

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Лозбенев Николай Игоревич

**Провинциальные различия структурно-функциональной организации
почвенного покрова лесостепи Восточно-Европейской равнины**

Специальность 1.6.12 – физическая география и биогеография,
география почв и геохимия ландшафтов

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва – 2024

Диссертация подготовлена на кафедре физической географии и ландшафтоведения географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова и в отделе агроэкологической оценки почв и проектирования агроландшафтов ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева».

Научные руководители:

Дьяконов Кирилл Николаевич
доктор географических наук, профессор,
член-корреспондент РАН

Козлов Даниил Николаевич
Кандидат географических наук

Официальные оппоненты:

Викторов Алексей Сергеевич – доктор географических наук, Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, лаборатория дистанционного мониторинга геологической среды, главный научный сотрудник

Чендев Юрий Георгиевич – доктор географических наук, доцент, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, кафедра природопользования и земельного кадастра, профессор

Горбунов Анатолий Станиславович – кандидат географических наук, доцент, Воронежский Государственный Университет, кафедра физической географии и оптимизации ландшафта, доцент

Защита диссертации состоится «14» ноября 2024 г. в 17 часов 00 минут на заседании диссертационного совета МГУ.016.9 Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, Россия, г. Москва, Ленинские горы, д.1, Главное здание МГУ, географический факультет, 18-й этаж, ауд. 1807.

E-mail: dissovetmsu016.9@yandex.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на сайте АИС «Диссовет»: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/3147>

Автореферат разослан «__» октября 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат географических наук



М.А. Смирнова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность и изученность темы. По мере развития науки не ослабевает потребность в региональной оптимизации взаимоотношений природы и общества. Расширение полноты, точности и оперативности описания морфологической структуры ландшафта востребовано в задачах региональной оптимизации межхозяйственного и внутрихозяйственного землеустройства (Николаев, 1970; Зворыкин, 1985; Кирюшин, 2005; Волков, 2020), ландшафтного планирования (Хорошев, 2012), градостроительного проектирования (Кочуров и др., 2018) и охраны окружающей среды (Чижова и др., 2016). Развитие науки сопровождается переходом от понимания особенностей природных и природно-антропогенных систем на качественном уровне к количественному описанию структурно-функциональной организации ландшафтов в условиях естественных и социально-экономических изменений (Арманд, 1975). Расширение состава моделей и включение функциональных показателей является шагом к сценарному моделированию в географических науках, позволяющему в будущем принимать оперативные управленческие решения для адаптации землепользования к глобальным и региональным вызовам (Иванов и др., 2021).

Это стало возможно благодаря развитию цифровых технологий сбора пространственно-временных данных (Берлянт, и др. 2004; Пространственные..., 2020), методов их согласованного численного анализа (Landscape patterns..., 2019), что ознаменовало переход от качественных моделей морфологической структуры ландшафтов (Солнцев, 1949; Мильков, 1961; Гвоздецкий, 1986; Исаченко 1988) к количественным моделям их структурно-функциональной организации (Пузаченко, 2004б; Черкашин и др., 2005; Линник, 2008; Макунина, 2010; Хорошев, 2019; Сысуев, 2019; Викторов и др., 2024; Wu, 2008; Shary, 1995; Minasny et.al., 2016; Hengl, MacMillan, 2019). Убедительные перспективы численного описания межкомпонентных связей (Пузаченко, 2011, Хорошев, 2016; Ervin, 2001) и цифрового картографирования (Пузаченко и др, 2004а; Козлов и др., 2008; Кренке, 2011; Савин и др. 2019; Almakı et.al., 2022; Chen et.al. 2022) на уровне отдельных регионов открывают возможности объективного межрегионального сравнения организации почвенного покрова с единых методических позиций.

Под структурно-функциональной организацией почвенного покрова мы понимаем внутреннюю упорядоченность и взаимосвязанное функционирование его компонентов, обусловленное как внутренними особенностями, так и процессами их функционирования. Такой подход стал возможен благодаря развитию имитационных моделей природных процессов, которые расширили факторно-индикационную основу цифрового картографирования за счет включения количественных показателей процессов

ландшафтной дифференциации (Mitas, Mitasova, 1998; Van Oost et.al., 2000). В связи с этим приобретают актуальность исследования, связывающие факторы и процессы ландшафтной дифференциации с фактически наблюдаемым разнообразием почв. Составленные на единой методической основе, они позволят описать причины различий структуры почвенного покрова физико-географических провинций.

Цель работы - установить закономерности региональных различий компонентного состава и функционирования почвенного покрова лесостепи Восточно-Европейской равнины на основе моделирования межкомпонентных связей с применением цифровых технологий крупномасштабного почвенно-ландшафтного картографирования.

Для достижения поставленной цели решались следующие **задачи**:

1. Обосновать порядок и схему описания и сравнения провинциальных особенностей структурно-функциональной организации почвенного покрова;
2. Разработать численные модели структурно-функциональной организации структуры почвенного покрова Среднерусской, Окско-Донской и Бугульминско-Белебеевской лесостепных провинций и оценить различия в составе, площадях и функциональных показателях их морфологических единиц;
3. Выявить причины различий структурно-функциональной организации почвенного покрова лесостепи Среднерусской, Окско-Донской и Бугульминско-Белебеевской провинций.

Методология исследования. В работе используется понятийная база, общие подходы и конкретные методики, разработанные в учении о природных и природно-антропогенных ландшафтах в рамках структурно-генетического (Солнцев, 1949; Николаев и др., 2008) и ландшафтно-типологического (Мильков, 1966; Михно и др., 2020) подходов, крупномасштабной почвенной картографии в методологии структур почвенного покрова (Фридланд, 1972; Сорокина, 2006), представлений о структурно-функциональной организации ландшафтов (Герасимов, 1975; Солнцев, 1997; Козловский, 2003; Макунина, 2010; Сысуев, 2019), цифрового картографирования и моделирования (Пузаченко, 2004б; Цифровая почвенная картография..., 2012; McBratney et. al., 2003) на базе геоинформационных технологий пространственного анализа (Линник, 2008), эмпирического и имитационного моделирования природных процессов (Mitas, Mitasova, 1998; Van Oost et.al., 2000).

Материалы и методы исследования. В работе использованы материалы государственного фонда данных, полученных в результате проведения землеустройства (ГФДЗ); архивные и собственные ландшафтные описания автора; методические руководства по проведению статистического и геоинформационного анализа. Применялись

сравнительно-географический, картографический, геоинформационный, статистический методы. Выполнены полевые ландшафтные исследования и применена группа методов цифрового почвенного картографирования, эмпирического и имитационного физико-математического моделирования на основе программных комплексов GrassGIS, GlobalMapper, QGIS, SAGA GIS, STATISTICA, Surfer, R, Watem/Sedem.

Научная новизна исследования состоит в определении причин различий структурно-функциональной организации почвенного покрова трёх физико-географических провинций лесостепи Восточно-Европейской равнины на основе моделирования межкомпонентных отношений с применением цифровых технологий крупномасштабного ландшафтного картографирования для их последующего применения в задачах ландшафтного планирования разного уровня.

Теоретическая и практическая значимость. В теоретическом отношении работа развивает методы формализации структурно-функциональной организации ландшафтов. В прикладном отношении результаты исследования предназначены для оптимизации территориального планирования сельскохозяйственного землепользования на основе ландшафтно-экологического подхода.

Степень достоверности, апробация результатов и публикации. Результаты исследования доложены на 11 научных и научно-практических конференциях, в том числе на международных (IYFSWC/ICCE Conference, Москва, 2018; Pedometrics 2019, Гвелф, Канада; IALE-Russia, 2020, Москва). Результаты работы опубликованы в 7 статьях в журналах, индексируемых в базах данных Scopus, Web of Science, RSCI. Региональная специфика структурно-функциональной организации ландшафтов рассмотрена в работах по Среднерусской (Lozbenev et.al., 2019, 2021) и Бугульминско-Белеевской (Lozbenev et.al., 2022) возвышенностям. Вклад автора в данных работах основополагающий и составляет 60%. В работах по структурно-функциональной организации ландшафтов Окско-Донской низменности (Yurova et.al., 2021) и эрозионных структур почвенного покрова Среднерусской возвышенности (Козлов и др., 2019) вклад автора составляет 25%. В статье о региональных особенностях структур почвенного покрова черноземной зоны Европейской России (Khitrov et.al., 2019) вклад автора – также 25%. Применение результатов изучения структурно-функциональной организации ландшафтов в задачах агроэкологической и экономической оценки земель на примере Окско-Донской низменности раскрывается в работе (Нестеренко, Лозбенев, 2024) со вкладом автора 45%.

Личный вклад автора. Автор принимал участие и руководил сбором материала на всех ключевых участках в составе полевых бригад в период с 2014 по 2021 гг., обрабатывал результаты обследований, готовил цифровые основы для регионального моделирования,

составлял модели межкомпонентных отношений и их картографическое выражение, проводил межрегиональные сравнения. Автором в составе коллективов подготовлены статьи в рецензируемых журналах, отражающие основные аспекты защищаемой работы.

Положения, выносимые на защиту.

1. Особенности структурно-функциональной организации почвенного покрова отражены в переменных и коэффициентах численных моделей, связывающих региональное разнообразие строений почвенного профиля с характеристиками факторов и процессов их ландшафтной дифференциации, и выражаются в составе и площади типизированных почвенных комбинаций морфологических единиц локального уровня;

2. Провинциальные различия возвышенных и низменных ландшафтов лесостепи проявляются в структуре почвенного покрова и пространственном соотношении доминантных, субдоминантных и редких типов местностей – плакорного с комплексом черноземов типичных и выщелоченных, склонового со смытыми вариантами чернозёмов и междуречного недренируемого с сочетаниями лугово-черноземных, черноземно-луговых и влажнолуговых почв и обусловлены функциональными показателями (величиной слоя перераспределенных осадков, темпами эрозии, количеством приходящей солнечной радиации) и геоморфометрическими величинами (крутизной, формой поверхности рельефа, превышением над водотоком);

3. Особенности местностей возвышенных и низменных провинций лесостепи обусловлены более, чем двукратными различиями в интенсивности поверхностного стока и полуторакратными в эрозии, что проявляется в доминировании (суммарно, до 70% площади) плакорного и склонового типов местностей с пятнистостями и сочетаниями черноземных почв и их смытых вариантов на возвышенностях и преобладании (около 65% площади) междуречного недренируемого типа местности в низменности с комплексом лугово-черноземных, черноземно-луговых и влажно-луговых почв.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Работа изложена на 148 страницах, включает 21 таблицу и 74 рисунка и карты. Библиографический список содержит 205 литературных источников, из них 42 на английском языке.

Благодарности. Автор выражает благодарность своим научным руководителям К.Н. Дьяконову и Д.Н. Козлову, сотрудникам кафедры Физической географии и ландшафтоведения, родителям за поддержку в подготовке диссертационной работы. Директору Центрально-Черноземного заповедника А.А. Власову, заместителю директора по научной работе О.В. Рыжкову за содействие в организации полевых работ. Сотрудникам отдела Агрэкологической оценки почв и проектирования агроландшафтов и лаборатории

эрозии почв Почвенного института им. В.В. Докучаева за помощь в сборе полевых материалов и модельных расчетах.

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 19-29-05277_мк; 18-35-20011_ мол_а_вед, проекта ФЦП «Глобальный климат и агроландшафты России: разработка системы оценки и управления рисками деградации Русских черноземов» (Соглашение №075-15-2019-1689), Крупных Научных Проектов «Актуальные научные задачи стратегии адаптации потенциала землепользования России в современных условиях беспрецедентных вызовов (экономический кризис, изменения климата, кризис глобальных тенденций природопользования)» (Соглашение №075-15-2020-805) и «Разработка и научное обоснование системы – цифровой двойник почв в структуре агроландшафта, как элемент Индустрии 5.0 для экономики России» (Соглашение № 075-15-2024-545).

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА И ПОДХОДЫ К ЕЁ ИЗУЧЕНИЮ

Представление о структурно-функциональной организации почвенного покрова базируется на понятии элементарной почвенной структуры (в ландшафтоведении – геосистемы) – природного тела, имеющего вертикальную и горизонтальную структуру, объединенного интегрирующими радиальными и горизонтальными потоками вещества и процессами переноса энергии (Ретеюм, 1971, 1972; Сочава, 1978; Солнцев, 1981, Фридланд, 1972). Под вертикальной структурой понимается закономерное чередование компонентов ландшафта: воздушных масс, биоты, почвы, вод и горных пород. Горизонтальная структура – закономерная построенная система более мелких территориальных комплексов (Солнцев, 1949), то есть морфологическая структура ландшафта или структура почвенного покрова. Потоки вещества и энергии обеспечивают связь компонентов почвенного покрова и морфологических единиц ландшафта в единое целое (Сочава, 1973). При этом рельеф выступает фактором-ретранслятором свойств ландшафта и происходящих в нем процессов и, одновременно, индицирующим показателем этих процессов (Дьяконов, 1988). Под понятием «организация» мы понимаем внутреннюю упорядоченность и взаимосвязанное функционирование морфологических единиц, отражающееся в дифференциации их составляющих и приводящее к определенному изменению природных комплексов и пространственных сочетаний (по: Сочава, 1973). Их выделение и описание – одна из основных задач географии и опирается на понимание системной организации ландшафтной оболочки (Николаев, 2000).

Прямое изучение процессов функционирования ландшафта на стационарах по объективным причинам затруднительно (Беручашвили, 1986; Jung et al., 2024), поэтому с

развитием науки в обиход вошли косвенные методы: эмпирическое и имитационное физико-математическое моделирование.

В косвенном изучении циркуляционных процессов в ландшафте помогает триада И.П. Герасимова «фактор-процесс-свойство» (Герасимов, 1975), которая добавляет в традиционную модель межкомпонентных отношений функциональную составляющую (*процесс*), в явном виде выражающую зависимость ландшафтного покрова (*свойство*) от особенностей вещественно-энергетических потоков, трансформированных компонентами ландшафта (*факторами*). Интенсивность и направленность процессов Ф.И. Козловский (2003) предложил выражать через изменение свойств, являющихся прямым результатом этого процесса – основных диагностических показателей (ОДП). К значимым ландшафтообразующим процессам в лесостепной зоне относятся эрозионно-аккумулятивный процесс и перераспределение тепла и влаги по элементам рельефа. При возрастании степени как поверхностного, так и грунтового увлажнения в почвах происходит усиление выраженности процессов выщелачивания карбонатов и оглеения (Зайдельман, 2013). По мере увеличения темпов эрозионных процессов происходит сокращение мощности гумусово-аккумулятивного горизонта, смена таксона почвы и замедление биологического круговорота (Базилевич, 1993; Подобед, 2013; Голосов, Ермолаев, 2019).

Методическая основа выявления структурно-функциональной организации объединяет территориальное и признаковое пространства межкомпонентных связей (Пузаченко, 2004; Козлов, Сорокина, 2012; Цифровая почвенная картография..., 2012). Территориальное пространство картографической модели задается регулярной сеткой (растром, рис. 1) Для каждого элемента сетки (пикселя) рассчитываются значения потенциальных факторов дифференциации геосистем, контролирующих миграционные потоки (например, свойства рельефа – крутизна, форма, площадь водосбора и др., почвообразующие породы – пески, суглинки, глины или др.). Направленность и интенсивность потоков тепла, влаги и темпов смыва почв рассчитывается для каждого элемента сетки в соответствии с существующими имитационными моделями перераспределения поверхностного стока, эрозии почв и потенциального прихода суммарной солнечной радиации. Строение почвенного профиля, его морфология и аналитические значения, пространственная конфигурация элементарных почвенных ареалов используются в качестве ОДП элементарных почвообразовательных и ландшафтообразующих процессов, формируемых внутриландшафтным перераспределением стока и твердофазного вещества.

В качестве современной методической базы моделирования межкомпонентных связей, учитывающей как природные особенности ландшафта, так и территориальное соседство, предложена модель SCORPAN (McBratney et al., 2003; Minasni, McBratney, 2016), в которую добавляется функциональная переменная (Lozbenev et.al., 2021).



Рис. 1. Концепция «фактор-процесс-свойство» - методическая основа изучения структурно-функциональной организации ландшафтов. В левой части рисунка приведена принципиальная схема организации данных при цифровом картографировании, в правой - примеры: а) факторной основы (абсолютные высоты, м), б) процессных характеристик (перераспределенный сток, м), в) свойств (почвы)

Суть анализа межкомпонентных связей в рамках представленной концепции заключается в поиске наилучшей зависимости пространственной изменчивости почвенных таксонов, либо отдельных почвенных свойств от факторов почвообразования и миграционных процессов с применением методов статистики или машинного обучения.

При оценке межрегиональных различий применяют ландшафтно-типологический подход, объединяющий сопряженные группы урочищ в универсальные для Восточно-Европейской равнины единицы - литолого-геоморфологические варианты типов местностей (Мильков, 1964, 1966). Результаты моделирования с картографическим выражением применимы в ландшафтном планировании и агроэкологической оценке земель (Нестеренко, Лозбенеv, 2024).

2. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАНДШАФТОВ ЛЕСОСТЕПИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ

Ключевые участки расположены в подзоне северной лесостепи и приурочены к возвышенной Среднерусской (рис. 2, цифра 1), низменной Окско-Донской (рис. 2, цифра 2) и возвышенной Бугульминско-Белебеевской (рис. 2., цифра 3) провинциям. Своеобразие структурно-функциональной организации регионов определяется сложностью морфолитогенной основы, перераспределением тепла и влаги по элементам рельефа и темпами смыва почв. Региональные особенности структуры и эволюции почвенного

покрова черноземной зоны лесостепи рассмотрены в ряде обобщающих работах (Ахтырцев, 1993; Чендев и др., 2015; Khitrov et.al., 2019).

Ландшафтная структура лесостепных провинций наиболее подробно рассмотрена в работах Воронежских ландшафтоведов (Схематическая..., 1961; Мильков, 1976, 1977; Михно и др., 1986). Провинции состоят из физико-географических районов – геоморфологически обособленных частей провинций, в пределах которых сохраняется целостность и специфика ландшафтной структуры (Мильков, 1956). Физико-географические районы, в свою очередь, подразделяются на универсальные типологические единицы ландшафта - типы местности: плакорный, склоновый, междуречный недренируемый, водораздельно-зандровый, останцово-водораздельный, надпойменно-террасовый, пойменный, аквальный. (Ландшафтная..., 2010; Михно и др., 2010).

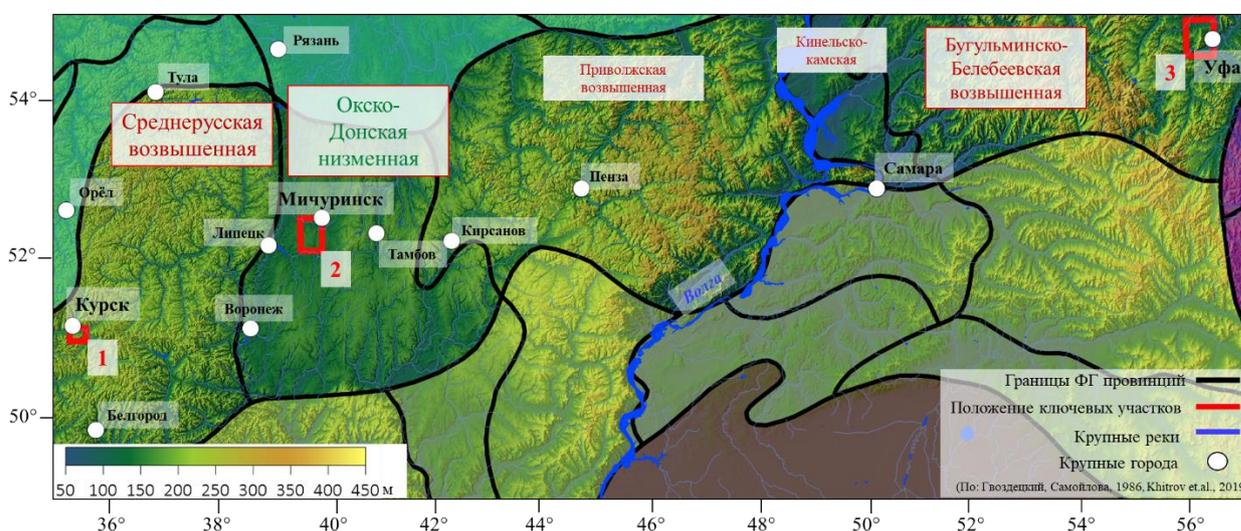


Рис. 2. Положение ключевых участков (красные прямоугольники) на фоне цифровой модели местности части Восточно-Европейской равнины. Цифрами обозначены физико-географические провинции в пределах лесостепной области: 1 – Среднерусская возвышенная, 2 – Окско-Донская низменная, 3 – Бугульминско-Белебеевская возвышенная

Плакорный тип местности занимает приподнятые и дренируемые междуречья, сложенные лессовидными суглинками мощностью более 3 метров, подстилаемые карбонатными или водно-ледниковыми отложениями. В составе почвенного покрова преобладают черноземы оподзоленные, выщелоченные, типичные и луговато-черноземные почвы в локальных понижениях. Преимущественно распахан.

Склоновый тип местности занимает пологие и покатые присетевые склоны крутизной более 3°. Его особенностями являются интенсивный поверхностный сток, высокие темпы смыва почв и развитая овражно-балочная сеть. В составе почвенного покрова преобладают эродированные варианты черноземов и луговато-черноземных почв.

Значительно распахан за исключением участков с сильносмытыми почвами и выходами коренных пород.

Междуречный недренируемый тип местности приурочен к субгоризонтальным междуречьям с ограниченным поверхностным стоком и значительными проявлениями переувлажнения. В данной работе мы предлагаем разделить его на 3 варианта, выстраивающихся в ряд возрастающего гидроморфизма: *междуречный замедленно-дренируемый*, собственно, *междуречный недренируемый* вариант типа местности и *плоскоместный озерно-болотный*. *Междуречный замедленно-дренируемый* вариант приурочен к субгоризонтальным междуречьям, сложенным лессовидными суглинками со слабым проявлением гидроморфизма. Здесь доминируют луговато-черноземные обычные и выщелоченные почвы с единичными признаками переувлажнения в верхней и/или нижней части профиля. Доля западинного комплекса с сильнопереувлажненными почвами и лесными колками в его пределах не превышает 25%. Глубина почвенно-грунтовых вод в сухой сезон – более 5 метров. *Междуречный недренируемый* вариант типа местности характеризуется плоским рельефом и долей западин 25-50% от общей площади. На фоновых участках преобладают лугово-черноземные обычные и выщелоченные почвы с яркими признаками переувлажнения в средней и нижней частях профиля. В западинах преобладают почвы гидроморфного ряда – влажнолуговые осолоделые, луговые солоды, болотные перегнойно-торфянистые. Глубина почвенно-грунтовых вод в сухой сезон у фоновых почв – 3-5 метров. Он также преимущественно распахан, за исключением крупных западин. *Плоскоместный озерно-болотный* вариант типа местности приурочен к самым плоским участкам междуречий, где доля западинного комплекса более 50% площади. Здесь доминируют лугово-черноземные и черноземно-луговые почвы с уровнем почвенно-грунтовых вод в сухой сезон выше 3 метров. Почвы имеют яркие признаки переувлажнения по всему профилю. *Останцово-водораздельный* тип местности приурочен к междуречьям, сложенным дочетвертичными легкими каменистыми отложениями. Фоновыми почвами выступают серые и темно-серые почвы облегченного гранулометрического состава. Преобладают сосновые леса с вкраплением пахотных угодий. *Надпойменно-террасовый* тип местности приурочен к надпойменным террасам рек, сложенным древнеаллювиальными песками с серыми и темно-серыми лесными песчаными почвами под сосновыми лесами. *Пойменный* тип местности приурочен к поймам рек с аллювиальными дерновыми, луговыми и болотными почвами. Они характеризуются значительными признаками гидроморфизма. Преобладает естественная древесная растительность, фрагментарно развито земледелие. Региональные особенности ландшафтов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Физико-географическая характеристика ключевых участков в пределах лесостепных провинций

Провинция	Среднерусская	Окско-Донская	Бугульминско-Белебеевская
ΣT_{10}° , средняя сумма осадков, Ку	2550° t_{cp} : + 5,7°, осадки: 580 мм, Ку: 1,	2500° t_{cp} : + 5,4°, осадки: 530 мм, Ку: 0,9	2300° t_{cp} : + 3,8°, осадки: 510 мм, Ку: 0,9
Рельеф, Кр (км/км ²)	Возвышенная эрозионная равнина, Кр=1,3-1,4	Низменная водно-ледниковая равнина, Кр = 0,7-0,9	Возвышенная эрозионно-пластовая равнина, Кр = 1,4-1,5
Отложения	Лессовидные СС-ТС на мелах с глубины 1-20 м	ТС-Гл, подстилаемые лёгкими водноледниковыми отложениями с глубины 3 и более метра	СС-ТС на коренных породах или песках
Физико-географические провинции и районы по Ф.Н. Милькову (1960)	Среднерусская возвышенная, Суджанский район	Окско-Донская равнинная, Центральный плоскоместный район	Высокого Заволжья, Левобережный Прибельский район
Литолого-геоморфологические варианты типов местности	Плакорный; Междуречный замедленно-дренируемый; Склоновый; Пойменный	Плакорный; Междуречный замедленно-дренируемый; Междуречный недренируемый; Плоскоместный озерно-болотный; Склоновый; Надпойменно-террасовый Пойменный	Плакорный; Междуречный замедленно-дренируемый; Междуречный недренируемый; Склоновый; Останоцово-водораздельный; Пойменный

3. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Общий алгоритм построения моделей межкомпонентных связей на ключевом участке, их картографического выражения включает следующие этапы:

1. Построение факторной основы моделирования (цифровой модели рельефа) и её геоморфометрический анализ;
2. Полевое ландшафтное обследование для определения свойств почв и других компонентов как ОДП структуры и функционирования ландшафтов;
3. Региональная параметризация и расчет процессных характеристик среднегодовой солнечной радиации, перераспределенного слоя осадков и темпов смыва почв;
4. Построение дискриминантной модели, связывающей описанные в поле почвы и их свойства с набором факторных и процессных характеристик;
5. Построение на основе моделей карт доминантного прогнозного таксона почв и неопределенности прогноза;

6. Типизация почв в почвенные комбинации по Общесоюзной инструкции (1972);
7. Группировка почвенных комбинаций в типы местности по принципу функциональной и генетической общности.

Межрегиональные сравнения включают две взаимосвязанные части: сопоставление морфологической структуры и функциональных показателей типов местностей разных ландшафтных провинций.

При сравнении морфологической структуры различия определяются по составу компонентов в структуре почвенного покрова типов местностей (сочетанию доминантных и субдоминантных урочищ, набору таксонов почв), соотношению их площадей, взаиморасположению морфологических единиц, консервативным факторам ландшафтной дифференциации (рельефу и составу отложений). Различия параметров функционирования типов местности разных ландшафтных провинций определяются по соотношению средних значений натечного увлажнения и интенсивности эрозионных процессов для групп почв и типов местностей.

Рассмотрим некоторые этапы общего алгоритма более подробно. На всех участках характеристика рельефа как факторной основы дана по цифровой модели рельефа (ЦМР) разрешением 20 метров. Анализ рельефа включал расчет избыточного набора геоморфометрических величин (по: Сысуев, 2019, Shary, 1995).

В качестве функциональных показателей использовались процессные характеристики: слой перераспределенных осадков, рассчитанный по имитационной физико-математической модели SIMWE (Mitas, Mitasova, 1998), темпы смыва почв по эмпирической модели WATEM/SEDEM (Van Oost et al., 2000; Van Rompay et al., 2001), а также расчетный показатель среднегодового прихода солнечной радиации (в SAGA GIS).

Установление отношений между таксонами почв, их свойствами и величинами-предикторами производилось линейным дискриминантным анализом (Пузаченко, 2004). В обучающей выборке дискриминантного анализа сопоставляются таксоны почв с соответствующими им геоморфометрическими и функциональными характеристиками. Общая точность модели межкомпонентных связей оценивалась по точности предсказания индивидуальных таксонов почв и квадрату коэффициента корреляции. Последующая типизация почв в почвенных комбинации осуществлялась на основе постулата, что апостериорные вероятности встречи таксонов почв в пикселе – это долевое участие данной почвы в каждой ячейке раstra, внутренний рисунок которых зависит от типа местности и региона (по: Козлов, 2009).

Рассмотрим подробнее материалы, использованные при описании ключевых участков. В пределах **Среднерусской возвышенности** в ходе многолетних исследований

почвенного покрова сотрудниками Почвенного института и автора собран большой массив данных, включающий 1182 описания с точностью географической привязки до 10 метров (табл. 2, рис. 3а). Общая площадь ключевого участка составляет 320 км².

Таблица 2. Точки описания ключевого участка на Среднерусской возвышенности*

Чл1	Чл1н	Чв	Чвэ1	Чвэ2	Чт	Чтэ1	Чтэ2	Чтк	Чткэ1	Чткэ2	Лчн	Ал	Всего
96	10	307	30	3	366	107	11	161	48	15	16	12	1182

*Чл1 – луговато-черноземная, Лчн – луговато-черноземная намытая, Чв – чернозем выщелоченный, Чвэ1 – чернозем выщелоченный слабосмытый, Чвэ2 – чернозем выщелоченный среднесмытый, Чт – чернозем типичный, Чтэ1 – чернозем типичный слабосмытый, Чтэ2 – чернозем типичный среднесмытый, Чтк – чернозем типичный карбонатный, Чткэ1 – чернозем типичный карбонатный слабосмытый, Чткэ2 – чернозем типичный карбонатный среднесмытый.

Примеры некоторых факторных и функциональных показателей приведены на рис.

3. Параметризация функциональных моделей была проведена с учетом результатов региональных работ (Козлов и др., 2019; Lozbenev et.al., 2021).

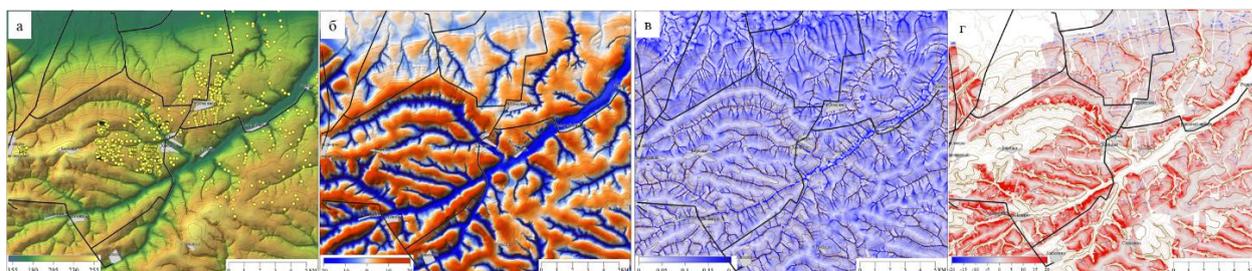


Рис. 3. Ключевой участок на Среднерусской возвышенности: а) цифровая модель рельефа разрешением 20м с положением точек описаний (желтые пунсоны); б) топографический индекс относительных превышений в окрестности 1500м, м; в) расчет перераспределенного стока по модели SIMWE, м; г) расчетные темпы смыва почв по модели Watem/Sedem, т/га*год

Ключевой участок на **Окско-Донской низменности** был подробно изучен почвоведом и географом ВГУ в 1980-е годы и автором в 2019-2021 годах. Итоговая обучающая выборка составила 295 описаний (табл. 3). Площадь ключевого участка составляет 520 км². Примеры факторных и функциональных показателей приведены на рис.

4. Параметризация функциональных переменных проведена с учетом местной специфики.

Таблица 3. Точки описания ключевого участка на Окско-Донской низменности*

Чл2	Чв	Чт	Слн	Лч	Члвл	Л	Л2пгэ	Бл	Бт	Асл	Ад	Авл	ОБК	Всего
101	27	20	2	34	9	12	10	18	4	7	9	1	41	295

*Чл2 - лугово-черноземные обычные, Чв - чернозёмы выщелоченные, Чт - чернозёмы типичные, Слн - солонцы, Лч – черноземно-луговые, Члвл – черноземно-влажнолуговые, Л – луговые, Л2пгэ – серые лесные поверхностно-глеево-элювиальные, Бл – лугово-болотные, Бт – торфянисто-болотные, Асл – аллювиальные слоистые, Ад – аллювиальные дерновые, Авл – аллювиальные влажнолуговые, ОБК – почвы овражно-балочного комплекса.

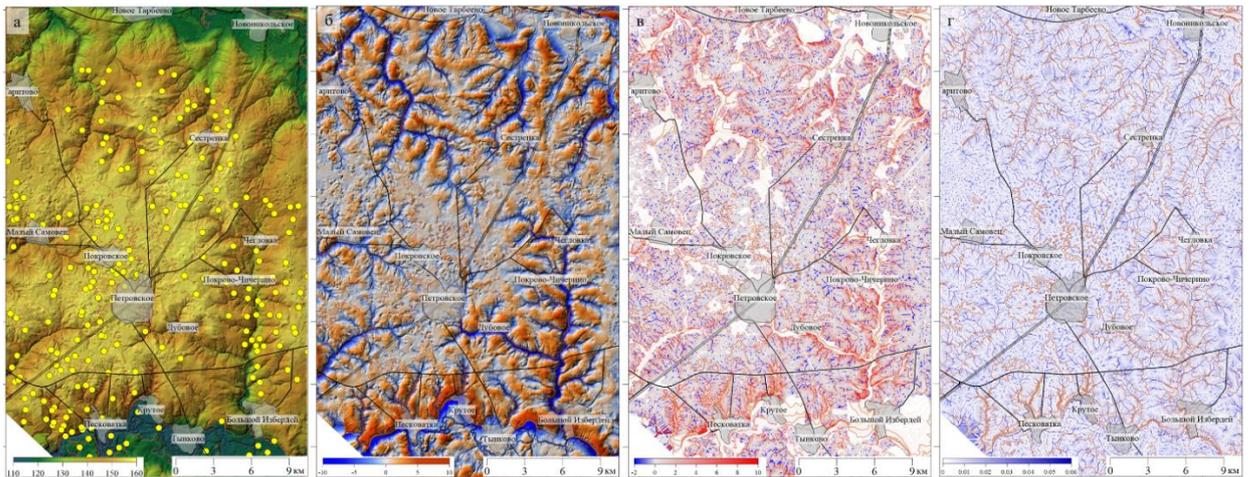


Рис. 4. Ключевой участок на Окско-Донской низменности: а) цифровая модель рельефа разрешением 20м с положением точек описаний (желтые пунсоны); б) топографический индекс относительных превышений в окрестности 1500м; в) расчет перераспределенного стока по модели SIMWE, м; г) расчетные темпы смыва почв по модели Watem/Sedem, т/га*год

Материалы для ключа на **Бугульминско-Белебеевской возвышенности** включают результаты последнего тура почвенного обследования Уфимского района (2010-е гг) и проведенного при участии автора маршрутного почвенно-ландшафтного обследования ключевого участка. Общее количество точек почвенных описаний – 367. Площадь ключевого участка составляет 650 км². Примеры факторных и функциональных показателей приведены на рис. 5. Параметризация функциональных переменных проведена с учетом местной специфики (по: Lozbenev, 2022; Zhidkin et.al., 2023), однако в условиях литологической контрастности требуются дополнительные исследования.

Таблица 4. Общее количество описаний почв в пределах ключевого участка*

Почва	Л2 + Л3	Чоп	Чт	Чв	Чл1в	Чл2	Лч	Вл	Эр	Ал	Всего
Кол-во	67	15	117	37	34	12	7	12	64	7	367

* Л2 + Л3 – серая и темно-серая лесные, Чоп – чернозем оподзоленный, Чв – чернозем выщелоченный, Чт – чернозем типичный, Чл1в – луговато-черноземная выщелоченная, Чл2 – лугово-черноземная, Лч – черноземно-луговая, Вл – влажнолуговая, Эр – комплекс смытых почв, Ал – аллювиальные.

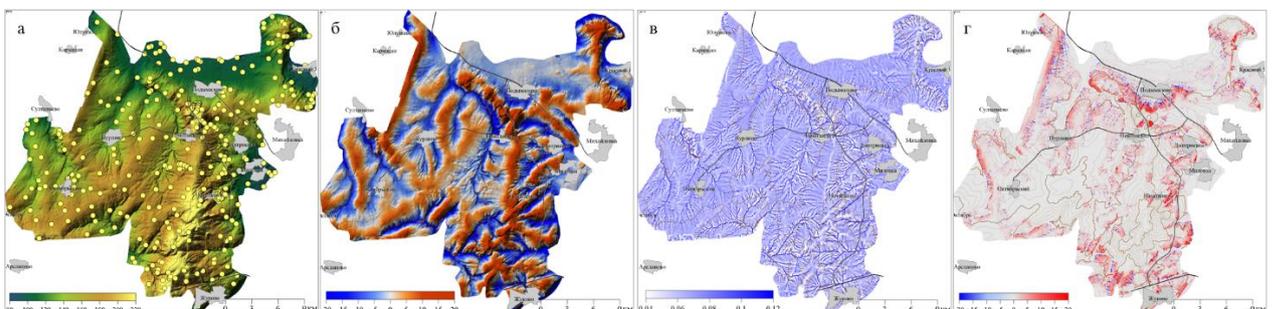


Рис. 5. Ключевой участок на Бугульминско-Белебеевской возвышенности: а) цифровая модель рельефа разрешением 20м с положением точек описаний (желтые пунсоны); б) топографический индекс относительных превышений в окрестности 1500м; в) расчет перераспределенного стока по модели SIMWE, м; г) расчетные темпы смыва почв по модели Watem/Sedem, т/га*год

4. СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЛЕСОСТЕПИ ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ РАВНИНЫ

Среднерусская провинция

Сопоставление морфометрических величин рельефа и процессных характеристик с результатами полевых почвенных описаний показало, что наиболее значимыми величинами в модели межкомпонентных связей выступают: 1) перераспределенный сток, который определяет положение Чв и Чл1 в ложбинах и междуречных западинах; 2) относительные превышения в окрестности 3750м определяют наиболее общие закономерности – положение черноземов на возвышенных участках и гидроморфных почв в балках; 3) крутизна склонов совместно с расчетными темпами эрозии локализуют почвы разной степени смывости на склонах; 4) суммарная годовая радиация определяет преобладание Чтк и смытых почв на склонах южной экспозиции. Точность модели – 39%.

Группировка элементарных почвенных ареалов позволила выделить 16 почвенных комбинаций, обозначаемых в порядке убывания долевого участия компонентов (рис. ба). Они сгруппированы в типы местности, значительно различающиеся по характеру и соотношению протекающих процессов. Плакорный ТМ с преобладанием черноземов занимает 32% участка. Ландшафт здесь формируется только за счет атмосферной влаги. Междуречный замедленно-дренируемый вариант ТМ (18% площади) с небольшими западинами характеризуется высокими значениями перераспределенного слоя осадков и доминированием луговато-черноземных почв. Склоновый ТМ (38% участка) приурочен к смытым почвам. 12% территории занимает пойменный ТМ. Верификация моделирования почвенного покрова и его связь с составом растительности проведена на нескольких ключевых участках (Фишман, 1976; Lozbenov et.al., 2019, 2021).

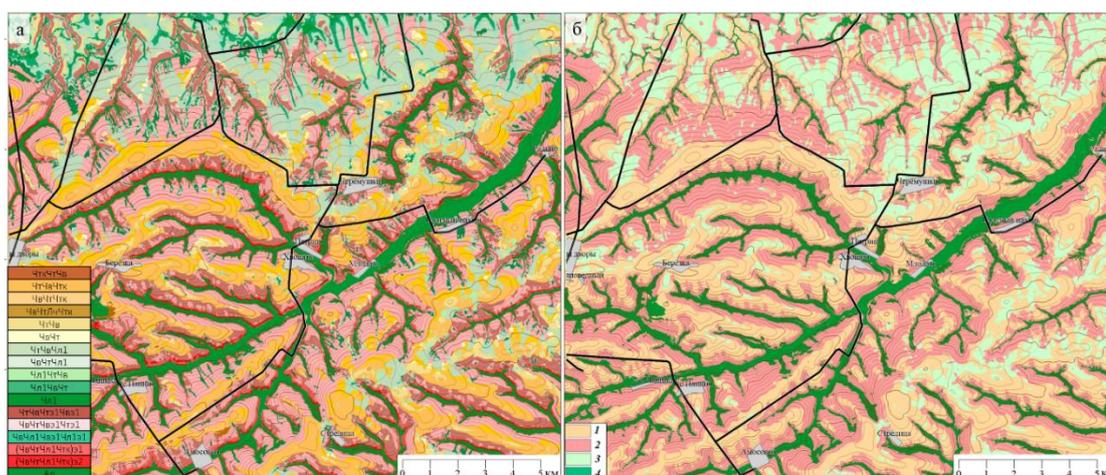


Рис. 6. Ключевой участок на Среднерусской возвышенности: а – почвенные комбинации (индексы почв даны в порядке убывания долевого участия в пикселе), б – типы местности: 1 – плакорный (почвы в порядке убывания долевого участия: Чт, Чв, Чтк, Чл1), 2 – склоновый (Чэ1, Чэ2), 3 – междуречный замедленно-дренируемый (Чл1, Чт, Чв), 4 – пойменный (Ал). Черными линиями обозначены автомобильные дороги

Окско-Донская провинция

Модель межкомпонентных связей ключевого участка показала точность предсказания доминантной почвы на уровне 48%. Среди значимых переменных в модели - индекс превышения над базисом эрозии и относительные превышения в окрестности 1500м, которые разделяют морфологические элементы ландшафта, приуроченные к основным поверхностям междуречий и поймам. Ареал песчаных отложений обособляет надпойменные террасы. Крутизна склонов описывает положение склоновых почв при высоких значениях показателя, а плакорных – при малых уклонах. Модельный перераспределенный сток и топографический индекс расчлененности выделяют элементы балочной сети и западины. Темпы смыва почв оказались незначимы при разделении почв в признаковом пространстве в связи со слабым проявлением эрозионных процессов.

Результаты моделирования и составленная карта (рис. 7а) показывают преобладание переувлажненных почв на междуречьях Окско-Донской низменности и незначительное участие почв черноземного ряда в дренированных позициях рельефа. Самые высокие недренлируемые позиции занимает плоскоместный озерно-болотный вариант ТМ (5% территории), состоящий из крупных западин с луговыми почвами, солодями и низинными болотами. Сток влаги из них практически не происходит, основной расход талой и дождевой воды – на испарение и фильтрацию в грунтовые воды. Междуречный недренлируемый ТМ занимает 34% территории. Междуречный замедленно-дренируемый (33%) и плакорный (15% территории) ТМ приурочены к дренируемым элементам междуречий. Склоновый ТМ (2% площади участка) занимает прибалочные склоны со смытыми почвами. Надпойменно-террасовый и пойменный типы местности, занимающие 5% и 6% территории, соответственно, приурочены, к зандрам, террасам и поймам рек Матыра и Воронеж.

Бугульминско-Белебеевская провинция

Модель межкомпонентных связей данного участка показала самую высокую точность предсказания доминантной почвы - 57 %. В её состав вошли: превышение над базисом эрозии, которое определяет преобладание серых лесных песчаных почв на высших позициях междуречий; перераспределенный сток, который упорядочивает почвы в возрастающий ряд гидроморфизма по элементам ложбинной и овражно-балочной сети. Относительные превышения в окрестности 1500м определяют общий характер почвенного покрова: преобладание черноземных почв на плакорах и пойменных почв в самых нижних позициях рельефа. Относительное положение на склоне и расчетные темпы смыва почв определяют положение почв разной степени смытости. Предсказанные таксоны почв были

сгруппированы в почвенные комбинации, а затем в типы местности по принципу функциональной и генетической близости (рис. 7б).

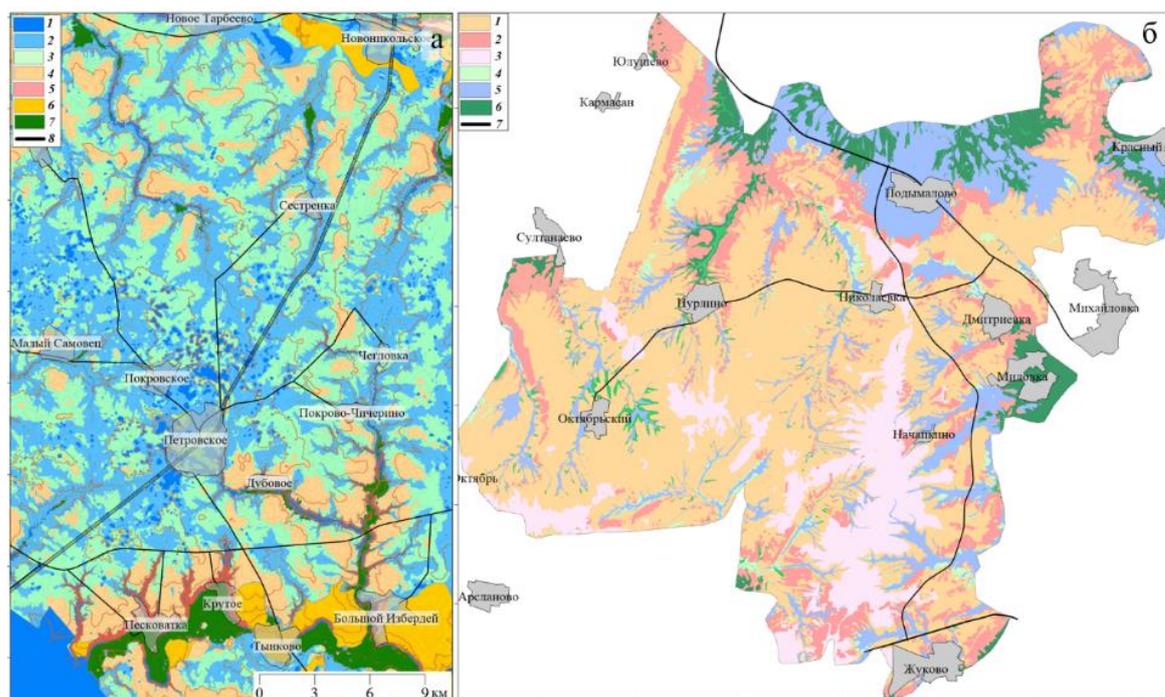


Рис. 7. Типы местностей и соответствующие им почвенные комбинации: а - ключевого участка на Окско-Донской низменности: 1 – плоскоместный озерно-болотный (почвы в порядке убывания долевого участия: Влос, Сд, Л2ПГЭ), 2 – междуречный недренируемый (Чл2, Чл2г, Лч, Лчг), 3 - междуречный замедленно-дренируемый (Чл1, Чл1г), 4 – плакорный (Чт, Чв, Чл1), 5 – склоновый (Чэ1, Чл1э1), 6 – надпойменно-террасовый (С2песч, С3песч), 7 – пойменный (Ад, Алг). Другие обозначения: 8 – автомобильные и железные дороги. б - ключевого участка на Бугульминско-Белебеевской возвышенности: 1 – плакорный (Чт, Чв, Чл1), 2 – склоновый (Чэ1, Чл1э1), 3 – останцово-водораздельный (Л2песч, Л3песч), 4 - междуречный замедленно-дренируемый (Чл1, Чл1г), 5 - междуречный недренируемый (Чл2, Лч, Вл), 6 - пойменный (Ад, Алг). Другие обозначения: 7 – автомобильные дороги

В пределах ключевого участка преобладает плакорный ТМ (51% участка), приуроченный к пологим склонам и реже - к основным поверхностям холмов. Редкие междуречные западины и верховья слабовыраженных ложбин и балок заняты луговато-черноземными обычными и выщелоченными почвами, отнесенными к междуречному замедленно-дренируемому ТМ (6% площади). В широких слабоогнутых ложбинах и шлейфах склонов с высокими значениями перераспределенного стока сформировались полугидроморфные и гидроморфные почвы возрастающего ряда увлажнения, отнесенные к междуречному недренируемому ТМ (7% участка). Пойменный ТМ (11% территории) приурочен к поймам реки Белая. Недостатком представленной модели является невысокое качество предсказания ареалов гидроморфных, в том числе, пойменных почв, которые значительно пересекаются в признаковом пространстве использованных переменных. Чётко обособилось положение серых и тёмно-серых лесных песчаных почв в наиболее выпуклых частях гряд и увалов. Такие позиции отнесены к останцово-водораздельному ТМ

(10% участка). Около 15% участка заняты склоновым ТМ с высокими расчетными темпами смыва и преобладанием почв разной степени смытости.

5. ПРОВИНЦИАЛЬНЫЕ РАЗЛИЧИЯ СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЛЕСОСТЕПИ

Изученные регионы значительно различаются между собой по показателям структуры и функционирования, что в первую очередь связано с особенностями морфоскульптуры рельефа и геологической истории регионов, выразившихся в специфическом для каждого региона проявлении процессов ландшафтной дифференциации. Компонентный состав почвенного покрова значительно различается. Будучи расположенными в одной подзоне, на Среднерусской возвышенности и Бугульминско-Белебеевской возвышенности преобладают почвы черноземного ряда, а в структуре почвенного покрова преобладают зональные и эрозионные почвенные комбинации. Для Окско-Донской низменности из-за преобладания внутрпочвенного стока над поверхностным и наличия почвенно-грунтовых вод, обусловленных более тяжелым гранулометрическим составом и плоским рельефом, характерны полугидроморфные и гидроморфные аналоги черноземов.

Сопоставление *морфологических структур* ключевых участков (рис. 8) показывает, что в пределах возвышенных Среднерусской и Бугульминско-Белебеевской провинций *плакорный* ТМ с фоновыми региональными условиями занимает 32 и 51% площади, соответственно. Он состоит из урочищ основных поверхностей междуречья с комплексами черноземов и луговато-черноземных почв по ложбинам, преимущественно распаханых. Для обеих провинций также характерно значительное участие *склонового* ТМ – 38% и 15%, соответственно. Он приурочен к прибалочным склонам с участием смытых вариантов зональных почв. Можно отметить, что эрозионная сеть Бугульминско-Белебеевской провинции имеет линейную форму, непохожую на классическую древовидную, а ареалы смытых почв не образуют сплошных поясов эрозии, как на Среднерусской возвышенности. *Плакорный* и *склоновый* ТМ низменной Окско-Донской провинции занимают 15% и 2%, соответственно. Здесь преобладают литолого-геоморфологические варианты *междуречного недренируемого* ТМ. Суммарно они занимают 82% территории. Это связано с преобладанием широких (более 20 км) и плоских междуречий с обилием замкнутых западин, отток влаги из которых местами невозможен. *Междуречный замедленно-дренируемый* вариант ТМ встречается и в возвышенных провинциях, он приурочен к узким междуречьям с единичными западинами, верховьям ложбинной сети и другим пониженным элементам мезорельефа с полугидроморфными почвами. Он занимает 18% участка в Среднерусской провинции и 6% в Бугульминско-Белебеевской провинции.

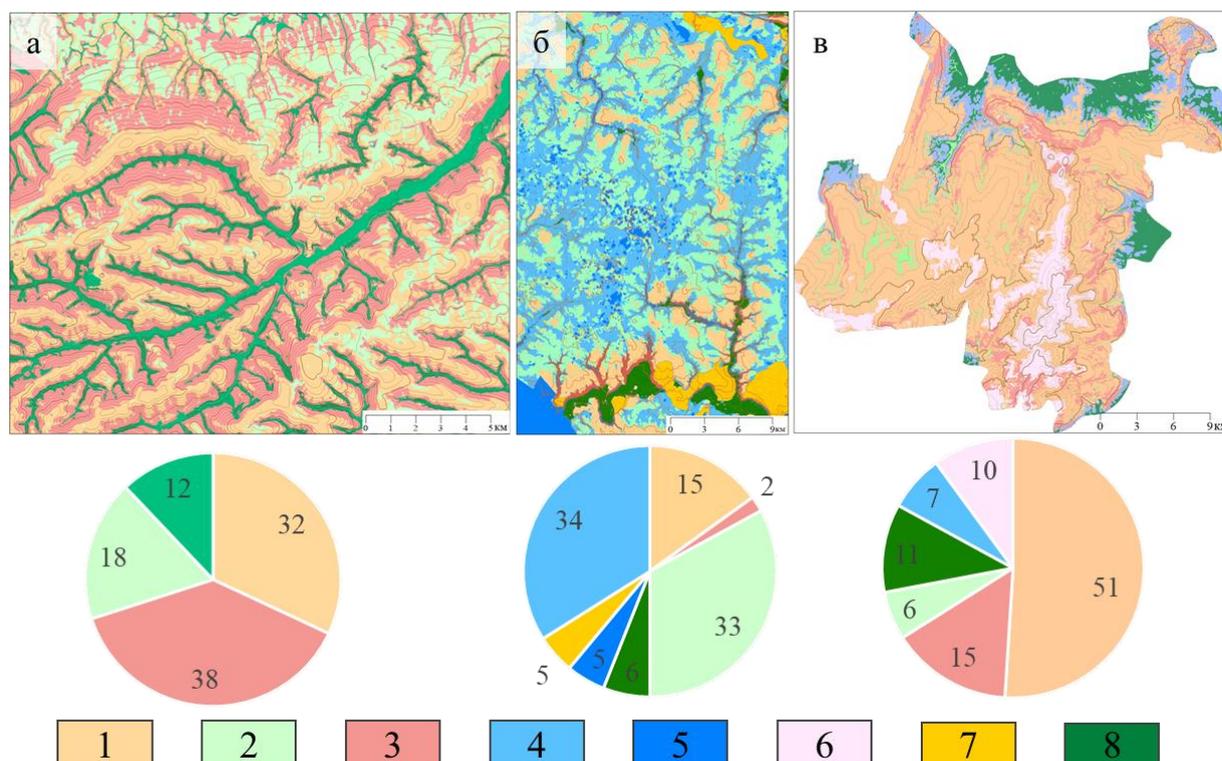


Рис. 8. Литолого-геоморфологические варианты типов местностей ключевых участков: а – Среднерусская возвышенность, б – Окско-Донская низменность, в – Бугульминско-Белебеевская возвышенность и доля типов местностей в ландшафтах регионов (%). Цифрами обозначены: 1 – плакорный, 2 – междуречный замедленно-дренируемый, 3 – склоновый, 4 – междуречный недренируемый, 5 – плоскоместный озерно-болотный, 6 – останцово-водораздельный, 7 – надпойменно-террасовый, 8 – пойменный

Сопоставляя процессные характеристики для групп почв изучаемых провинций можно отметить значимые различия, обусловленные соотношением поверхностного и внутрипочвенного стока (рис. 9). Преобладание гидроморфных почв на Среднерусской возвышенности начинается при пороговом значении перераспределенного стока 100 мм, что обусловлено преобладанием поверхностного стока над внутрипочвенным. Качественные изменения в структуре почвенного покрова распаханых склонов начинаются со значений темпов смыва почв 10-15 т/га*год. При среднегодовых темпах 35 т/га*год доля смытых почв превышает 50%. Различия средних значений инсоляции для Чв на склонах северной экспозиции и Чтк на склонах южной экспозиции составляют более 25 Вт/м²*год.

Для Окско-Донской низменности основную роль имеет преобладание внутрипочвенного стока и слабый дренаж, из-за чего полугидроморфные и гидроморфные почвы начинают преобладать при натежном увлажнении 5-10 мм. На Бугульминско-Белебеевской возвышенности полугидроморфные и гидроморфные почвы начинают доминировать только в элементах рельефа со значительным дополнительным увлажнением – более 10 мм. Качественные изменения в структуре почвенного покрова распаханых склонов начинаются с порогового значения расчетных темпов смыва почв 10 т/га*год.

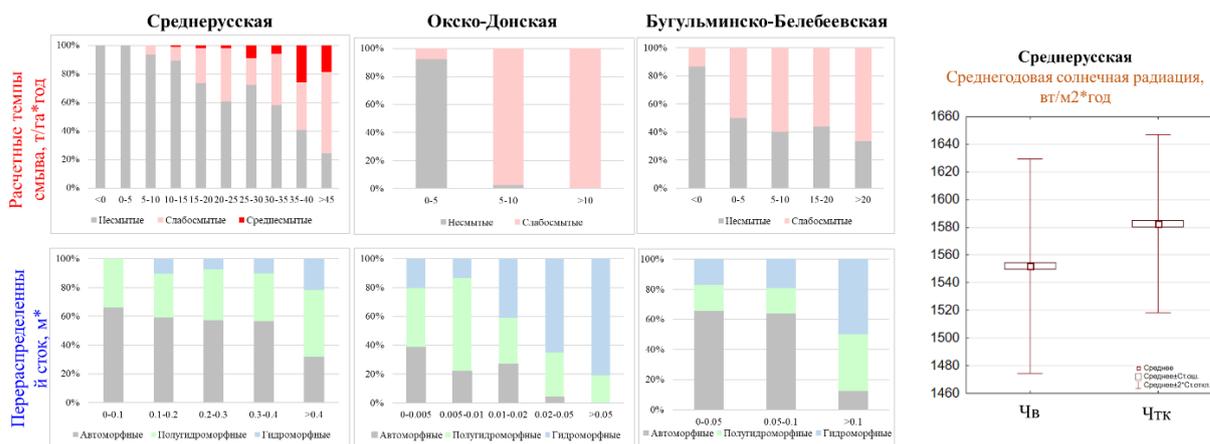


Рис. 9. Функциональные показатели групп почв трёх ландшафтных провинций лесостепи.

*Автоморфные: черноземы и их смытые варинаты; полугидроморфные: луговато- и лугово-черноземные почвы; гидроморфные: черноземно-луговые, влажно-луговые, солоды и др. Чв – чернозем выщелоченный, Чтк – чернозем типичный карбонатный

Сопоставляя процессные характеристики почв, осредненные для типов местностей, можно отметить некоторые моменты. Темпы смыва почв *склонового* ТМ (рис. 10А) показывают, что самые низкие значения, до 20 т/га*год характерны для Окско-Донской провинции. Это обусловлено небольшими перепадами высот и малыми длинами склонов. В условиях расчлененного рельефа Среднерусской провинции с обилием длинных склонов формируются мощные потоки с большой эродирующей способностью. Здесь встречаются расчетные темпы смыва более 100 т/га*год (медиана 18 т/га*год). Распределение темпов смыва для Бугульминско-Белебеевской показывает резкий пик в районе 16 т/га*год. При этом значительно меньшую площадь по сравнению с предыдущим занимают ареалы с показателями более 50 т/га*год, что обусловлено фрагментарным использованием в пашенном земледелии покатых эродируемых склонов и региональными особенностями параметризации модели.

Перераспределенный слой осадков для полугидроморфных и гидроморфных почв *междуречного недренируемого* ТМ (рис. 10Б) также показывает различия расчетных значений показателя для изучаемых провинций. Отмечая некоторые проблемы с параметризацией водно-миграционной модели, можно оценить различия в характере перераспределения влаги по элементам микро- и мезорельефа. Резкий пик в районе небольших значений для Окско-Донской низменности показывает как преобладание внутрипочвенного стока над поверхностным, так и характер перераспределения влаги на коротких склонах замкнутых понижений, в пределах которых не формируются мощные потоки. В разы большие значения перераспределенного стока характерны для возвышенных Среднерусской и Бугульминско-Белебеевской провинций. Это связано с преобладанием поверхностного стока по балкам над внутрипочвенным стоком в условиях расчлененного рельефа.

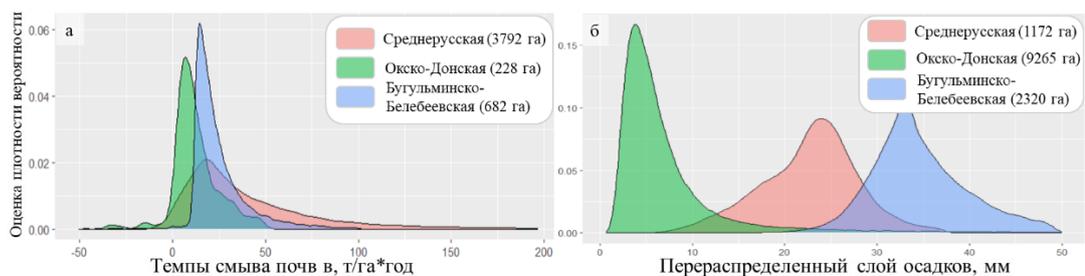


Рис. 10. Плотность распределения расчетных темпов смыва (т/га*год) для почв склонового типа местности (А) и расчетного перераспределенного стока (мм) для полугидроморфных и гидроморфных междуречного недренируемого типа местности (Б)

Различия в функциональных показателях типов местностей представлены на рисунке 11. Они связаны, преимущественно, с геолого-геоморфологическим фактором, который определяет интенсивность миграции твердофазного вещества и прераспределение выпадающих осадков. Для Среднерусской возвышенности важны оба этих процесса, однако большую роль здесь играет смыв почв, средние значения которого выше, чем в других провинциях. Он определяет формирование склонового типа местности почти на 40% территории с повсеместным распространением на прибалочных склонах. Перераспределение осадков на Среднерусской возвышенности формирует небольшое переувлажнение на нешироких западных междуречьях и в элементах ложбинной сети.

Похожие условия формирования типов местностей с точки зрения эрозионных и водно-миграционных процессов характерно для Бугульминско-Белебеевской возвышенности. Эрозионные процессы определяют формирование, примерно, на 15% территории склонового типа местности, однако он не образует сплошных поясов как на Среднерусской возвышенности. А водно-миграционные процессы, сходно со Среднерусской провинцией, определяют формирование междуречного замедленно-дренируемого и междуречного недренируемого типов местности на междуречьях и в балках с почвами возрастающего гидроморфизма. Вместе они занимают около 15% территории.

Окско-Донская низменность значительно отличается по соотношению процессов дифференциации типов местности. Роль эрозионных процессов практически сивелирована плоским рельефом, абсолютные значения темпов смыва невелики. При этом доминирующее значение имеют процессы перераспределения выпадающих осадков на плоских междуречьях. По мере приближения к верхним частям междуречий и увеличения доли западин в ландшафте повышается среднее значение перераспределенного стока. Самые высокие значения, более чем в 2 раза превышающие плакорный ТМ, характерны для плоскоместного озерно-болотного типа местности. В целом, гидроморфные варианты плакорного ТМ занимают почти 70% территории, что значительно отличает эту низменную провинцию от двух возвышенных.

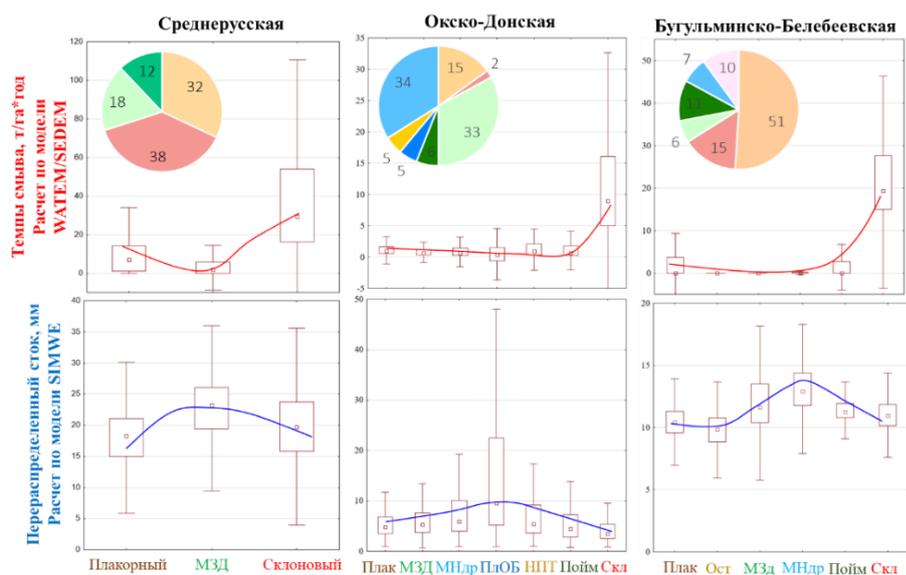


Рис. 11. Соотношение площадей и функциональные показатели типов местностей лесостепи Восточно-Европейской равнины. Индексами обозначены: Плак – плакорный, МЗД – междуречный замедленно-дренируемый, Мнедр – междуречный недренируемый, ПлОБ – плоскоместный озерно-болотный, НПТ – надпойменно-террасовый, Ост – водораздельно-останцовый, Пойм – пойменный, Скл – склоновый.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволяет сделать следующие **выводы**.

1. Региональные особенности структурно-функциональной организации почвенного покрова отражены в переменных и коэффициентах численных моделей межкомпонентных связей, соединяющих диагностические показатели мобильных компонентов ландшафта с факторами и процессами их дифференциации и выражаются в составе и площади типизированных почвенных комбинаций морфологических единиц локального уровня.

2. Диагностическими показателями элементарных геосистем лесостепи выступают строение их почвенного профиля (мощность гумусового горизонта, глубина вторичных карбонатов и признаков гидроморфизма) как отражения среднесуточных режимов функционирования (водного режима, соотношения эрозионно-аккумулятивных процессов). Их внутриландшафтная дифференциация описывается расчетными значениями среднего годового слоя перераспределенных осадков, интенсивности смыва почв и количеством приходящей солнечной радиации, трансформированных топографическими и литологическими факторами.

3. Набор доминантных почв одинаков для трёх физико-географических провинций. Они образуют ряды возрастающего увлажнения (чернозем типичный – чернозем выщелоченный – луговато-черноземная почва – лугово-черноземная почва) и интенсивности эрозионных процессов (намытые почвы – не смытые – слабосмытые – среднесмытые) элементарных геосистем лесостепи. При этом переменные и коэффициенты

численных моделей структурно-функциональной организации различаются для ландшафтов каждой из провинций.

4. Гидроморфизм почв Среднерусской возвышенности начинается при пороговом значении перераспределенного стока 100 мм. Качественные изменения в структуре почвенного покрова распаханых склонов начинаются со значений эрозии 10-15 т/га*год. При среднегодовой эрозии 35 т/га*год доля смытых почв превышает 50%. Различия средних значений инсоляции для черноземов выщелоченных на склонах северной экспозиции и черноземов типичных карбонатных на склонах южной экспозиции составляют более 25 Вт/м²*год. Полугидроморфные и гидроморфные аналоги черноземных почв Окско-Донской низменности начинают преобладать при значениях всего 5-10 мм перераспределенного слоя осадков, а на Бугульминско-Белебеевской возвышенности – с порогового значения в 10 мм. Качественные изменения в структуре почвенного покрова распаханых склонов последней провинции начинаются с порогового значения водной эрозии 10 т/га*год, когда доля смытых почв достигает 50%.

5. Морфоструктурные различия рельефа лесостепной зоны определяют структурно-функциональную организацию ландшафтов возвышенных и низменных провинций и выражаются в соотношении поверхностного и внутрипочвенного стока. Преобладание внутрипочвенного стока на Окско-Донской низменности определяет доминирование междуречного недренируемого типа местности (около 65% площади) и локальные проявления эрозионных процессов.

6. Для возвышенных Среднерусской и Бугульминско-Белебеевской провинций, наоборот, характерно преобладание поверхностного стока и высокие темпы эрозионных процессов, что проявляется в доминировании (суммарно, до 70% площади) плакорного и склонового типов местностей. Формирование гидроморфных элементов морфологической структуры обусловлено натежным увлажнением более 10 мм слоя осадков, что в 2-4 раза превосходит значения аналогичных элементов Окско-Донской низменности. Самые высокие темпы смыва характерны для почв пашни склонового типа местности Среднерусской провинции, причем они более, чем в 1,5 раза превосходят Бугульминско-Белебеевскую провинцию и в разы – низменную Окско-Донскую провинцию.

7. Полученные результаты картографического отображения структурно-функциональной организации позволили локализовать морфологические единицы ландшафта с наивысшим риском деградации от эрозии в возвышенных лесостепных провинциях (до 70% участков) и переувлажнения в низменных (до 65% территории), оценить их устойчивость к деградационным процессам для рационального использования на ландшафтной основе.

ОСНОВНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, индексируемых в базах данных Scopus, Web of Science, RSCI:

1. **Lozbenev N.**, Smirnova M., Bocharnikov M., Kozlov D. Digital mapping of habitat for plant communities based on soil functions: A case study in the virgin forest-steppe of Russia. – *Soil Systems*. — 2019. — Vol. 3, No. 1 – pp. 19. DOI: (SJR = 0,74; 0,75 п.л.; вклад автора 60%);
2. Khitrov N., Smirnova M., **Lozbenev N.**, Levchenko E., Gribov V., Kozlov D., Rukhovich D., Kalinina N., Koroleva P. Soil cover patterns in the forest-steppe and steppe zones of the east-european plain - *Soil Science Annual*. — 2019. — Vol. 70, No. 3. — pp. 198–210. DOI: 10.2478/ssa-2019-0018 (SJR = 0,37; 0,75 п.л.; вклад автора 25%);
3. Козлов Д.Н., Жидкин А.П., **Лозбенеv Н.И.** Цифровое картографирование эрозионных структур почвенного покрова на основе имитационной модели смыва (северная лесостепь Среднерусской возвышенности). – *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева*. — 2019. — № 100. — С. 5–35. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-100-5-35 (SJR = 0,19; 1,875 п.л.; вклад автора 25%).
4. **Lozbenev N.**, Yurova A., Smirnova M., Kozlov D. Incorporating process-based modeling into digital soil mapping: A case study in the virgin steppe of the Central Russian upland. – *Geoderma* — 2021. — Vol. 383. — P. 114733. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114733 (SJR = 1,76; 0,75 п.л.; вклад автора 60%);
5. Yurova A.Y., Smirnova M.A., **Lozbenev N.I.**, Fil P.P., Kozlov D.N. Using soil hydromorphy degree for adjusting steady-state water table simulations along catenas in semiarid Russia. – *CATENA* – 2021 – Vol. 199. – pp. 105109. DOI: 10.1016/j.catena.2020.105109 (SJR = 1,5; 0,875 п.л.; вклад автора 25%);
6. **Lozbenev N.**, Komissarov M., Zhidkin A., Gusarov A., Fomicheva D. Comparative Assessment of Digital and Conventional Soil Mapping: A Case Study of the Southern Cis-Ural Region, Russia. – *Soil Systems*. – 2022 - Vol. 6, No. 1. – pp. 14. DOI:10.3390/soilsystems6010014 (SJR = 0,74; 0,75 п.л.; вклад автора 60%);
7. Нестеренко В. А., **Лозбенеv Н. И.** Пространственно-временное варьирование фактической урожайности культур в контрастных агроэкологических условиях лесостепи Тамбовской области – *Плодородие*. — 2024. — № 1. — С. 79–83. DOI:10.25680/S19948603.2024.136.20 (Импакт-фактор РИНЦ = 0,98; 0,3125 п.л.; вклад автора 45%).

Полный список публикаций с учетом работ в сборниках материалов и тезисов российских и международных конференций доступен на странице соискателя в ИАС «ИСТИНА» (<https://istina.msu.ru/profile/NikolayLozbenev/>).