонтном строении почв отрицательных элементов микрорельефа, испытывавших периодическое поступление материала с микроповышений.

3. Полихронные регулярно-циклические почвенные микрокомбинации сформированы по полигонально упорядоченным типам реликтовой криогенной морфоскульптуры (РКМ) и создают основной рисунок почвенного покрова. Спорадическая пятнистость почвенных ареалов обусловлена голоценовыми глубокими ветровальными нарушениями.

4. Комплексная площадная электротомографическая и магнитометрическая съемка наиболее эффективна при выявлении горизонтальной и вертикальной неоднородности, позиционировании разрезов и итоговой картографической визуализации микрокомбинаций текстурно-дифференцированных почв междуречий на покровных суглинках.

Степень достоверности полученных выводов обусловлена использованием большого объема фактического материала, иерархическим подходом при выборе пространственного разрешения морфологического исследования, привлечением детальной геофизической съемки к традиционной методологии географии почв и палеопочвоведения. Достоверность предложенных эволюционных моделей педогенеза обусловлена последовательным рассмотрением признаков на макро-, мезо- и микроуровне и достигается последовательной проверкой генерируемых генетических гипотез над каждым этапе (Шоркунов, Гаранкина, 2024). **Апробация результатов** работы проводилась в рамках VIII Щукинских чтений (Москва, 2020), II Всероссийской научной конференции «Пути эволюционной географии» (Москва, 2021), VI конференции молодых ученых Почвенного института им. В.В. Докучаева «Почвоведение: горизонты будущего» (Москва, 2022), ежегодной школы-конференции молодых ученых «Меридиан» (Курск, 2021; Москва, 2022, 2023), Всероссийской

научной конференции «Перигляциал Восточно-Европейской равнины и Западной Сибири» (Ростов Великий, 2023) и полевом симпозиуме, где автор подготовил и представил полевые объекты на одном из ключевых участков ведущим отечественным специалистам в области криолитологии, четвертичной геологии, палеогеографии и палеопочвоведения, Региональной конференции международной ассоциации геоморфологов (IAG) «Geoheritage and Geodiversity» (Каппадокия, 2023), I Белорусском географическом конгрессе (Минск, 2024), а также на научных семинарах им. В.О. Таргульяна «Почвы во времени и пространстве» ИГ РАН (2023, 2024).

Публикации. По теме исследования опубликовано 12 научных работ, из них 4 в рецензируемых изданиях Scopus, WoS и RSCI. В статье (Шматова, Лобков, 2024) изложена методика изучения криогенных признаков в почвах на примере почвенного покрова территории с современной мерзлотой.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из 7 глав, введения, выводов, списка литературы, включающего 152 источника, в том числе 47 на английском языке и 2 интернет-источника, 6 приложений. Приложения содержат 65 рисунков и 13 таблиц. Содержательная часть диссертации изложена на 181 странице, иллюстрирована 2 таблицами и 21 рисунком. Общий объем диссертации с приложениями составляет 271 страницу.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность к.г.н. И.Г. Шоркунову за руководство работой. За консультации, организацию и проведение полевых, камеральных и лабораторных работ, а также предоставленные материалы автор глубоко признателен творческому коллективу, сложившемуся в ходе выполнения проекта РНФ №19-77-10061, в лице сотрудников ИГ РАН и кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ к.г.н. Е.В. Гаранкиной, к.г.н. В.Р. Беляева и Е.Д. Шеремецкой. Отдельную благодарность автор выражает Л.А. Фроловой за существенный вклад в получение, обработку и осмысление материалов, к.г.-м.н. А.В. Кошурникову (МГУ) за предоставление оборудования и помощь в организации и проведении магнитометрических работ, А.П. Юрченко (ИГ РАН) за помощь в организации, проведении электротомографии и обработке данных, к.г.н. Е.А. Константинову (ИГ РАН) за предоставленную возможность и руководство лабораторными измерениями магнитной восприимчивости, к.г.н. А.В. Долгих (ИГРАН) за обработку результатов радиоуглеродного датирования. За доступ к археологическим памятникам, помощь в организации и проведении полевых работ, геофизические и другие материалы автор благодарен коллективу геофизиков геологического факультета МГУ и археологов ИА РАН и ГИМ в лице д.т.н. И.Н. Модина, к.г.-м.н. С.А. Ерохина, В.А. Шевченко и А.М. Красниковой. За помощь в полевых работах автор признателен выпускникам, аспирантам и сотрудникам МГУ и ИГ РАН Ю.В. Шишкиной, А.Е. Семочкиной, Э.Д. Захаровой, Н.В. Мокиевскому, Р.А. Кошурникову, И.М. Петровнину и многим другим. За внимание, обсуждение и критику работы автор благодарен всему коллективу отдела географии и эволюции почв ИГ РАН, д.б.н. А.О. Макееву, д.г.н. А.В. Русакову и д.г.н. О.С. Хохловой.

Полевые работы, в т.ч. геофизическая съемка, буровое профилирование, литологический и фациальный анализ почвообразующих пород в траншеях и разрезах, макроморфологическое исследование почвенных тел, радиоуглеродное датирование доголоценовых морфонов выполнены при финансовой поддержке грантов РФ 19-77-10061 (рук. И.Г. Шоркунов) и 23-17-0007 (рук. А.О. Макеев), Радиоуглеродное датирование голоценовых темногумусовых горизонтов и морфонов и интерпретация результатов проведены за счет гранта Министерства науки и высшего образования РФ 075-15-2024-554 (рук. чл.-корр. РАН О.Н. Соломина). Мезо- и микроморфологическое исследование выполнено в рамках темы государственного задания FMWS-2024-0010 (рук. И.В. Замотаев). Измерение гранулометрического состава проведено Е.В. Гаранкиной и Е.Д. Шеремецкой на кафедре геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова с помощью анализатора размеров частиц Fritsch ANALYSETTE 22 Nano, закупленного по Программе развития МГУ. Обработка и интерпретация данных лазерно-дифрактометрического анализа выполнена по теме государственного задания 121040100323-5 (рук. А.В. Бредихин).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Методологические, палеогеографические и эволюционно-генетические проблемы исследования пространственной неоднородности почвенного покрова возвышенностей северной перигляциальной зоны Восточно-Европейской равнины

В центре ВЕР между 53° и 60° с.ш., 25° и 42° в.д. с юго-запада на северо-восток между границ максимального распространения MIS 2 и MIS 6 оледенений протянулась обширная зона островного распространения субэдральных лёссовидных образований, приуроченных к возвышенным равнинам (рис. 1). В рамках данного исследования эта зона составляет исследуемый регион и носит название «северной перигляциальной зоны». Накопление материалов по фациальному строению, лито- и педостратиграфии послеледниковых отложений региона привело во второй половине XX века к широкому признанию полигенетического характера дневных почв и почвенного покрова возвышенностей (Таргульян и др., 1974; Александровский, 1983; Алифанов, 1995; Величко и др., 1996; Гугалинская, 1997 и др.). Относительно низкие темпы осадконакопления, суглинистый состав и микрофациальность почвообразующих пород, широкое развитие РКМ вкупе с наиболее высокоамплитудной в четвертичном периоде динамикой биоклиматических условий обеспечили очень высокую информационную емкость почвенных тел.

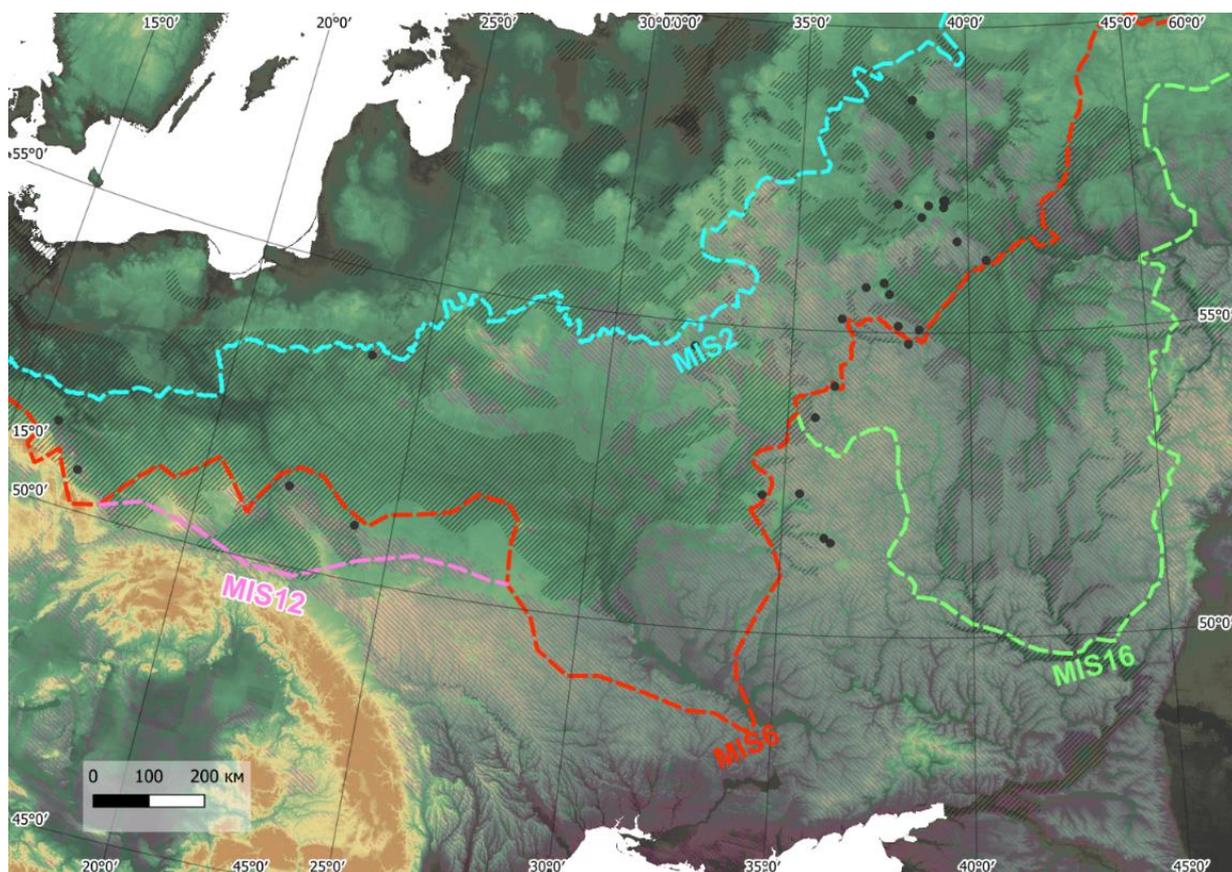


Рис. 1. Картохема распространения лёссово-почвенной формации (розовая штриховка, согласно Lehmkuhl et al, 2020) и песчаного пояса Восточной Европы (черная штриховка, согласно Zeeberg, 1998 за пределами России, согласно распространению водно-ледниковых и аллювиальных отложений на ГТК России 1 млн масштаба). Штриховые линии – границы максимального распространения четвертичных оледенений согласно Hughes et al., 2020 за пределами России, согласно материалам ГТК 1 млн масштаба в пределах России. Черные точки – местоположения разрезов и участков, рассмотренных в главе 1.

Важной вехой в истории разработки концептуальных моделей, описывающих пространственно-временную организацию почвенного покрова региона, стала концепция морфолитопедогенеза, предложенная Л.А. Гугалинской и развитая в серии работ (Гугалинская, 1997; Гугалинская и Алифанов, 2008; Гугалинская и др., 2015). Рядом исследовательских групп было выявлено, что строение почвенных тел, развитых в пределах междуречий региона, в значительной степени зависит от условий микрорельефа и фациального строения слагающих пород (Алифанов, 1995; Алифанов и др., 2010; Величко и др., 1996; Макеев, 2012). Основной причиной и фактором неоднородности почвенного покрова в масштабе микрокомбинаций по В.М. Фридланду (1972) в этих работах была признана РКМ. Особенное значение имеют наиболее распространенные типы РКМ, сформированные по полигональному микрорельефу начала ярославской эпохи криогенеза (MIS 2) (Величко и др., 1996). Поскольку исследуемый регион находится в лесной зоне другим важным фактором развития микронеоднородности почвенного покрова являются ветровальные нарушения, оказывающие влияние на почвы через педотурбации и комплекс форм микрорельефа (Васенев и Таргульян, 1995; Бобровский, 2010).

Глава 2. Подходы и методы исследования

Предварительный этап исследования включал анализ оптических спутниковых изображений субметрового разрешения (Google Earth, 2004–2023 гг.), глобальной ЦМР FABDEM с разрешением 30 м, фондовых картографических материалов: комплектов государственных геологических карт масштаба 1 : 1 000 000 и 1 : 200 000, топографических и почвенных карт. Анализ микрорельефа проведен на основе панорам оптических изображений, полученных с помощью БПЛА-аэрофотосъемки с разрешением 10 см. В программной среде SAGA на основе отфильтрованных и заглаженных до разрешения 0.5 м цифровых моделей местности (ЦММ) был рассчитан индекс топографической позиции (TPI) с радиусом 30 м. Детальная магнитная съемка на ключевых участках «Дубовая роща» и «Поклонский холм» проведена с помощью пешеходных магнитометров (QuantumMag и MaxiMag, Геодевайс, Россия) по сети параллельных профилей на планшетах 100*50 и 50*75 м соответственно. Электротомографическая съемка проведена на ключевом участке «Поклонский холм» с помощью электроразведочной станции «СКАЛА 48К12» (КБ Электротометрии, Россия) по сети параллельных профилей на планшете 34*47 м. Для ключевого участка «Гнездилово-12» использованы материалы ранее выполненной магнитной и электротомографической съемки (Модин и др., 2023). На основе анализа неоднородности удельного электрического сопротивления (УЭС) и аномального магнитного поля на ключевых участках «Поклонский холм», «Гнездилово-12» и «Дубовая роща» были заложены разрезы с точной привязкой к локусам фоновых и аномальных значений. Проведено детальное макроморфологическое исследование последовательных горизонтальных срезов и итоговых вертикальных профилей в разрезах 1.5*3.0, 4*4 м. Объемная магнитная восприимчивость (κ) отложений измерена в вертикальных и горизонтальных расчистках капаметрами SatisGeo KM-7 (Чехия) и Геодевайс ПИМВ (Россия) по регулярной сети с шагом 10–25 см. На основе фотографических изображений срезов и карт интерполяции значений магнитной восприимчивости построены 3D-модели разрезов. На ключевом участке «Козловская котловина» изучены протяженные ($n \cdot 10^2$ м) вертикальные и горизонтальные срезы в строительных траншеях и котлованах, исследована микрофациальность слоев почвообразующих пород и микрокомбинации почвенного покрова. Применен литолого-стратиграфический, почвенно-географический и геоморфологический подход. Объемная организация почвенных тел в поле и в образцах ненарушенного строения (монолитах) изучена в лаборатории с применением световой стереомикроскопии. Выделены генетические, диагностические горизонты, морфоны, проанализировано их профильное и горизонтальное распределение. Микроструктурная организация изучена с помощью сканирующей электронной микроскопии на микроскопе JEOL JSM-6610LV.

В ходе гранулометрического анализа методом лазерной дифракции при помощи анализатора размеров частиц Malvern Mastersizer 3000 в лаборатории палеоархивов природной среды ИГРАН и Fritsch ANALYSETTE 22 Nano на кафедре геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова средняя

проба измельченного образца массой 0.3 г обрабатывалась 4% раствором пирофосфата натрия и ультразвуком. Распределение частиц по размерам рассчитано по модели Фраунгофера, использована размерная шкала Батурина.

Определение содержания общего органического углерода методом сухого сжигания проведено в ЦКП «Лаборатория электронной микроскопии и радиоуглеродного датирования ИГРАН». В лаборатории отдела эволюции и экологии почв ИФХиБПП РАН определено содержание неорганического углерода карбонатов манометрическим методом с 10% раствором HCl, содержание железа несиликатных соединений в дитионит-цитрат-бикарбонатной (метод Мера-Джексона) и оксалат-аммонийной (метод Тамма). Измерения удельной МВ выполнены в лаборатории палеоархивов природной среды ИГ РАН с помощью прибора SM150 (ZH Instruments, Чехия) на двух частотах: 500 Гц (χ_{LF}) и 4000 Гц (χ_{HF}). Частотно-зависимая МВ (χ_{FD}) вычислена как разница χ_{LF} и χ_{HF} , выраженная в процентах к χ_{LF} . Для интерпретации полученных значений χ_{FD} использована полуколичественная классификация, приведенная в работе (Dearing, 1999). Радиоизотопное датирование общего органического углерода почв методом жидкостной сцинтилляции проведено в радиоуглеродной лаборатории Института геохимии окружающей среды НАНУ (г. Киев, Украина) и методом ускорительной масс-спектрометрии в ЦКП «Лаборатория радиоуглеродного датирования и электронной микроскопии» ИГРАН и Центре радиоизотопных исследований Университета штата Джорджия, США. Калибровка дат проведена в программной среде OxCal v.4.4.4 на основе калибровочной кривой IntCal20 (Reimer et al., 2020). В работе используется расчетный радиоуглеродный возраст в формате медиана с доверительной вероятностью 1 σ , 68.2%.

Исследование опирается на принципиальную стратиграфическую схему послеледниковых отложений возвышенностей региона, разработанную в ходе совместных исследований сотрудников ИГ РАН и МГУ им. М.В. Ломоносова (Garankina et al., 2022, 2023). Схема, а также ее корреляция со стратиграфическими схемами лёссово-(палео)почвенно-криогенных формаций Центральной России и Среднерусской возвышенности, приведена в таблице 1.

Глава 3. Объекты исследования

Это почвенные покровы двух возвышенных равнин, расположенных между границами максимального распространения средне- и позднеплейстоценовых оледенений, – Борисоглебской возвышенности и Суздальского плато (рис. 2). Выбранные районы репрезентуют два контрастных типа рельефа и два крупных ареала зональных почв, характерных для региона. На обеих равнинах основной почвообразующей породой выступает чехол послеледниковых отложений преимущественно суглинистого состава (т.н. «покровные суглинки»).

Группа участков на северо-восточном макросклоне Борисоглебской возвышенности расположена в зоне частых подвижек среднеплейстоценового оледенения и характеризуется аккумулятивным типом рельефа ледникового и водно-ледникового генезиса (Семенов и др., 1972).

Таблица 1. Стратиграфическая корреляция суглинисто-криогенной формации возвышенностей северной перигляциальной зоны и лёссово-почвенно-криогенной формации внеледниковой и древнеледниковой областей

MIS	Время	Суглинисто-криогенная формация возвышенностей северной перигляциальной зоны (Garankina et al., 2022, 2023)		MIS	Лёссово-почвенно-криогенная формация			
		Отложения	Криогенные горизонты		Центральная Россия (Velichko et al., 1990, 2006)		Среднерусская возвышенность (Сычева, 2012; Сычева и др., 2021)	
					Горизонты лёссов и почв	Криогенные горизонты	Горизонты лёссов и почв	Криогенные горизонты
1	Голоцен	VIII – агроделювиальные	–	1	голоценовая почва	–	4–6 голоценовых почв	–
2	Поздний дриас	–	A	2	алтыновский лёсс	ярославский, фаза «б»	позднеледниковый лёсс	ярославский
	Бёллинг / средний дриас / аллерёд	VI, VII – делювиальные	–			–		
	Ранний дриас	–	B			ярославский, фаза «а»		
	Основная дегляциация	–	–		трубчевская почва	–	5–6 почв и лёссов	–
	Максимум последнего оледенения	V – эоловые	–		C	деснинский лёсс	владимирский	поздневалдайский лёсс
3	Средний валдай	IV – криотурбационные и делювиально-солифлюкционные дериваты II-III	–	3	брянская почва	–	брянская почва	
		III – лужевые, озерные, органогенные	–				тускарский лёсс 1	тускарский, фаза «б»
	гидроузельская почва							
	тускарский лёсс 1	тускарский, фаза «а»						
4	Ранний валдай	II – флювиальные дериваты I	–	4	хотылевский лёсс	смоленский, фаза «б»	селиховодворский лёсс	селиховодворский
5a				мезинский ПК	крутицкая почва	–	стрелецкая почва	–
5b							млодательский лёсс	млодательский
5c							кукуевская почва	–
5d				5d	севский лёсс	смоленский, фаза «а»	сеймский лёсс	сеймский
5e	5e	салынская почва	–	рышковский ПК	–			
6	Московское оледенение	I – ледниковые и водно-ледниковые	–	6	московский лёсс	московский	московский лёсс	московский

В актуальном почвенном покрове междуречий преобладают дерново-подзолистые почвы. В качестве ключевых участков выбраны типичные формы мезорельефа: один из крупных плосковершинных холмов («Поклонский холм») и борт палеоозерной котловины («Козловская котловина»).

Группа участков в пределах Суздальского плато (один из сегментов Владимирского плато) расположена у границы максимального распространения среднеплейстоценового оледенения и характеризуется эрозионным типом рельефа, основные черты которого унаследованы от дочетвертичного расчленения, в то время как ледниковая и водно-ледниковая аккумуляция имела малую рельефоформирующую роль (Алехин и Квятковская, 1970). В актуальном (дневном) почвенном покрове междуречий преобладают серые почвы. В качестве ключевых участков выбраны вершинная поверхность («Дубовая роща») и пологий склон плато («Гнездилово-12»).

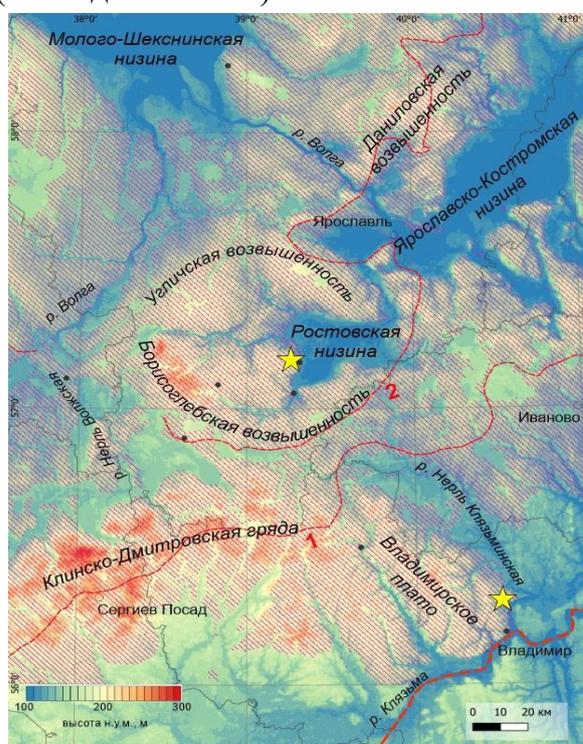


Рис. 2. Расположение групп участков (желтые звезды) на северо-восточном макросклоне Борисоглебской возвышенности и в Суздальском сегменте Владимирского плато. полужирный пунктир – граница максимального распространения московского оледенения; тонкий пунктир – стадийные границы: 1 – Клино-Дмитровско-Судиславльская; 2 – Борисоглебско-Авнижская. Розовая штриховка – покровные суглинки и супеси (ГТК 1:1000000, лист О-37, третье поколение)

Глава 4. Пространственно-временная организация почвенного покрова Борисоглебской возвышенности

Ключевой участок «Поклонский холм». Актуальный почвенный покров типичной поверхности верхнего яруса междуречий (вершины крупных холмов на отметках 185–214 м абс.) развит в послеледниковой суглинистой толще мощностью ~3 м, подстилаемой водно-ледниковыми отложениями и их флювиальными дериватами без выраженных признаков педогенного преобразования (рис. 3, 4). По характеру гранулометрического распределения, текстурным особенностям и комплексу наложенных признаков эта толща распадается на два основных пылевато-суглинистых слоя (IV и V). К нижнему слою IV приурочена толща сплошного пятнистого оглеения, обнаруживаемая в разных микрогеоморфологических позициях. С кровли перекрывающего слоя V мощностью 1–1.5 м развита

последовательность горизонтов текстурно-дифференцированного профиля: АУ-ЕL[hh]-BEL-ВТ. Эта последовательность на освоенных участках в разной степени усечена (вплоть до горизонта ВТ) вспашкой и агрогенной эрозией (рис. 4). Спорадические глубокие ветровальные нарушения, заполнены материалом гумусовой и элювиальной толщи. В организации почвенного покрова выявлена полигональная упорядоченность, связанная с тремя ярусами палеокриогенных структур (А, В, С), деформирующими типичное горизонтное строение (рис. 4). Закономерность никак не коррелирует с микротопографией участка, что свидетельствует о полной нивелировке палеокриогенного микрорельефа. В то же время полигональность четко отражается в распределении геофизических свойств (рис. 3).

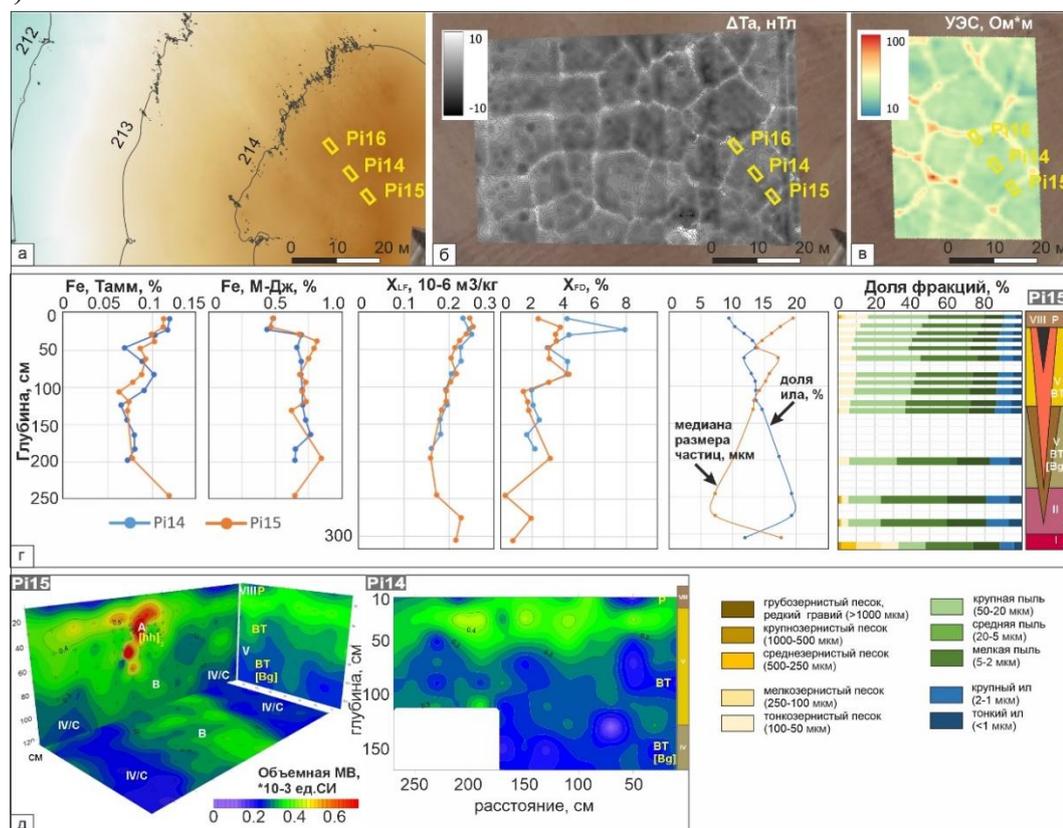


Рис. 3. Материалы дистанционного, геофизического и аналитического исследования по ключевому участку «Поклонский холм»: а) топография плосковершинной поверхности; б) аномальное магнитное поле; в) срез удельного электрического сопротивления на глубине 1 м; г) профильное распределение некоторых физико-химических свойств; д) интерполяции объемной МВ в разрезе межблочья (P15) и центра блока (P14).

Для верхнего яруса палеокриогенных структур (А), выделяющегося включением гумусированного материала, получены две даты 12731 ± 11 кал. л.н. (IGAN-5348) и 13245 ± 47 кал. л.н. (IGAN-7903). Обе даты отвечают второй половине аллерёда и свидетельствуют о позднедриасовом возрасте криогенного события. Датирование иллювиальных новообразований в зонах этих структур показало различный возраст. Для кутан в связанном с поверхностью поровом пространстве получены голоценовые даты: 5164 ± 77 кал. л. (IGAN-5351), 1669 ± 33 кал. л.н. (IGAN-5350). Существенно более древний возраст имеют рассеянные в ВПМ илистые папулы: 16107 ± 79 кал. л.н. (IGAN-5349), что отвечает раннему дриасу и

предполагает ранний этап миграции ила. Для морфонов ВГГ в элювиальной толще получены среднеголоценовые даты 4788 ± 187 кал. л.н. (Ki-19754) и 6524 ± 153 кал. л.н. (Ki-19753). Наиболее поздняя дата получена для гумусированной плужной подошвы 1368 ± 56 кал. л.н. (Ki-19755) под мощной (50 см) агростратифицированной толщей на склоне.

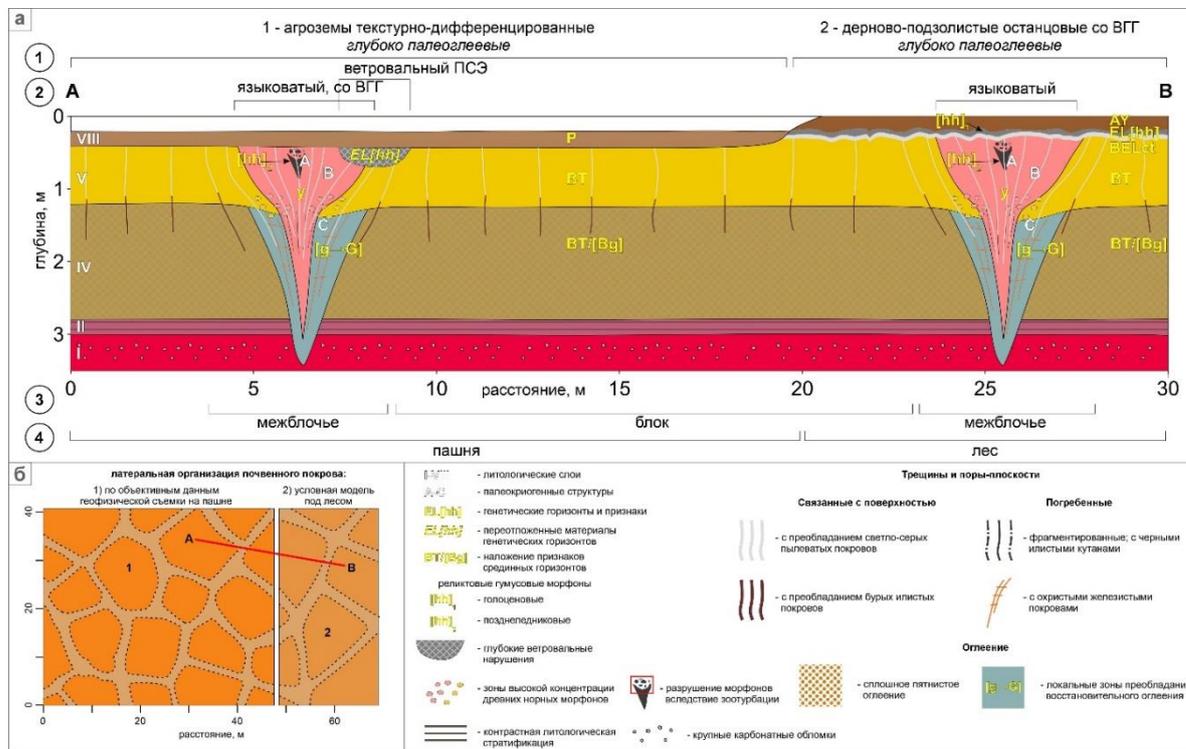


Рис. 4. Модель микрокомбинации почвенного покрова слабовыпуклой плосковершинной поверхности холма верхнего яруса междуречий: а) обобщенный почвенно-геологический профиль; б) латеральная организация почвенного покрова. Условные обозначения: 1 – фоновые почвы; 2 – подтиповое разнообразие и ПСЭ; 3 – элементы нивелированной РКМ; 4 – тип земель.

Ключевой участок «Козловская котловина». Актуальный почвенный покров одного из типичных элементов среднего яруса междуречий (малоамплитудные депрессии, разделенные мелкими холмами) развит в послеледниковой суглинистой толще мощностью ~ 3.5 м, резко граничащей с моренным цоколем моренных отложений. По характеру гранулометрического распределения, текстурным особенностям и комплексу наложенных признаков толща распадается на две части: нижнюю (слои III-IV) и верхнюю (слои V-VI) (рис. 5). В нижних слоях развиты признаки типичного и пятнистого глея, от кровли слоя IV вниз распространены крупные железистые сегрегации, цементирующие массу вокруг тонких пор-трубок (корневые ходы). С кровли слоя VI развита последовательность горизонтов текстурно-дифференцированного профиля АУ-ЕL[hh]-BEL-BТ-BТ2. Переход между двумя текстурными горизонтами связан с контактом слоев VI и V. Текстурно-дифференцированный профиль усечен агрогенной эрозией на бортах широкой неглубоковрезанной ложбины, проходящей через участок, и погребен здесь под мощной (до 0.9 м) агростратифицированной толщей (рис. 6). В протяженных стенках траншей многочисленны спорадические глубокие ветровальные нарушения, заполненные переотложенным материалом

текстурной толщи и горизонта EL[hh]. Поверх одного из таких нарушений зафиксирована мощная новообразованная элювиальная толща без признаков реликтовых гумусовых морфонов. В организации почвенного покрова выявлена полигональная упорядоченность, связанная с тремя ярусами палеокриогенных структурных деформаций, видоизменяющих типичное горизонтное строение (рис. б). Связи этих структур с погребенными и дневными формами микрорельефа не обнаружено.

Для переотложенного материала EL[hh] в нижней части глубокого ветровального нарушения была получена раннеголоценовая дата 8217±76 кал. л.н. (IGAN-10889, 1σ, 68.2%). Возраст мелких черных вкрапленников в текстурной толще под этим заполнением составил 6072±68 кал. л.н (IGAN-10885) и может свидетельствовать о переотложении с поверхности углистого материала во время ветровального события.

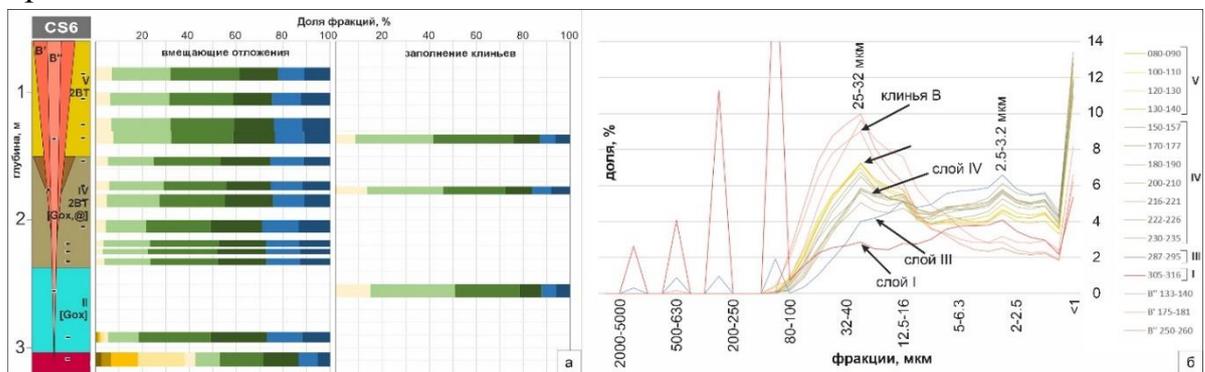


Рис. 5. Особенности гранулометрического состава отложений палеоозерной депрессии, ключевой участок «Козловская котловина»: а) профильное распределение гранулометрических фракций во вмещающих отложениях и заполнении палеокриогенных клиновидных структур; б) кривые распределения гранулометрических фракций в образцах.

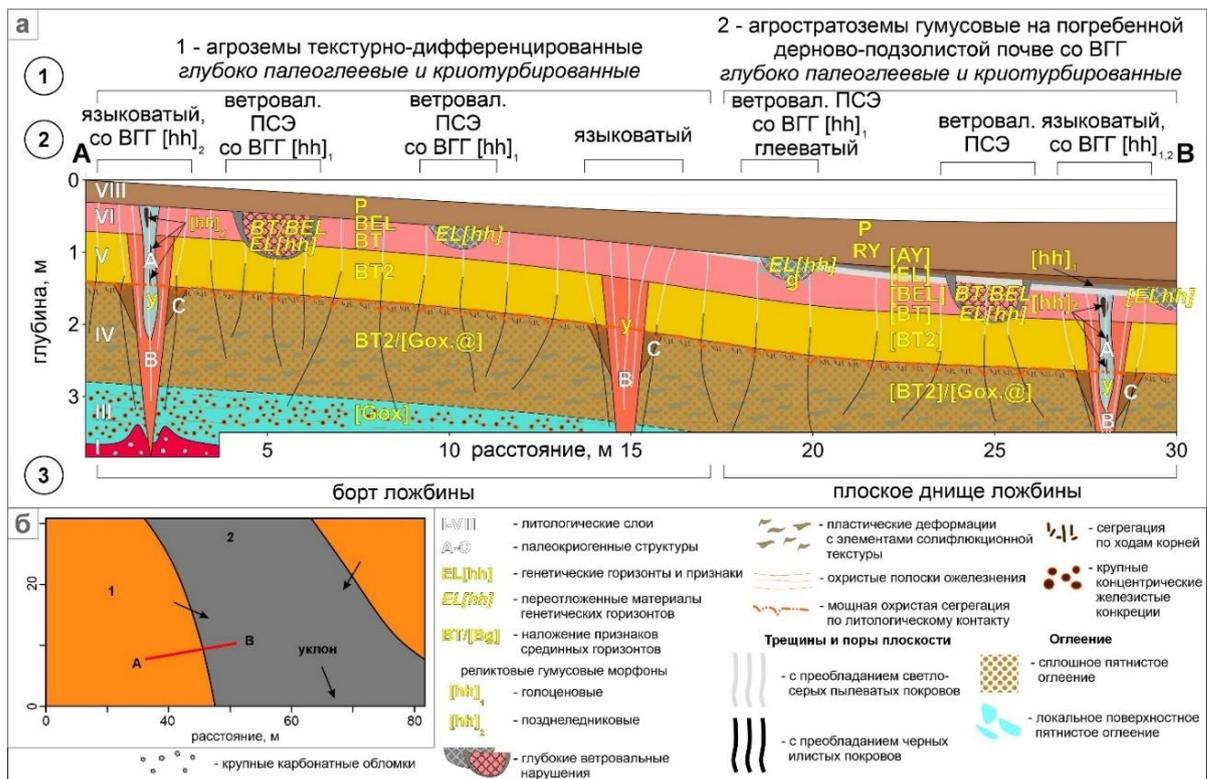


Рис. 6. Модель микрокомбинации почвенного покрова борта палеоозерной котловины: а) обобщенный почвенно-геологический профиль через ложбину; б) латеральная организация почвенного покрова. Условные обозначения: 1 – фоновые почвы; 2 – подтиповое разнообразие и ПСЭ; 3 – элементы ложбинного микрорельефа.

Глава 5. Пространственно-временная организация почвенного покрова Суздальского плато

Ключевой участок «Дубовая роща». Актуальный почвенный покров основной платообразной поверхности верхнего яруса развит в послеледниковой суглинистой толще мощностью >4 м. Связанные с поверхностью признаки педогенного преобразования в основном ограничены 2.5 м глубины, ниже залегает усеченное тело палеопочвы, предположительно, отвечающей одному из этапов ранне- или средневалдайского педогенеза, и не влияющей на неоднородность дневного почвенного покрова (рис. 7). По закономерностям распределения углерода органических соединений и карбонатов, текстурным особенностям и комплексу наложенных признаков почвообразующая толща распадается на два слоя (V и IV) (рис. 8). В слое IV на фоне увеличения морфохроматической выраженности пятнистого оглеения с глубиной прослеживаются два горизонта. Нижний горизонт выделяется криотурбированностью и обилием буроватых пятен, напоминающих мелкие норные морфоны; в его кровле слабо, но устойчиво повышено содержание $S_{орг}$. Верхний слабо оглеенный горизонт пересекается с горизонтом наиболее интенсивной карбонатной сегрегации, признаки которой резко исчезают на границе со слоем V (рис. 8). Во всем объеме слоя IV в шлифах и на сломках педов прослеживается ооидная микроагрегированность.

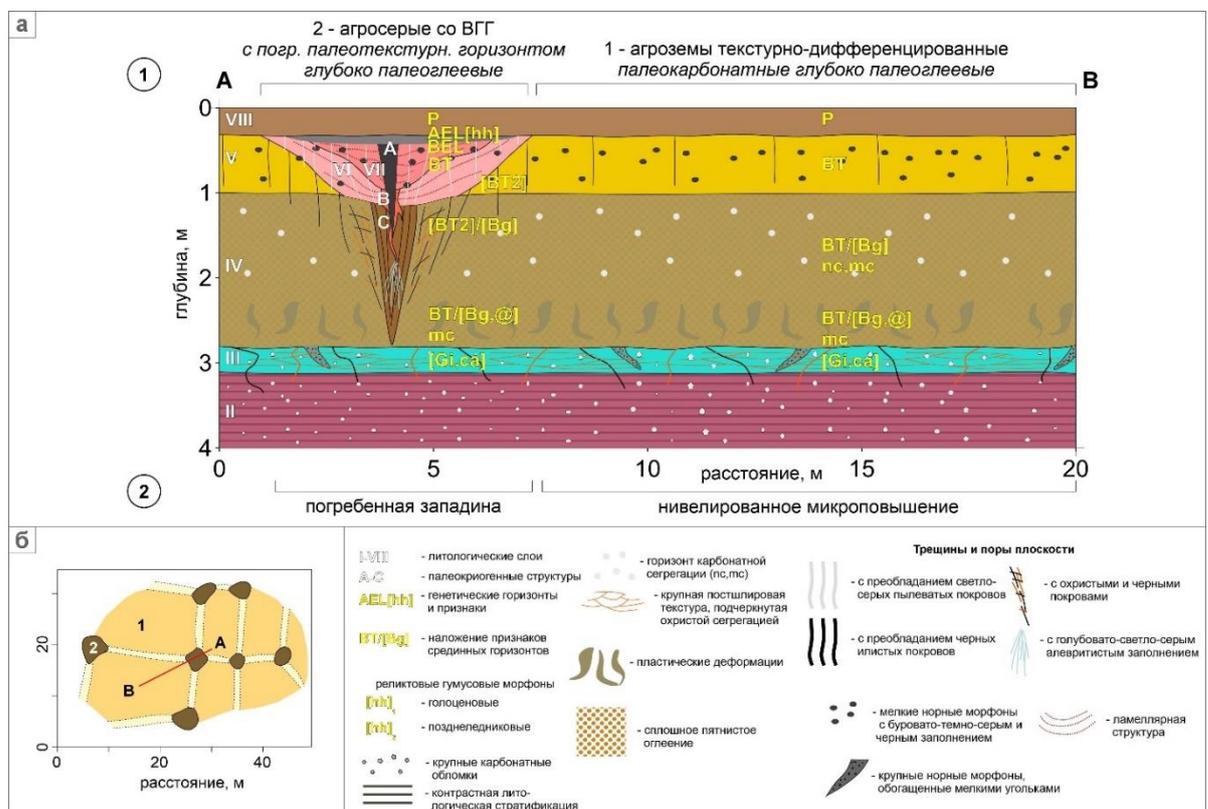


Рис. 7. Модель микрокомбинации почвенного покрова плоской вершинной поверхности Суздальского плато: а) обобщенный почвенно-геологический профиль; б) латеральная организация почвенного покрова. Условные обозначения: 1 – фоновые почвы; 2 – элементы нивелированной РКМ.

В кровле слоя V погребенные замкнутые углубления заполнены линзами слоев VI-VII и не проявляются в дневной микротопографии. Западины приурочены к узловым сочленениям полигональной сети, сформированной тремя ярусами палеокриогенных структурных деформаций (рис. 7). На нивелированных повышениях и понижениях развиты разные последовательности горизонтов текстурно-дифференцированного профиля: P-BT и P-AEL[hh]-BT-[BT2], соответственно. По комплексу признаков, среди которых наиболее выражена сеть вертикальных пор-плоскостей с черными илистыми кутанами, горизонт BT повышений идентичен горизонту [BT2] понижений, в котором эта сеть срезана и погребена под линзами слоев VI-VII. Кровля горизонта карбонатной сегрегации в понижениях значительно ниже, чем на повышениях (2 м против 1 м соответственно); таким образом, верхняя часть слоя IV в этих позициях выщелочена (рис. 7). Как на повышениях, так и в понижениях верхняя часть текстурной толщи проработана мелкими норными морфонами с буровато-темно-серым до черного заполнением. Темноцветный материал заполняет также палеокриогенную глубокую воронкообразную структуру (А), внедряющуюся в линзы слоев VI-VII в понижении. По своему стратиграфическому положению, морфологии и экстремально повышенной МВ, структура может быть соотнесена с датированным позднедриасовым ярусом деформаций на Борисоглебской возвышенности; на Суздальском плато ранее подобная структура также была датирована концом позднеледниковья (Милановский, 2009).

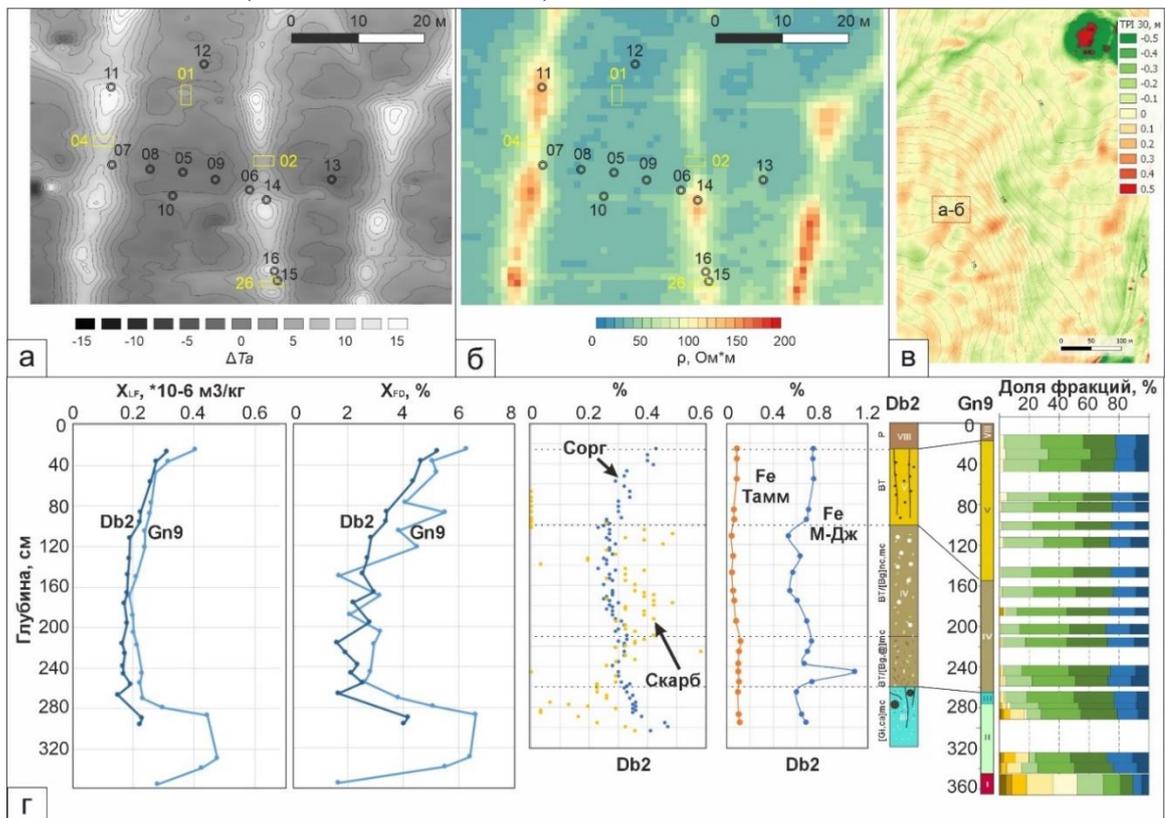


Рис. 8. Материалы дистанционного, геофизического и аналитического исследования по ключевым участкам на Суздальском плато: а-в) ключевой участок «Гнездилово-12»; а) аномальное магнитное поле; б) срез удельного электрического сопротивления на глубине 0.3 м; в) рельеф полого склона и индекс топографического положения (ТПИ); г-д) профильное распределение некоторых физико-химических свойств в колонках вмещающих отложений блочных позиций ключевых участков «Дубовая роща» (Db2) и «Гнездилово-12 (Gn9).

Ключевой участок «Гнездилово-12». На склоне плато зафиксировано принципиально схожее с ключевым участком «Дубовая роща» строение почвенно-осадочной толщи с двумя основными отличиями. Во-первых, погребенная кровля IV прогибается в межблочных позициях палеокриогенной полигональной системы (рис. 9). Во-вторых, нивелированные понижения на склоне имеют вид не изометричных западин, а достаточно широких, параллельно вытянутых по склону деллей (рис 8, 9). По кровле заполнений деллей были отмечены глубокие ветровальные нарушения, заполненные почвенным материалом, среди которого выделяются наиболее темные гумусированные линзы, позволяющие реконструировать ныне отсутствующий горизонт AUel. Дата для одной из таких линз – 7632 ± 27 кал. л. (IGANAMS-10886). Над одним из заполнений отмечена новообразованная элювиальная толща без характерной для района гумусированности.

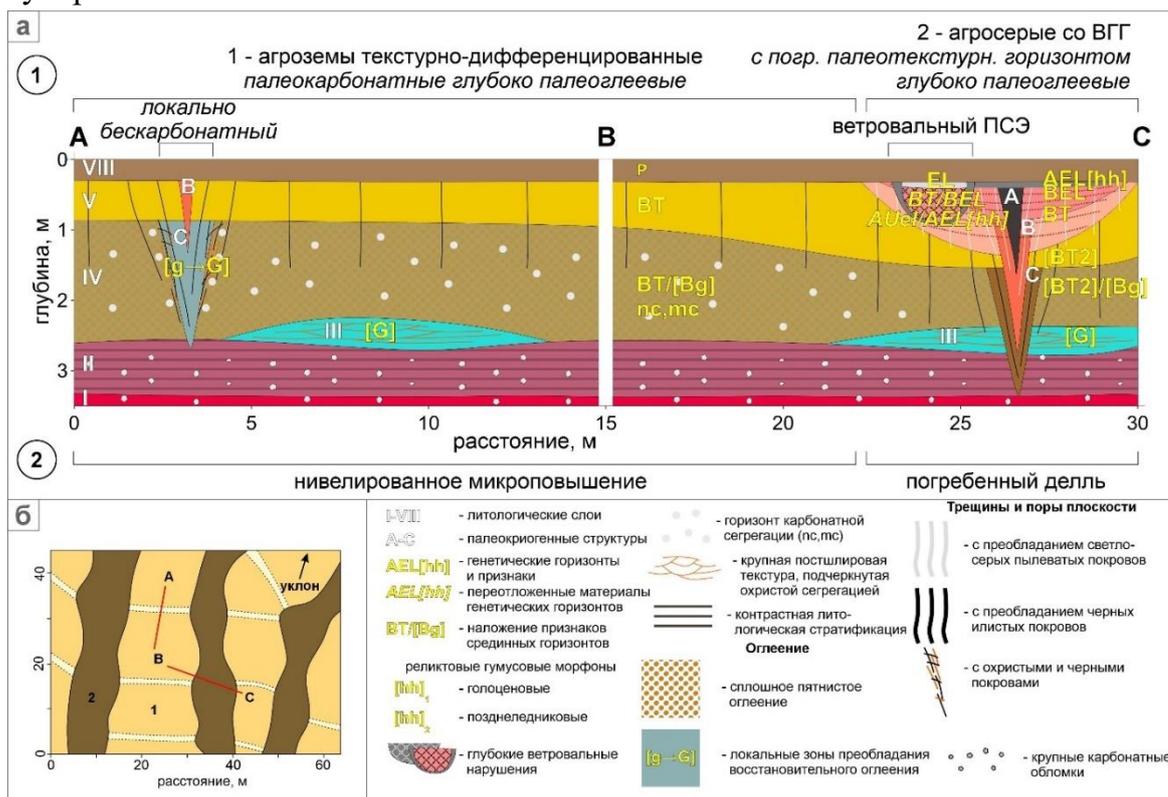


Рис. 9 Модель микрокомбинации почвенного покрова пологого склона Суздальского плато: а) обобщенный почвенно-геологический профиль; б) латеральная организация почвенного покрова. Условные обозначения: 1 – фоновые почвы; 2 – элементы нивелированной РКМ.

Датирование материала черных илистых кутан в погребенной системе пор-плоскостей горизонта [BT2] понижений показало среднеголоценовый возраст ТОС (6599 ± 48 кал. л.н., IGANAMS-10887; 7595 ± 35 кал. л.н., IGANAMS-10888). Это входит в противоречие с общей стратиграфической позицией признака и может быть

объяснено омоложением вследствие поступления углерода органических соединений с поверхности даже в частично изолированные участки порового пространства. Вероятно, способствующим к этому фактором служит интенсивная миграция влаги по преимущественным каналам стока, которые представляют из себя зоны клиновидных деформаций.

Глава 6. История и процессы формирования пространственно-временной неоднородности почвенного покрова возвышенностей северной перигляциальной зоны Восточно-Европейской равнины

Дневные почвы обоих районов развиты в сложно организованной неоднородной толще суглинистых послеледниковых отложений (т.н. покровных суглинков), обладающих, тем не менее, выявленной регулярной и воспроизводящейся в пространстве стратиграфической последовательностью отложений – слоев почвообразующей породы. Анализ мод диаметров частиц и их фракционного распределения в гранулометрическом составе позволил объединить слои II–VIII в три характерные группы. Слой IV в срединной части профиля выделен как переходный от слоев II и III – продуктов флювиальной, мелководно-озерной и склоновой трансформации исходных (водно-) ледниковых отложений (слой I) в водной среде – к слоям V–VIII с существенно более однородным фракционным составом и доминирующей модой 25–32 мкм (рис. 5), что позволяет рассматривать их в качестве лёссоидов. Это обуславливает литологическую неоднородность почвообразующих пород, в частности различие в содержании минерального ила в текстурных горизонтах дневных почв, развитых в слоях V–VII и IV.

В толще послеледниковых отложений выявлены три основных горизонта палеокриогенных деформаций структурного типа. Стратиграфическая схема позднего плейстоцена группы А.А. Величко рассматривает в качестве криогенных маркеров времени LGM владимирский КГ, представленный деформациями пластического типа в теле брянской палеопочвы (табл. 1). В настоящем исследовании выявлено, что этапу LGM, наряду с пластическими деформациями, отвечает горизонт полигональных клиновидных структур С, нарушающий кровлю брянской ископаемой почвы. Этот горизонт впервые создал полигональную неоднородность, унаследованную более поздними наложенными горизонтами структурных деформаций раннего и позднего дриаса, приуроченными к лёссоидной части толщи. Финальному позднедриасовому криогенному этапу сопоставлены структуры А с темногумусовым заполнением материалом позднеледниковой интерстадиальной почвы, которые ранее не рассматривались в качестве самостоятельного палеокриогенного горизонта.

Взаимоотношение (временная последовательность) и локализация в почвенном теле наблюдаемых педогенных признаков позволили объединить их в 4 группы по стадийности появления (рис. 10). Строгое соответствие повсеместно развитых признаков пятнистого оглеения и ооидной микроагрегированности, а также карбонатной сегрегации (для Суздальского плато) кровле слоя IV позволяет отнести их формирование к наиболее раннему этапу педогенеза, предшествующему

развитию палеокриогенных клиновидных структур С. Соотнесение нижнего погребенного криогенного горизонта со временем LGM позволяет сопоставить предшествовавший ранний этап педогенеза со средневалдайским мегаинтерстадиалом (MIS 3) и связать первую группу реликтовых признаков со стратиграфическим уровнем брянской ископаемой почвы. Вторую группу реликтовых признаков составляют глубоко проникающие трещины с комплексом темноцветных глинистых кутан, строго ограниченные кровлей лёссовидного слоя V. Факт нарушения трещин и кутан клиновидными структурами В второго погребенного криогенного горизонта, развитого также с поверхности слоя V, позволяет ограничить педогенный интервалом от конца времени LGM до раннего дриаса и соотнести его с финалом позднего плейстоцена – ранним позднеледниковьем. Третья группа признаков объединяет темноцветные заполнения структурных деформаций А верхнего криогенного горизонта. Время образования темногомусового материала, вовлеченного и законсервированного в нижних частях структур А, оценивается по возрасту общего углерода органических соединений 13245 ± 47 кал. л. н. (IGAN-7903) аллерёдом. Четвертая группа объединяет наиболее богатый набор признаков голоценового педогенеза.

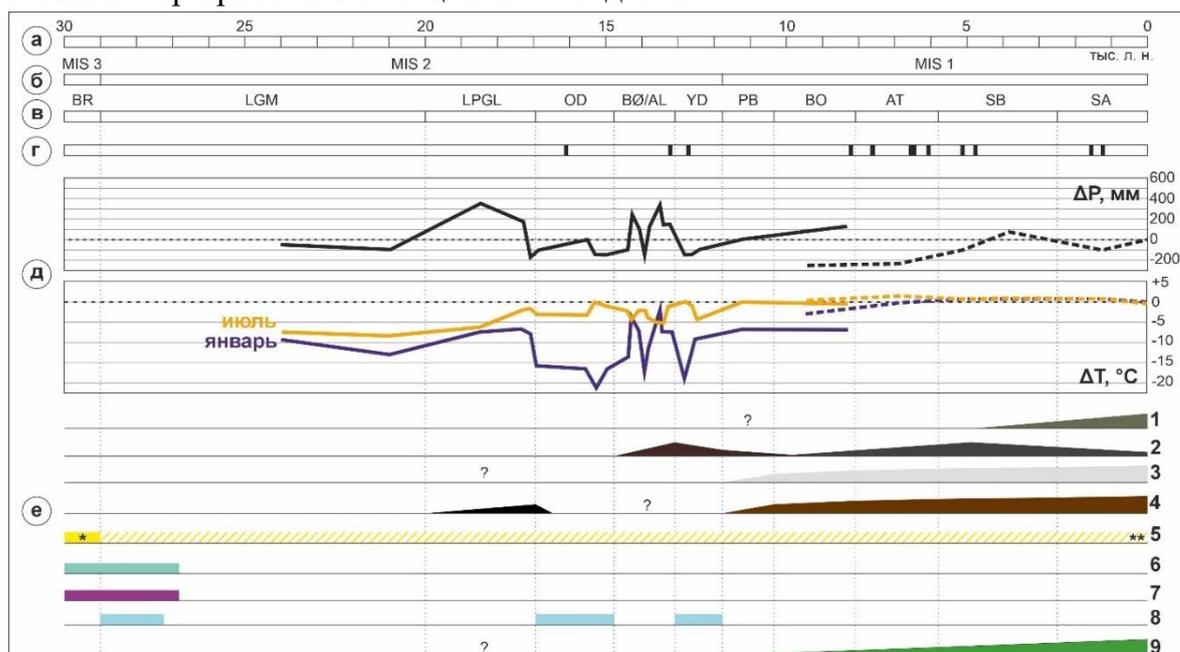


Рис. 10. Эволюционная модель педогенеза – развитие признаков во времени: а) шкала времени; б) морские изотопные стадии; в) климатические периоды; г) калиброванные радиоуглеродные даты по общему органическому углероду почвы; д) реконструкция климатических параметров (отклонения от современных) по (Сидорчук и др., 2018) (пунктир), по (Борисова, 2021) (сплошная линия); е) признаки почвообразовательных процессов и процессов микродифференциации почвенного покрова (1 – серогумусовые горизонты; 2 – темногомусовые горизонты; 3 – элювиальная толща; 4 – иллювиальные новообразования; 5 – карбонатные новообразования (* – карбонатная пропитка; ** – карбонатная пропитка, инкрустации и нодулярные конкреции); 6 – надмерзлотный окислительный и восстановительный глей; 7 – признаки пластических криодеформаций; 8 – горизонты полигональных структурных криогенных деформаций; 9 – ветровальные нарушения

Отсутствие существенной эоловой аккумуляции на междуречьях в позднеледниковье обусловило длительную моделировку поверхности криогенными,

склоновыми и флювиальными процессами в сильно изменяющихся ландшафтных условиях. Результатом трансформации полигонального микрорельефа, сформированного криоструктурами раннего дриаса, являются наиболее широко распространенные полигонально-упорядоченные типы РКМ. Морфометрический анализ микрорельефа ключевых участков свидетельствует об отсутствии выраженности РКМ в современной топографии. Нивелирование РКМ является закономерным результатом саморазвития микрорельефа, заключавшегося в направленном сносе материала с повышений и его аккумуляции в понижениях в течение позднеледникового интерстадиала и голоцена. Направленность процесса нивелирования РКМ обусловила устойчивый прогрессивный тренд педогенеза в понижениях и регрессивный – на повышениях микрорельефа, что выразилось в неравномерности записи признаков в твердой фазе. Общая мощность толщи, перемещенной в пределах РКМ в голоцене, оценивается в 0.30–0.35 м. Наложение этих трендов на такой фактор, как микронеоднородность по гидрологическому режиму, вызвало усиление дифференциации между элементами почвенного покрова.

Выявленная «лёссоидность» верхней половины толщи послеледниковых отложений концептуально не противоречит идее И.А. Соколова, развитой А.О. Макеевым, о финальном этапе эоловой седиментации в позднем пленигляциале/позднеледниковье. В то же время представленные в настоящей работе результаты значительно расходятся с гипотезой Соколова-Макеева в представлении физического образа слоя эолового седимента, времени его формирования и характера пространственного простирания (Соколов и др., 1983; Макеев, 2012). Направленный рост доли крупнопылевой (доминантная мода 25–32 мкм) и тонкопесчаной фракций и тренд стабилизации фракционного состава зафиксирован в слое IV. Таким образом, существенная эоловая седиментация началась не позже конца средневалдайского мегаинтерстадиала. Основному этапу эоловой седиментации отвечает покровный слой V, время завершения накопления которого не позднее рубежа позднего пленигляциала и позднеледниковья позволяет ограничить горизонт палеокриогенных клиновидных структур раннего дриаса B. Перекрывающие линзы VI и VII ограничены локальными микропонижениями, не имеют покровного простирания и являются дериватами слоя V, наследуя крупнопылеватый гранулометрический состав. Таким образом, твердофазный результат эолового этапа осадконакопления на междуречьях районов исследования составляет основную материнскую породу для дневных серых и дерново-подзолистых почв и представлен бескарбонатным пылевым суглинком однородного гранулометрического состава. Предлагаемая гипотеза не вступает в конфликт с теорией элювиального происхождения светлых горизонтов с относительно более легким гранулометрическим составом в кровлях слоев V, VI и VII, а также имеет большую вариативность в прослеживании фациальной неоднородности эоловых седиментов.

Происхождение реликтовых темногумусовых морфонов и горизонтов, занимающее центральное место в дискуссии об эволюции почв региона, связано с двумя основными временными интервалами: аллерёдом и второй половиной раннего – концом среднего голоцена. Выявлено, что одним из отличительных свойств темногумусового материала позднеледниковья являются значительно повышенные относительно срединных текстурных горизонтов значения магнитной восприимчивости. В дневных почвах Суздальского плато этот показатель выше, чем в почвах междуречий Борисоглебской возвышенности. Больше здесь и мощность темногумусовой толщи, которая в погребенных микропонижениях локально достигает 1.75 м за счет заполнений палеокриогенных структур раннего дриаса. В дневных почвах Борисоглебской возвышенности позднеледниковые гумусовые морфоны с пиковыми значениями магнитной восприимчивости сохранились в основном лишь в усеченных заполнениях криоструктур. Все это может указывать на более значительную денудацию почв позднеледниковья в пределах Борисоглебской возвышенности. Сочетание в дневных почвах темногумусового материала позднеледниковья и голоцена, по всей видимости, является гораздо более широко распространенным явлением, чем считалось до этого. Степень участия разновозрастного темногумусового материала в гумусовых и гумусово-элювиальных горизонтах в каждом конкретном случае определяется локальной историей денудации, аккумуляции, криогенеза и находится в тесной связи с позицией в мезо- и микрорельефе. На частичное наследование голоценовым почвообразованием позднеледниковых темногумусовых горизонтов указывают и другие исследования (Александровский, 2008; Kabala et al., 2019).

Дифференциация почвенного покрова в голоцене была тесно связана с биотическими факторами, наиболее заметными из которых послужили ветровалы. Наиболее древние из изученных глубоких ветровальных нарушений включают органоминеральные заполнения со средним возрастом пребывания общего органического углерода до ~8 тыс. л.н. Данные работы хорошо соотносятся с результатами других исследований в зоне южной тайги и широколиственных лесов, прослеживающими непрерывное воздействие ветровалов на почвы на протяжении всего голоцена (Васенев и Таргульян, 1995; Бобровский, 2010; Бобровский и Лойко, 2019). Признаки существенного элювиирования в материале отсыпок наиболее древних ветровальных западин свидетельствуют о том, что значительная по мощности элювиальная толща сформировалась еще в раннем голоцене и формирование голоценового темногумусового горизонта происходило уже в легкой части ТДП. Несмотря на, несомненно, большую роль ветровальных нарушений, можно уверенно судить о том, что сплошной турбации почвенного покрова на глубину 40–90 см за сотни – первые тысячи лет, как это предполагается в работе (Бобровский, 2010), не происходит. На это указывает сохранение как реликтового голоценового ВГГ, так и еще более древних палеокриогенных признаков позднеледниковья. Большинство глубоких нарушений ниже 20–30 см представляют «записи» индивидуальных ветровальных событий.

Глава 7. Потенциал дистанционных и геофизических методов изучения микрокомбинаций почвенного покрова и реликтовой криогенной морфоскульптуры

Применение методов площадной магниторазведки и электротомографии в комплексном подходе позволило получить максимум информации о пространственной организации почвенно-осадочной толщи. Полученные пространственные рисунки геофизических аномалий показывают существенно более четкую и упорядоченную организацию полигональных типов РКМ по сравнению с материалами спутниковой и аэрофотосъемки, на которой изначально была построена ее типизация (Величко и др., 1996). Комплексное применение геофизических методов позволяет точнее определить, какие именно геологические тела и элементы палеомикрорельефа сформировали РКМ на том или ином участке. Результаты геофизических съемок эффективно визуализировали неоднородность почвенно-осадочной толщи, что было впервые использовано для точного позиционирования разрезов в различных элементах РКМ при отсутствии ее выраженности в актуальной микротопографии.

Материалы полевой и лабораторной капаметрии подтвердили приуроченность положительных аномалий магнитного поля к зонам межблочий. Аномалии слабой интенсивности в основном связаны с заполнением системы полигональных структур В. Как правило, они заполнены материалом с достаточно однородной МВ при низких показателях частотно-зависимой МВ, что свидетельствует о литогенном характере аномалий. Существенно более высокую МВ обнаруживает темногумусовый материал, связанный с горизонтами, морфонами и заполнениями палеокриогенных структур позднеледникового возраста. Высокие значения частотно-зависимой МВ свидетельствуют о присутствии аутигенных тонкодисперсных ферримагнетиков, которые могли образоваться в ходе педогенеза и (или) высокотемпературного воздействия в ходе пожаров.

Сравнительный анализ морфологических особенностей почв нивелированных микроповышений и микропонижений, а также опубликованных в литературе данных об их физических свойствах (Архангельская и др., 2007; Умарова, 2008; Гончаров, 2010 и др.), позволяет заключить, что ведущим фактором возникновения зон повышенного удельного электрического сопротивления в микропонижениях служит повышенная порозность и плотность трещинной сети.

Выводы

1. Наиболее ранние педогенные признаки – пятнистое оглеение, ооидная микроагрегированность и карбонатные новообразования, включенные в дневные педолитокомплексы исследованных возвышенностей, были сформированы в течение средневалдайского мегаинтерстадиала и погребены поздневалдайскими отложениями.

2. Наиболее ранние признаки лессиважа представлены комплексом темных илистых кутан, покрывающих поверхности трещин до глубин 2.5 м и глинистыми папулами в составе криоструктур позднего дриаса. Срезание трещин

перигляциальными деллями и погребение осадком со следами финального этапа криогенеза (поздний дриас) позволяет ограничить их формирование рубежом позднего пленигляциала и позднеледниковья. Среднеголоценовый возраст общего органического углерода темных илистых кутан может быть связан с их функционированием в качестве преимущественных потоков вертикальной миграции вещества в голоцене. Общий органический углерод глинистых папул, изолированных на больших глубинах от вертикальных потоков вещества, подвергся значительно меньшему омоложению и имеет средний возраст пребывания 16107 ± 79 (1 σ , 68.2%) кал. л.н.

3. Низкие темпы аккумуляции на междуречьях не располагали к глубокому погребению, изолирующему горизонты палеокриогенных структурных деформаций и палеопочв осадками, способствовали последовательному наложению педогенных и криогенных признаков. Это позволяет рассматривать дневные почвы региона в качестве послеледниковых педолитокомплексов.

4. Выявлены три горизонта палеокриогенных структурных деформаций, где более молодые последовательно наследуют более древние. Геометрия РКМ и связанная с ней дифференциация почвенно-осадочной толщи регулярно воспроизводилась, начиная с владимирской эпохи криогенеза на рубеже средне- и позднеледниковой эпохи.

5. Циклическое развитие реликтовой криогенной морфоскульптуры и перераспределение твердого материала с микроповышений в микропонижения способствовало формированию в зонах палеокриогенных структурных деформаций более отчетливого взаимоналожения педо- и криогенных признаков. Это позволяет рассматривать межблочья как зоны с повышенной информационной емкостью при построении эволюционно-генетических моделей педогенеза.

6. Генетически сопряженные почвы блоков обладают более упорядоченной профилно-горизонтной организацией, отражающей наиболее устойчивые признаки почвообразовательных процессов, действовавших во второй половине позднего плейстоцена и в голоцене: пятнистый глей, железисто-марганцевые сегрегации, карбонатные новообразования, структурная организация, илистые и пылеватые кутаны.

7. Формирование регулярно-циклических микрокомбинаций почвенного покрова обусловлено микрофациальностью почвообразующих пород и ныне нивелированным микрорельефом. Повсеместные ветровальные нарушения обусловили развитие спорадическо-пятнистого рисунка почвенного покрова в ходе его голоценовой эволюции.

8. Эффективность дистанционных методов изучения пространственной неоднородности почвенного покрова для исследованных ключевых участков можно расположить в следующем порядке (от наименее к наиболее эффективным): анализ цифровых моделей местности → анализ материалов разновременной субметровой космосъемки → анализ материалов площадных геофизических съемок. Последние

позволяют получить наиболее детальную картину неоднородности почвенного покрова

Основные публикации по теме диссертации

Статьи в журналах Scopus, WoS, RSCI, а также в изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете ИГРАН 24.1.049.02 по специальностям 1.6.14 и 1.6.12:

1. Garankina E.V., **Lobkov V.A.**, Shorkunov I.G., Belyaev V.R. Identifying relict periglacial features in watershed landscape and deposits of Borisoglebsk Upland, Central European Russia // *Journal of the Geological Society*. 2022. V. 179. P. jgs2021-135. <https://doi.org/10.1144/jgs2021-135>.
2. **Лобков В.А.**, Шоркунов И.Г., Гаранкина Е.В., Шевченко В.А. Пространственное распределение магнитных параметров в дневных и погребенных почвах Суздальского ополя // *Почвоведение*. 2025. № 1. С. 102–119.
3. Шматова А.Г., **Лобков В.А.** Разнообразие почв острова Колгуев с криометаморфическими горизонтами // *Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева*. 2024. S1. С. 5–36.
4. Garankina E.V, Shorkunov I.G., Yurchenko A.P., Posazhennikova V.S., **Lobkov V.A.**, Transformation of local kettle holes based on geological and geophysical evidence, Borisoglebsk Upland, Central European Russia // *Limnology and Freshwater Biology*. 2024. № 4. P. 310–317. <https://doi.org/10.31951/2658-3518-2024-A-4-310>.

Главы в монографиях:

5. Garankina E., Posazhennikova V., **Lobkov V.**, Shorkunov I. Glacial inheritance vs postglacial metamorphoses of Borisoglebsk Upland interfluves. Postglacial lacustrine sedimentation // *Valdai Periglacial Field Symposium Guidebook, 27–30 August 2023 [Electronic edition]*. М., 2023. P. 47-63.
6. Garankina E., **Lobkov V.**, Shorkunov I., Sheremetskaya E. Fine-scale heterogeneity of Suzdal plateau: deposits, paleosols, and relict periglacial features // *Valdai Periglacial Field Symposium Guidebook, 27–30 August 2023 [Electronic edition]*. М., 2023. P. 121-149.

Материалы конференций:

7. **Лобков В.А.**, Гаранкина Е.В. Идентификация и сопоставление позднеплейстоцен – голоценовых реликтов в разрезах и рельефе Борисоглебской возвышенности // VIII Щукинские чтения: рельеф и природопользование. Материалы Всероссийской конференции с международным участием, Москва, 28 сентября – 1 октября 2020 г. М.: Издательский дом МГУ, 2020. С. 501–508.
8. Гаранкина Е.В., **Лобков В.А.**, Шоркунов И.Г., Беляев В.Р. Реликтовая криогенная морфоскульптура в разрезах и рельефа Борисоглебской возвышенности // Пути эволюционной географии – 2021. Выпуск 2. Материалы II Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора А.А. Величко (Москва, 22-25 ноября 2021 г.). Т. 2. М.: ИГ РАН, 2021. С. 85–90.

9. **Лобков В.А.**, Шоркунов И.Г., Гаранкина Е.В. и др. Ревизия роли реликтовой криогенной морфоскульптуры в ландшафтной структуре Суздальского ополя с применением методов геофизики и палеопочвоведения // Пути эволюционной географии – 2021. Выпуск 2. Материалы II Всероссийской научной конференции, посвященной памяти профессора А.А. Величко (Москва, 22-25 ноября 2021 г.). Т. 2. М.: ИГ РАН, 2021. 197–201.
10. Гаранкина Е.В., **Лобков В.А.**, Шеремяцкая Е.Д., Шоркунов И.Г. Покровные суглинки как перигляциальный феномен: происхождение и возраст. // Перигляциал Восточно-Европейской равнины и Западной Сибири. Материалы Всероссийской научной конференции. Ростов Великий, 25–26 августа 2023 г. [Электронное издание] М., 2023. С. 29–35.
11. **Лобков В.А.**, Шоркунов И.Г., Гаранкина Е.В., Шеремяцкая Е.Д. Пространственная организация почвенного покрова на модельном участке Владимирского ополя // Перигляциал Восточно-Европейской равнины и Западной Сибири. Материалы Всероссийской научной конференции. Ростов Великий, 25–26 августа 2023 г. [Электронное издание] М., 2023. С. 55–64.
12. **Лобков В.А.**, Шоркунов И.Г., Гаранкина Е.В., Шеремяцкая Е.Д., Шевченко В.А. Магнитный ключ к пространственной организации почв и отложений // Материалы I Белорусского географического конгресса: к 90-летию факультета географии и геоинформатики Белорусского государственного университета и 70-летию Белорусского географического общества, Минск, 8–13 апр. 2024 г. В 7 ч. Ч. 6. Актуальные проблемы физ. Т. 6. Минск: БГУ, 2024. С. 113–117.