

№ 11-2. – С. 422-426; URL: <http://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36249> (дата обращения: 14.02.2021).

9. Экологическая ситуация в районах размещения горнодобывающих предприятий региона Курской магнитной аномалии: монография / А.Г. Корнилов, Е.В. Кичигин, С.Н. Колмыков [и др.]. – Белгород: ИД «Белгород» НИУ «БелГУ», 2015. – 157 с.

УДК 631.48:332.332

ЭВОЛЮЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВАХ ЯРОСЛАВСКОГО ПОВОЛЖЬЯ НА ФОНЕ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

Русаков А.В.¹, Симонова Ю.В.¹, Мирин Д.М.¹, Лемешко Н.А.¹,
Попов А.И.¹, Рюмин А.Г.¹, Лебедева М.П.², Евстигнеев В.П.³

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет»,
Санкт-Петербург, Россия

²ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева», Москва, Россия

³ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет», Севастополь, Россия
E-mail: spp-06@mail.ru

Введение

Современные изменения климата, беспрецедентные за последние тысячу лет и проявившиеся в последние десятилетия на фоне естественной изменчивости, уже привели к устойчивому отклику природной среды в целом, растительного и животного мира на эти изменения. В литературе отмечена тенденция смещения к северу границ природных зон, ареалов распространения отдельных видов насекомых, фенологических фаз, что, несомненно, связано с возрастанием межгодовой изменчивости, изменением годовой амплитуды метеорологических характеристики, сокращением безморозного периода на ЕТР, увеличением продолжительности вегетационного периода.

Исследование климатообусловленных зависимостей в формировании почвенного плодородия имеет давнюю историю, однако эти исследования были направлены на получение реакции продукции растениеводства на изменения климата. Анализ влияния современного потепления климата на агропочвы, находящиеся в настоящее время под дикорастущими ценозами гораздо менее разработан.

Выявление эмпирических связей почвенных показателей, характеристик растительности в ходе постагрогенной сукцессии и климата в динамике требовало проведение междисциплинарного анализа и комплексного подхода.

Совместный анализ изменения свойств почв и климатических показателей позволяет оценить скорость почвенных процессов и плодородия почв и стать основой для моделирования климата почв на перспективу. Специфика постагрогенной эволюции и появление новых почвенных свойств должны учитываться при выполнении почвенно-агроэкологической оценки и прогнозировании агропроизводственного потенциала на фоне изменившихся климатических условий.

Основная научная задача, на решение которой были направлены исследования, связана с разработкой базовых принципов оценки климатообусловленной трансформации почвенного покрова для обоснования адаптационной стратегии устойчивого развития окружающей среды в условиях меняющегося климата и антропогенного пресса.

Цель исследования заключалась в выявлении средневременных (последние 35–40 лет) эволюционных изменений свойств агропочв территории Ярославского Поволжья после

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

снятия антропогенной нагрузки и перевода их в залежное состояние на фоне региональных и глобальных климатических тенденций.

Проблема оценки объективного состояния почвенных ресурсов и их трансформации под действием различных факторов решалась на междисциплинарном уровне с привлечением специалистов дисциплин, изучающих почву как открытую систему – почвоведов, геоботаников и климатологов.

Полученные нами данные позволяют дать оценку современного агроэкологического потенциала почв в аспекте адаптивно-ориентированной системы земледелия. Новый, актуальный и комплексный материал по состоянию разновозрастных залежей может быть использован в ходе реализации положений Государственной программы эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации на 2021–2030 гг.

Методы и методологические подходы, применяемые при решении поставленных задач

Одним из главных методологических подходов являлся ретроспективный мониторинг свойств почв на средневременной (последний 35–40 лет) хроносрез на фоне современных климатических тенденций. В почвенных исследованиях применялись методы, направленные на увеличение достоверности результатов сравнительного анализа в хроноряду. Для этого использовались почвенно-картографические материалы крупномасштабного картографирования 1984–1990 гг., обработанные в ГИС-программах (пакеты ArcGIS 10.2 и QGIS 3.8.1) с привязкой на основе подложки из космических снимков высокого разрешения. Для учета и снижения пространственной вариабельности почвенного ареала полевые исследования проводились не на одном разрезе, а на пробной площадке, где помимо опорного разреза закладывалась сеть прикопок.

Выбранные аналитические методы целевого характера для выявления групп эволюционных признаков и свойств почв включали: морфологический анализ на разных уровнях организации, гранулометрический и микроагрегатный анализ, стандартные физико-химические методы анализа, CHN-анализ, валовой анализ. Для получения минимальных расхождений, связанных с аналитической ошибкой метода, методики и рабочие условия проведения лабораторных анализов, применяемые к почвенным образцам современного периода отбора и образцам первичного отбора, были максимально стандартизированы.

Методологический подход, применяемый в геоботанических исследованиях, основывался на изучении растительных сукцессий с описанием состава и строения растительных сообществ, выявлением доминантов, датировкой по максимальному возрасту деревьев в пределах ценопопуляции. На каждой площадке маршрутного наблюдения выявлялась активность южных видов, наличие неморальных, инвазионных и редких видов. Специальное внимание уделялось бриокомпоненту сообществ, слабо изученному в луговых сообществах на залежах. Применены методы индикации экологических режимов с использованием экологических шкал. Помимо анализа прямых данных по проективному покрытию видов и ярусов, проведена группировка видов в важные для анализа постагрогенной сукцессии эколого-фитоценоотические группы.

Разработана методология оценки достоверности выходных данных МОЦАО применительно к задаче проекта, включающая практически весь спектр статистических методов анализа. Процедура сравнения выходных параметров моделей с данными наблюдений включала: интерполяцию модельных результатов (метод сплайновой поверхности и кригинга); осреднение метеорологических данных по территории; оценку точности воспроизведения климата в расчетах МОЦАО по шести статистическим параметрам: средние абсолютные отклонения эмпирических данных от расчетных значений модели; среднеквадратическое отклонение; средние отклонения

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

воспроизведенных по моделям значений от медианы эмпирических данных; относительные отклонения функций плотностей вероятностей эмпирических данных и воспроизведенных моделью данных или Евклидово расстояние между данными функциями; значения относительной энтропии Кульбаха-Лейблера. Следующий этап оценки достоверности воспроизведения климата моделями заключался в построении системы рангов, расчете суммарного ранга каждой модели по шести статистическим характеристикам отклонения и определении итогового рейтинга модели. Применение современного статистического аппарата впервые позволило составить ансамбль надежных моделей для территории Ярославского Поволжья, в который вошли модели CNRM-CM6-1-HR, CanESM5, EC-Earth3, CESM2, NorESM2-MM, MIROC6, INM-CM5-0, CMCC-ESM2 и UKESM1-0-LL. Такой подход находится на уровне развития мировой науки об изменениях климата и их последствий и соответствует мировой практике подобных работ по используемым методам.

Результаты исследований и обсуждение

Все результаты исследований характеризуются существенной новизной по сравнению с ранее известными данными. Для изученной территории бассейна Верхней Волги выполнен анализ механизмов, формирующих низкочастотную изменчивость межгодового-междесятилетнего масштаба, что позволяет определить влияние изменений климата, в том числе в экстремальном диапазоне по сезонам года на почвенные процессы и согласуется с исследованиями для региона (Переведенцев и др., 2020).

Впервые изучена возможность применения моделей теории климата для оценки климата почв данного региона. Выполненный анализ достоверности МОЦАО по набору моделей и методам статистического анализа соответствует последним современным исследованиям по использованию МОЦАО, входящих в Coupled Model Intercomparison Project, CMIP6 (WCRP, 2021). Впервые получен оригинальный набор моделей на основе ранжирования и составлен «ансамбль моделей», адекватно описывающий климат территории. Это позволило впервые выполнить валидацию агроклиматических показателей, полученных из модельных и эмпирических данных, что формирует новый уровень понимания процессов в климатической системе и литосферном звене (МГЭИК, 2014; Мелешко, Говоркова, 2013; Мохов, Елисеев, 2012).

Исключительная новизна нашего направления исследований заключалась в определении почвенных идентификаторов современных климатических изменений при наложении фактора постагрогенеза. Сам по себе поиск климатически отзывчивых показателей почв является сложной задачей, поскольку педогенная инерция вызывает различные задержки во времени и в скорости реакции для разных типов почв с учетом региональных факторов. Однако еще больше трудностей связано с поиском этих показателей при наложении фактора постагрогенного влияния. Вместе с тем именно почвы залежей наиболее интересны и актуальны для решения этой задачи, поскольку они составляют основу потенциального фонда для возврата площадей в сельскохозяйственный оборот.

Выявленная нами динамика почвенных свойств рассматривалась как результат совместного действия постагрогенеза, регионально-специфических тенденций изменения климата, а также локальных факторов. Однако переменные, на изменение которых в период между обследованиями значимо повлиял фактор климата, отличались от переменных, более отзывчивых на смену вида землепользования и возраст залежи. При одновременном изменении таких факторов почвообразования, как землепользование и климат, доля первого была существенно выше в изменении «биологически активных» переменных, таких как содержание органического вещества и азота, подвижных форм фосфора и калия, кислотности. Со вторым стоит связывать трансформацию минеральной части почвы, которая происходила на фоне смены окислительно-восстановительных условий, сопровождалась изменением карбонатного состояния и характера элювиально-иллювиального распределения элементов.

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

Полученные нами данные по изменению экологических и структурных характеристик растительности в ходе постагрогенной сукцессии сходны с полученными для Смоленского Поозерья (Шошина и др., 2023), но более детальны для первых 30 лет сукцессии, так как основаны на большом числе привязок к возрасту на этом временном промежутке. Очень похожие по фактографии закономерности динамики растительности и почв выявлены в Костромской области (Телеснина, Климович, 2015), но в нашем исследовании более детализировано различие влияния зарастания разными древесными породами. Наиболее быстрое формирование лесного сообщества наблюдается при зарастании серой ольхой, ивняки и березняки сохраняют луговой характер напочвенного покрова, при большой доле серой ольхи в ивово-березняках и при раннем появлении хвойных пород в фитоценозах на 30-34-летних залежах могут единично присутствовать лесные виды (*Pyrola rotundifolia*). Выявлена большая роль широтного положения даже в пределах Ярославской области на видовой состав и соотношение видов на залежах. Впервые показано изменение ведущих факторов в ходе постагрогенной динамики растительности и дана привязка этого изменения ко времени сукцессии (примерно через 10 лет после начала сукцессии).

Впервые для региона получены количественные параметры связи между характеристиками растительности и почв в ходе постагрогенной сукцессии. Во многих исследованиях, посвященных формированию лесов на бывших пашнях, многочисленные детали быстрых изменений растительности до формирования сомкнутых лесов опущены (Наквасина, Голубева, 2015). В отличие от данных, полученных в Латвии (Rusina, Vambe, Daugaviete, 2011), в Ярославском Поволжье медленней идет сylvатизация, в большинстве случаев к 30–32 годам живой напочвенный покров остается луговым, изредка приобретает опушечный характер. Ни в одной опубликованной работе не встречено упоминания о разрастании влаголюбивых видов в ходе постагрогенной сукцессии. Выявленное появление гигрофитов и гигромезофитов на хорошо дренированных территориях без признаков заболачивания на исходном для постагрогенной сукцессии этапе связано с изменением водного режима почв. Специальный поиск признаков увеличения обилия или разнообразия южных видов на территории бывших пашен Ярославской области не выявил реакции растительности на потепление климата (разрастания относительно южных видов – неморальных и лугово-степных – не отмечено).

Новые результаты междисциплинарного анализа системы «почвы–растительность–климат» получены на основе актуализированных данных о биоклиматическом потенциале (БКП) территории, почвенно-экологическом индексе (ПЭи) и его составляющих, который позволил определить вклад каждого из них в динамику почвенных процессов, что существенно расширяет границы понимания процессов (Lopes de Gerenyu et.al., 2008). На основе актуализации классических агроклиматических индексов ПЭи и БКП до 2019 г., показана целесообразность использования именно комплексных показателей при выявлении связей в динамике климата почв (Сиротенко и др., 2013; Várallyay, 2010).

Заключение

Анализ полученных изменений свойств агропочв Ярославской области позволил сделать вывод, что их динамика за последние десятилетия может рассматриваться как результат совместного действия постагрогенеза и проявлений современных регионально-специфических тенденций глобального потепления. Наблюдается развитие дерновых процессов, появление новых морфологических признаков, изменения в структуре, карбонатном состоянии, составе органического вещества, динамичных компонентах почвы.

Определены различия в ходе и скорости постагрогенной сукцессии на градиенте в направлении север–юг Ярославской области. В ходе сукцессии выявлено изменение ведущих факторов, определяющих структуру растительности. Отмечено постоянное участие видов группы гигрофитов и гигромезофитов в сообществах залежей на

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

водоразделах, которое соотносится с морфологическим проявлением периодически анаэробных условий в почве. К 30-ти годам постагрогенной сукцессии в Ярославской области, несмотря на появление и развитие древостоя в живом напочвенном покрове, признаки сивлатизации единичны. При этом растительность залежей до 32-летнего возраста эффекта потепления климата не отражает.

Оценка достоверности воспроизведения климата в МОЦАО показала большой разброс данных конкретных моделей от реально наблюдаемых значений температуры воздуха, атмосферных осадков и влажности воздуха. Использование методики ранжирования статистических параметров «модель – наблюдения» позволила выбрать наилучшие модели для формирования ансамбля моделей, на основе которого выполнены расчеты агроклиматических характеристик на середину столетия.

Предложена концепция потенциального воздействия глобального потепления на агроресурсы современных пахотных и постагрогенных почв на основе ПЭи. Климатические характеристики, показавшие надежные эмпирические связи с параметрами почв, могут быть использованы как входные параметры при прогнозе на 2040–2050 гг. с помощью ансамбля моделей.

Обработанный полевой и аналитический материал лег в основу формирования комплексной базы данных, включающей почвенный, геоботанический и гидрометеорологический блоки. Такая база данных имеет большое значение для актуализации регионального агроэкологического потенциала залежей, что особенно важно в случае востребованности их вовлечения в сельскохозяйственный оборот и определения кадастровой стоимости сельскохозяйственных угодий.

Работа проведена при поддержке гранта РФФИ 19–29–05243.

Список литературы

1. Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса РФ 2021–2030. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=PNPA&n=54574&st=100020#0025214597522799753>).
2. Изменение климата: Обобщающий доклад. Вклад Рабочих групп I, II и III в Пятый оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата [основная группа авторов, Р.К. Пачаури и Л.А. Мейер (ред.)]. – МГЭИК, Женева, Швейцария, 2014 г. – 163 с.
3. Мелешко В.П., Говоркова В.А. Успешность расчета современного регионального климата с помощью ансамбля моделей СМIP3 и СМIP5 // Труды главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова, 2013. – Вып. 568. – С. 26–50.
4. Мохов И.И., Елисеев А.В. Моделирование глобальных климатических изменений в XX-XXIII веках при новых сценариях антропогенных воздействий RCP // Доклады Академии наук, издательство ФГБУ "Издательство "Наука" (Москва), 2012. – Т. 443, – № 6, – С. 732–736.
5. Наквасина Е.Н., Голубева Л.В. Идентификация постагрогенных лесов в НП «Кенозерский» // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия «Естественные науки». – 2015. – № 4. – С. 75–82.
6. Переведенцев Ю.П., Шерстюков Б.Г., Шанталинский К.М., Гурьянов В.В., Аухадеев Т.Р. Климатические изменения в Приволжском федеральном округе в XIX-XXI веках // Метеорология и гидрология. – 2020. – № 6. – С. 36–46.
7. Шопина О.В., Гераськина А.П., Кузнецова А.И., Тихонова Е.В., Титовец А.В., Бавшин И.М., Хохряков В.Р., Семенов И.Н. Стадии постагрогенного восстановления компонентов экосистем сосновых лесов национального парка «Смоленское Поозерье» // Почвоведение. – 2023. – № 1. – С. 20–34.
8. Сиротенко О.Д., Абашина Е.В., Павлова В.Н. Динамика климатообусловленных изменений теплообеспеченности, увлажненности и продуктивности земледельческой зоны

ПРОБЛЕМЫ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ
В ЕВРОПЕЙСКОЙ РОССИИ И СОПРЕДЕЛЬНЫХ СТРАНАХ

России // Агрометеорологическое обеспечение устойчивого развития сельского хозяйства в условиях глобального изменения климата. Труды ФГБУ ВНИИСХМ. Обнинск. – 2013. – Вып. – 38. С.41–53.

9. Телеснина В.М., Климович Е.Ю. Особенности постагрогенной динамики растительности в южной тайге (на примере Костромской области) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический, издательство Изд-во Моск. ун-та (М.), 2015. – Т. 120. – № 3. – С. 47–59.

10. Rusina S., Bambe B. & Daugaviete M. Changes in ground vegetation of arable lands under afforestation in Latvia // Baltic Forestry – 2011. – N 17. – pp. 243–255.

11. Lopes de Gerenyu V., Kurganova I., Kuzyakov Y. Carbonpools and sequestration in former arable Chernozems depending on restoration period // Ekologija. – 2008. – V. 54(4). P. 38–44.

12. Várallyay, G. The Impact of Climate Change on Soils and on Their Water Management // Agronomy Research. – 2010. – 8. – pp. 385–396.

13. WCRP, 2021. // URL: <https://wcrp-cmip.org/cmip-phase-6-cmip6/>

УДК 910.2:911.3

**НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРЫ
АГРОЛАНДШАФТА БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Тишков А.А.^{1,2}, Белоновская Е.А.¹ Кренке А.Н.¹, Некрич А.С.¹,
Суховеева О.Э.¹, Чвырев А.А.¹, Титова С.В.¹, Царевская Н.Г.¹**

¹ФБГУ Институт географии РАН, Москва, Россия

*²ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный
исследовательский университет», Белгород, Россия*

E-mail: tishkov@igras.ru

В 2022 г. в рамках программы «Приоритет 2030» и проектного кластера Института географии РАН, Института наук о Земле НИУ БелГУ и других участников сформирован блок проектной деятельности. Среди проектов Института географии РАН под общей «шапкой» «Адаптация модели регионального развития Белгородской области в условиях истощения природного капитала» для участия в настоящем консорциуме были выделены следующие: (1) Агроэкологическая оценка сельскохозяйственных земель Белгородской области и ее модельных территорий, (2) Новые подходы и методы управления гидролого-геохимическими процессами и восстановление водного режима, (3) Рекомендации по переходу на углеродно-нейтральное хозяйство, (4) Разработка рекомендаций по формированию экологического каркаса Белгородской области.

Из более 20 категорий рисков развития современного аграрного производства Белгородской области приоритетно были выделены следующие:

- рост засушливости южных и юго-восточных регионов области;
- истощение природного капитала, в т.ч. запасов почвенного гумуса и водных ресурсов;
- сокращение биоразнообразия, в т.ч. флористического пула для восстановления степей;
- снижение площади пашни и ее доли в структуре аграрных земель, рост эрозии почв и доли низкопродуктивной пашни;
- падение инвестиционной активности бизнеса в АПК;
- риски приграничного положения региона;
- сравнительно низкая суммарная площадь региональной сети ООПТ и отсутствие условий для создания экологического каркаса территории.