

503.1.1.	Номер проекта	19-29-05243
503.1.2.	Название проекта	Эволюционные процессы в постагрогенных почвах Ярославского Поволжья на фоне современных изменений климата
503.1.3.	Вид конкурса	Конкурс на лучшие научные проекты междисциплинарных фундаментальных исследований по теме «Фундаментальные проблемы исследования почв и управление почвенными ресурсами России» (26-905)
503.2.1.	Тема исследований	Фундаментальные проблемы исследования почв и управления почвенными ресурсами России
503.2.2.	Направление исследований	905.1. Влияние глобальных и региональных изменений климата на состояние почв Евразии в прошлом, настоящем и будущем
		<p>Основная фундаментальная научная задача, на решение которой направлен проект, 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. Современные изменения климата, беспрецедентные за последние тысячу лет и проявившиеся в последние четыре десятилетия на фоне естественной изменчивости, уже привели к изменениям увлажнения и термического режима почв. Учет климатического фактора почвообразовательного процесса становится особенно важным при направленных тенденциях в климатической системе. Как правило, такие детерминированные факторы формируют отклик в почвенном покрове, который, наряду с другими факторами и случайными зависимостями, может обеспечить новое свойство системы. В этом смысле предлагаемое исследование способствует решению и другой актуальной фундаментальной задачи – синергизм воздействий на «почвенную сукцессию» и, как следствие, новые закономерности эволюционных изменений почв. При этом важным является рассмотрение не только количественных показателей, но и качественная трансформация под влиянием глобальных тенденций. Решение такой задачи позволит перейти к перспективному прогнозу динамики почвообразования в связи с изменениями климата, исходя из предполагаемой новой климатической обстановки.</p> <p>Реализация данных фундаментальных задач в настоящее время возможно только на междисциплинарном уровне с привлечением специалистов смежных дисциплин (почвоведов, геоботаников, климатологов), изучающих почву как открытую и взаимодействующую систему «почва-растение-климат».</p>
503.3.	Цель и задачи проекта	
503.4.	Степень выполнения поставленных в проекте задач	дования за отчетный период выполнены полностью
503.5.	Важнейшие результаты, полученные при реализации проекта (с описанием их оригинальности и уникальности, а также значимости для развития междисциплинарных направлений, и их соответствие задачам темы исследований)	<p>Полевые исследования (исп. А.В. Русаков, Ю.В. Симонова, Д.М. Мирин)</p> <p>Проектом были запланированы и в полной мере завершены исследования в Пошехонском, Брейтовском, Угличском, Ростовском и Переславском районах Ярославской области. Маршрутные исследования проводились в рамках ретроспективного мониторинга эволюционных изменений почв вследствие смены землепользования на фоне региональных и глобальных климатических тенденций. Закладка современных почвенных разрезов была предусмотрена на местах разрезов, опробованных во время картографирования 1984–1990 гг. (Приложение_Расположение разрезов). На каждой из площадок закладывался 1 основной разрез и 8 прикопок. Заложение прикопок в дополнение к основному разрезу выполнялось с целью</p>

подтверждения репрезентативности пробоотбора и увеличения достоверности попарного сравнения точек хроноряда. Фотографии почвенных разрезов и ландшафтов в Переславском районе (заключительный этап полевых работ) приведены в Приложении (Фотографии разрезов и ландшафтов\_Переславский р-н). За время полевых сезонов работы над Проектом полевые маршрутные наблюдения были проведены на 44 площадках. Всего были выполнены описания 44 опорных разрезов и 352 прикопках (Приложение\_Описание разрезы Переславский р-н). На комплекс общих анализов из основных разрезов всего было отобрано 348 образцов из опорных разрезов. Помимо этого, отбирались образцы ненарушенного сложения на мезо- и микроморфологический анализ, образцы на плотность сложения (в 3-х кратной повторности), определялся цвет почвы с помощью цветовой шкалы Манселла. Все образцы анализировались параллельно с образцами первичного почвенного обследования (отбор в период 1984–1990 гг.) в количестве 194 шт. В образцах основных разрезов и «архивных» образцах были определены гранулометрический, микроагрегатный и валовой состав, выполнен CHN-анализ, определена плотность сложения, содержание обменных оснований, карбонатов, подвижных форм фосфора и калия, почвенная кислотность.

На пробных площадях размером 20×20 м с центром на опорном разрезе почвы описана растительность. Древесные ярусы в случае их наличия количественно описаны на всей пробной площади. Травяной и моховой ярусы описаны на серии учетных площадок, привязанных к 3-метровым окрестностям лицевых стенок опорного разреза и 8 прикопкам, по углам и серединам сторон пробной площади. Характеристика растительности у каждого опорного разреза позволяет построить сопряженную схему постагрогенной динамики растительности и почв, что необходимо, исходя из представлений о сильном взаимном влиянии этих компонентов биогеоценоза. С каждой пробной площади отобраны образцы мохообразных для идентификации видов. На пробной площади или из ее окрестностей в пределах однородного по растительности контура пробурены визуально самые старшие деревья, по годичным кольцам определен их возраст. В случае отсутствия взрослых деревьев и наличия подроста максимальный возраст присутствующих древесных растений определен путем подсчета годичных приростов на побеге. Определение максимального возраста древесных растений показывает минимальную давность прекращения распашки. При отсутствии сенокосения и интенсивного выпаса время первого успешного заселения бывшей пашни древесными растениями составляет от 1 до 5 лет, что позволяет использовать 5-летние классы времени прохождения постагрогенной сукцессии.

## I. Результаты почвенного блока

1. Характеристика морфометрической и морфологической организации почв залежей, основные и индикаторные виды растений (исп. А.В. Русаков, Д.М. Мирин, Ю.В. Симонова).

Завершены работы по сравнительному анализу морфометрических показателей и морфологических признаков профилей 44 разрезов ранее автоморфных пахотных почв из Пошехонского, Брейтовского, Угличского, Ростовского и Переславского районов. В настоящее время 38 из них представляют собой ряд разновозрастных залежей от 3–5 до 30–34 лет, а 6 – продолжает использоваться под пашню.

Согласно агроклиматическому районированию Ярославской области первые два района относятся к северному, остальные три – к южному агроклиматическому району. В меридиональном отношении наибольшая удаленность разрезов друг от друга составляет ~ 200 км. Изученные почвы под залежами представляли собой постагрогенные разности дерново-подзолистых, темносерых, серогумусовых,

темногумусовых почв и агроземов на четвертичных супесчано-суглинистых однородных и двучленных породах различного генезиса (Приложение\_Описание разрезы Переславский р-н; Приложение\_Морфология-гидроморфизм-растения\_структурное состояние). Почти у половины профилей изученных почв (43%) диагностировано наличие уже через 10 лет вновь образованных верхних серогумусовых АУра (они преобладают в выборке, средняя мощность – 10 см) и в редких случаях – темногумусовых АУра горизонтов (средняя мощность – 16 см) у почв 15-летних залежей. Итак, мы можем констатировать 10-15-летний срок после снятия антропогенной нагрузки как достаточный для того, чтобы верхняя часть постагрогенной толщи имела сходные черты с естественными горизонтами АУ и АУ лесных почв, характеризующимися комковатой (зернистой) структурой, хорошей порозностью и благоприятными водно-воздушными свойствами, что в целом свидетельствует о проградационном тренде эволюционной трансформации почв. Как правило, под горизонтами АУра и АУра залегают пахотные постагрогенные слои; они же полностью слагают прогумусированную толщу в случае отсутствия указанных выше горизонтов. Установлено, что у трети изученных разрезов имеется лишь один постагрогенный горизонт; в этом случае его средняя мощность не превышает 29 см. С увеличением мощности бывшей пахотной толщи в среднем до 31 см у 57% изученных профилей появляются 2 постагрогенных горизонта. В 11% случаев при увеличении исходной пахотной толщи в среднем до 33 см диагностируются уже 3 постагрогенных слоя. Таким образом, почти у 70% изученных почв наблюдалась дифференциация бывшей пахотной толщи на 2–3 постагрогенных слоя, нижний из которых отличался светло-серой окраской, тенденцией к плитчатой и листовато-плитчатой структуре, появлением отбеленных зон. Этот набор признаков говорит о проявлении элювиальных процессов. В ряде случаев в постагрогенных горизонтах присутствуют припаханные фрагменты нижележащих горизонтов срединных частей профиля. Зачастую пятна припашки имеют различной степени диффузные границы относительно вмещающей толщи (на макро-, мезо- и микроуровне), что свидетельствует об инициации процесса дезинтеграции припаханных глинистых морфонов. Стадии деградации и ассимиляции глинистого материала в постагрогенных горизонтах наблюдаются уже у почв 12-15-летних залежей. Микроморфологическая диагностика позволила выделить три стадии деградации и ассимиляции глинистого вещества морфонов: слабую, среднюю и сильную (продвинутую); выявлено, что у постагрогенной почвы под 17-летней залежью продвинутая стадия ассимиляционного процесса глинистых морфонов выражена до отдельных папул, интегрированных во внутриведную массу постагрогенных горизонтов. Также на уровне микростроения в постпахотных горизонтах имеются признаки зональной прогумусированности. Характерной особенностью почв изученного постагрогенного ряда является наличие устойчивых морфологических признаков оглеения, не диагностируемых ранее у автоморфных агропочв до перевода их в залежь. Такие изменения выявлены в 54% случаев, причем практически все изученные почвы с признаками гидроморфизма выявлены в Пошехонском, Брейтовском и отчасти Угличском районах, то есть в основном в пределах северного агроклиматического района Ярославской области. О режиме переувлажнения на макро- и мезоуровне говорит наличие сизых пятен и сизый оттенок в основном цвете. Во многих случаях было обнаружено не собственно оглеение, а периодическое оглеение, то есть чередование периодов переувлажнения-высыхания или процессов восстановления-окисления, о чем свидетельствует сегрегация Fe и Mn. Многочисленные Fe пятна (до 10 мм), Fe-Mn примазки и мелкие Fe-Mn конкреции (3–5 мм), особенно обильные в белесоватой части из припаханного материала, наблюдаются как во внутриведной массе,

так и по стенкам структурных отдельностей.

Морфологические изменения окислительно-восстановительного режима в сторону застоя влаги диагностировались и на микроуровне. В шлифах из постпахотных горизонтов наблюдалось обилие различных Fe новообразований: нодули, стяжения и пятна разной формы. Зоны с неоднородными Fe новообразованиями указывают на проявление активного процесса оксидогенеза, приуроченного к более оглиненно-гумусированным зонам. В срединных горизонтах на уровне микростроения заметно разделение на сизоватые и ожелезненные зоны, зонально выражено обезжелезивание. Стяжения Fe представлены нодулями, гроздьями нодулей и пятнами. Наличие зон с высокой степенью оптической ориентации глины струйчатого типа свидетельствует о современном процессе локальной подвижности глины вблизи магистральных пор при оглеении.

Признаки гидроморфизма выражены в основном у суглинистых или у супесчаных почв при близком подстилании тяжелосуглинистой породой, но не затрагивают разности с легким гранулометрическим составом, в которых сформированы горизонты АУра и АУра. Это говорит о том, что хорошая степень естественного дренажа при переводе пашни в залежь также способствует активному процессу гумусонакопления и формирования хорошо оструктуренного постагрогенного гумусового горизонта.

Среди глееватых залежных почв лишь в 26% случаев признаки гидроморфизма локализованы в постагрогенных пахотных горизонтах. У остальных разрезов примерно в равной доле признаки оглеения охватывают как весь профиль, так и проявляются только в срединной и нижней его частях. Уровень верховодки установился в среднем на глубине ~1,0 м; важно, что полевые работы проводились в основном в летнее время, когда наблюдался низкий меженный уровень речной сети.

В ходе выполнения Проекта удалось провести сравнительный морфолого-генетический анализ (мезо- и гидроморфология) исходно автоморфных агропочв и почв под залежами в отношении их карбонатного состояния. Различия в карбонатном состоянии почвы между обследованиями 1980–1990 гг. и 2019–2022 гг. нашло отражение в изменении морфологии почв многих разрезов на карбонатной литогенной основе (покровные суглинки, подстилаемые карбонатной мореной, карбонатная морена и т.д.). Проведенные ранее исследования черноземов юга Центральной России установили, что повышение степени климатического увлажнения за 30–40 лет очень заметно сказывалось на карбонатном состоянии почв (Bazykina, Ovechkin, 2016). Увеличение глубины и частоты сквозного промачивания вызывало систематическое образование верховодки, подъем грунтовых вод и развитие глеевых процессов в надконтактной зоне профилей черноземов на литогенно неоднородных породах. В нижней части почвенной толщи при этом появились оливковый оттенок в окраске, Fe и Fe-Mn конкреции, сизые кутаны. Длительное переувлажнение привело и к перестройке карбонатного профиля – изменению положения верхней границы карбонатного горизонта и форм карбонатных новообразований. Формы карбонатов трансформировались в сторону миграционных форм, таких как мицелий, крупные светлые пятна с плотным ядром, прожилки и каналы с окарбоначенными стенками, пропиточные пятна в виде полос.

Другими исследованиями на юге лесостепи Среднерусской возвышенности (Smirnova et al., 2019) были выявлены динамические колебания линии вскипания у черноземов в результате повышения регионального ГТК, что привело к изменению таксономической принадлежности почв на уровне подтипа.

Аналогичные тенденции в отношении изменения морфологических форм карбонатов наблюдаются и в изученных нами почвах.

Выявлено, что, как правило (66% случаев), в верхней части профиля

залежных почв сформирована дернина средней мощностью до 5 см; морфологически четко она выражена на залежах, начиная с возраста 7–9 лет. Дернину формирует весь травостой, но основную роль в ее формировании играют дерновинные злаки и осоки. Наблюдалась тенденция уменьшения общего проективного покрытия (ОПП) трав в дернине в ряду Пошехонский – Брейтовский – Угличский – Ростовский районы (то есть в направлении север–юг). Величины ОПП трав в дернине составили 83–100, 76–97, 75–95 и 80–96%, соответственно. Аналогично, но в большей степени, уменьшалось и суммарное проективное покрытие дерновинных трав в указанном ряду в соотношении 30–92, 28–41, 5–63 и 3–61%, соответственно. Видовой состав и обилие отдельных видов растений на описанных залежах в разных районах Ярославской области несколько различался. Причем выявленные различия вызваны несколькими факторами, роль которых необходимо будет уточнить на заключительном этапе выполнения проекта. Во-первых, зафиксировано уменьшение обилия главных рыхлодерновинных трав, играющих ведущую роль в формировании дернины – *Festuca pratensis*, *F. rubra*, *Phleum pratense*, *Agrostis tenuis*, *Anthoxanthum odoratum*, *Alopecurus pratensis*, а также рыхлодерновинных луговых осок. Причина снижения обилия этой группы видов на градиенте север–юг в пределах Ярославской области пока не установлена. Во-вторых, на градиенте от Пошехонского и Брейтовского районов, находящихся большей частью на отрогах возвышенностей в направлении к Угличскому району, значительная часть которого располагается на Западно-Заволжской озерно-ледниковой низине, происходит уменьшение участия относительно неустойчивых к периодически анаэробным почвенным условиям видов (*Artemisia vulgaris*, *Briza media*, *Calamagrostis epigejos*, *Campanula glomerata*, *Campanula persicifolia*, *Carum carvi*, *Centaurea jacea*, *C. phrygia*, *Heracleum sosnowskyi*, *Hieracium umbellatum*, *Hypericum maculatum*, *Leontodon hispidus*, *Origanum vulgare*, *Pimpinella saxifraga*, *Solidago virgaurea*, *Trifolium medium*, *Veronica chamaedrys*, *Vicia tetrasperma*). Возможно, уменьшение участия дерновинных трав хотя бы отчасти вызвано данной причиной. По этой же причине в том же направлении появляются или увеличивают свое обилие на залежах влаголюбивые виды – гигрофиты и гигромезофиты, а также мезофиты, выдерживающие временное затопление и в естественных местообитаниях характерные для пойменных лугов (*Agrostis gigantea*, *Athyrium filix-femina*, *Calamagrostis canescens*, *Equisetum palustre*, *Impatiens noli-tangere*, *I. parviflora*, *Juncus effusus*, *Persicaria maculosa*, *Urtica dioica* и др.). Выявлено, что в более влажных условиях сукцессия растительности идет быстрее и раньше формируется лесное сообщество на месте заброшенной пашни. Более активное формирование лесной среды в Угличском районе является третьей причиной изменения обилия трав на вышеуказанном градиенте от Пошехонского до Угличского районов. В этом направлении увеличивается в целом участие лесных и опушечных видов в составе фитоценозов на залежах до 32 лет давности забрасывания пашни (*Adoxa moschatellina*, *Athyrium filix-femina*, *Circaea alpina*, *Dryopteris carthusiana*, *D. filix-mas*, *Elymus caninus*, *Festuca gigantea*, *Glechoma hederacea*, *Gymnocarpium dryopteris*, *Impatiens noli-tangere*, *I. parviflora*, *Moehringia trinervia*, *Paris quadrifolia*, *Pyrola rotundifolia*, *Rubus saxatilis*, *Scrophularia nodosa*). Увеличение покрытия мохового яруса на указанном градиенте может быть связано не с повышением влажности почвы, а с более лесным характером растительности и меньшим участием дерновинных злаков, отрицательно влияющих на обилие мохообразных.

Проведенные комплексные междисциплинарные исследования площадок выявили тесную связь между устойчивыми признаками гидроморфизма в постагрогенных почвах с наличием и участием в проективном покрытии влаголюбивых трав (ВТ), устойчивых к временному дефициту кислорода у корней (гигрофиты и

гигромезофиты) (Приложение 4\_Морфология-гидроморфизм-растения и структурное состояние - Отчет 2021). Так, если оглеение выражено только в гумусированной толще, то указанные выше представители ВТ имеют долю в проективном покрытии в пределах 0,2–18,3%; если признаки оглеения охватывают срединные и нижние части профилей – то доля ВТ увеличивается до 0,9–25,3%. Наконец, если оглеен весь почвенный профиль, то участие ВТ в проективном покрытии этих почв увеличивается до 2,0–36,0%. Процессы оглеения были диагностированы в почвах уже через 3–5 лет после снятия агрогенной нагрузки, что нашло отражение присутствием значительной доли гигрофитов и гигромезофитов в проективном покрытии. Отмечено, что в автоморфных почвах действующих пашен доля ВТ не превышала 0,1–4,4%.

2. Изменение структурного состояния почв в процессе постагрогенной трансформации (исп. А.В. Русаков, Ю.В. Симонова, А.И. Попов, А.Г. Рюмин).

Выявлены тренды эволюционных изменений агрегатного состояния и некоторых базовых свойств агропочв при переводе их в залежное состояние в двух аспектах: 1) оценка характера и степени изменения свойств в пределах бывшей пахотной толщи (сравнение верхнего и нижнего слоев); 2) оценка степени трансформации свойств почв в период постагрогенеза.

В качестве объектов исследования послужили архивные образцы агропочв, отобранные при крупномасштабном почвенном картографировании землепользований хозяйств в течение 1986–1990 гг. в Пошехонском, Брейтовском и Угличском районах.

Исследованные почвы сформированы на однородных и двучленных почвообразующих породах четвертичного возраста широкого спектра, которые различаются по гранулометрическому составу (от песков до суглинков, доминируют супесчаные и легкосуглинистые разности). В обработку были включены 21 разрез почв залежей и 16 пар мониторинговых разрезов (пашня-залежь).

В работе применяли наиболее полный набор показателей, используемых для интерпретации данных двух сопряженных анализов – микроагрегатного и гранулометрического и оценки структурного состояния почв: степень агрегатности по Бейверу и Роадесу (Ка); степень агрегированности по Бейверу (Кб); показатель микроструктурности по Даниловой (М); коэффициент общей агрегированности по Водяницкому (Коа); число агрегации по Пустовойтову (П). Удельная поверхность (УП) определялась расчетным способом на основе содержания гумуса (Г) и фракции физической глины (Приложение\_Морфология-гидроморфизм-растения\_структурное состояние). Все изученные нами почвы разновозрастных залежей и их реперные аналоги были объединены в две группы. Первая включала в себя супесчаные разности, то есть почвы, имеющие легкий гранулометрический состав и сформированные на супесчано-песчаных однородных и двучленных отложениях. Вторая группа включала почвы суглинистого (в основном легкосуглинистого) гранулометрического состава как на однородных суглинисто-глинистых, так и на двучленных породах различного генезиса. Необходимость разделения объектов исследования на две группы обусловлена тем обстоятельством, что в организации структуры (особенно микроагрегатов) основная связующая роль между пылеватыми и песчаными частицами отводится илистым частицам. Это определяет устойчивость и стабильность агрегатов, а также позволит определить характер и тренды постагрогенной трансформации почв после снятия антропогенной нагрузки.

Для супесчаных почв, находящихся под залежами, выявлено существенное улучшение структурного состояния почв, а также увеличение площади удельной поверхности и содержания гумуса (проградационные процессы), фиксируемые в верхних слоях

постагрогенной толщи по сравнению с нижними. Эта тенденция усиливалась с возрастанием срока залежей. Мониторинговые исследования в ряду пашня-залежь также показали улучшение агрофизических свойств, увеличение площади удельной поверхности и содержания гумуса в процессе постагрогенной трансформации. Тренд изменения постагрогенных суглинистых почв, как и в случае с супесчаными разностями, с одной стороны, проявился в вертикальной дифференциации изученных свойств в пределах постагрогенной толщи. По сравнению с нижними слоями в верхних слоях постагрогенной толщи отмечено улучшение оструктуренности, увеличение площади удельной поверхности и содержания гумуса. Полученные нами данные подтверждают ранее проведенные исследования, что зарастание агродерново-подзолистых почв в таежно-лесной зоне приводит к дифференциации пахотного слоя: на верхнюю его часть накладывается дерновый процесс почвообразования, а в нижней его части проявляется подзолистый процесс (Леднев, Дмитриев, 2017; Леднев и др., 2020), диагностированный нами также при проведении мезоморфологического изучения. Полученные данные представляются важными в отношении стратегии использования земельных ресурсов региона при переводе почв многолетних залежей в пахотное состояние, а именно – большая рефлекторность супесчаных почв на снятие постагрогенной нагрузки в отношении улучшения их структурного состояния и базовых почвенных свойств. В методологическом отношении среди перечня из пяти параметров агрегатного состояния почв (на основе микроагрегатного и гранулометрического анализов) лишь один параметр –Кб, наиболее информативно отразил степень трансформации микроструктурного состояния как для супесчаных, так и для суглинистых почв в ряду «верх»-«низ» постагрогенной толщи и в хроноряду пашня-залежь (по данным двухфакторного дисперсионного анализа). По-видимому, именно параметр Кб можно использовать в качестве универсального в исследованиях подобного рода.

3. Оценка агроэкологического состояния почв и тренды эволюционных изменений на основе почвенно-экологического индекса (ПЭи) (исп. А.В. Русаков, Ю.В. Симонова, А.И. Попов, А.Г. Рюмин, Н.А. Лемешко)

Проведенные исследования позволили объективно и с большим пространственным разрешением оценить агроэкологическое состояние автоморфных почв ряда районов Ярославской области по состоянию на 1984–1990 гг. и выявить его изменения к 2019–2020 гг. В целом дерново-подзолистые почвы IV тура оценки земель характеризовались низким содержанием гумуса, низкой и средней обеспеченностью элементами питания, классифицировались как средне- и слабокислые.

Ранжирование почв по баллам ПЭи показало, что в группах с более низким баллом больший вклад вносит климатическая (К) составляющая, тогда как в группах с более высоким баллом возрастают доли агрохимической (А) и почвенной (П) составляющей. Более того, в этом случае доля П-составляющей может превышать долю К-составляющей.

Оценка на основе баллов ПЭи показала, что почвы значительно различаются по своему агроэкологическому потенциалу. Так, в Пошехонском и Брейтовском районах выше доля почв со средним баллом ПЭи от 20 до 39, а в Угличском — от 30 до 49.

На основании обработки большого массива эмпирических данных с помощью метода главных компонент установлено, что набор исходных переменных, используемый в модели плодородия ПЭи, является статистически обоснованным, одновременно позволяя охватить региональное педо- и литоразнообразие. Изменчивость

набора переменных, используемых для расчета А- и П-составляющих ПЭи, лучше объясняется различиями литологического фактора, чем принадлежностью к району исследования или степенью оподзоленности.

Вклад климатической составляющей ПЭи при сравнении почв двух периодов обследования демонстрирует возрастающую тенденцию: отчетливо проявляется увеличение значений К-составляющих для всей территории исследования – на 10–15% за очень короткий, по меркам почвообразования, 30-летний период. Основной причиной роста К-составляющей является рост термических ресурсов, который приводит к увеличению суммы температур воздуха за вегетационный период на 180–200 °С на фоне незначительных изменений режима увлажнения.

Для почв Пошехонского, Брейтовского и Угличского районов при рассмотрении хронорядов пашня–пашня выявлены четкие деградационные процессы, выраженные в дегумификации, увеличении потенциальной кислотности, снижении содержания подвижных форм фосфора и калия, появлении глееватых разностей, что, несмотря на возрастание К-составляющей, привело к снижению величин ПЭи. В хронорядах пашня–залежь на суглинистых разностях отсутствовал единый тренд в отношении содержания гумуса, но диагностировалась тенденция к подкислению (по показателю рН<sub>сол</sub>), обеднению подвижными формами фосфора и калия, развитию гидроморфизма. В подавляющем большинстве случаев все это вызывало снижение итогового балла ПЭи. Одновременно, в хронорядах пашня–залежь на супесчаных разностях отмечено увеличение содержания гумуса, уменьшение содержания элементов питания, отсутствие тенденции в отношении потенциальной кислотности.

В ходе исследования подтверждено, что литологический фактор во многом является лимитирующим для агроэкологической оценки почв для Нечерноземной зоны ЕТР. В агропочвах литогенная основа продолжает сохранять свое значение для обеспечения их водного и воздушного режимов, а также обменных свойств, важных для закрепления элементов питания и их доступности растениям. Литогенное разнообразие как фактор потенциального почвенного плодородия был отдельно оценен на примере массива данных по пахотным почвам, обследованным в 1980–1990-е гг. В статистическую обработку были включены важные в агрономическом отношении показатели (содержание гумуса, рН<sub>сол</sub>, обменные фосфор и калий) по более чем 360 почвенным разрезам. Разрезы были представлены агродерново-подзолистыми почвами разной степени подзолистости, сформированными на различных почвообразующих породах, наиболее характерных для водораздельных пространств исследуемой территории.

В зависимости от литогенной основы почвы были разделены на 10 групп. Анализ средних и медианных значений по всем почвам вместе и по каждой группе в отдельности показал, что почвы, развитые на покровных суглинках по всем показателям занимают среднее положение среди всех групп. Достаточно близкие к ним показатели имеют почвы на морене. Наиболее благоприятными в отношении содержания обменного фосфора и калия являются почвы на карбонатной морене и покровных суглинках, подстилаемых мореной. Почвы на карбонатной морене кроме того обладают наименьшей среди всех почв кислотностью, а почвы на покровных суглинках, подстилаемых мореной — максимальным содержанием гумуса. При сравнении почв на легких породах водно-ледникового генезиса и водно-ледниковых отложениях, подстилаемых мореной, обнаружено значительное улучшение свойств последних до уровня выше среднего. Улучшение свойств отмечено нами и в агропочвах на покровных суглинках при подстилании их мореной.

Показателями ниже среднего уровня значений обладают почвы на



водно-ледниковых отложениях, озерных супесях и озерных супесях, подстилаемых покровными суглинками. Подстиание покровными суглинками в последнем случае не приводит к улучшению их свойств. Минимальные значения по всем показателям демонстрировали почвы на водно-ледниковых отложениях, перекрытых мореной. В естественных ненарушенных почвах все проанализированные показатели исходно обусловлены фактором литогенной матрицы, но и в агропочвах, при внесении удобрений, литогенная основа продолжает сохранять свое значение за счет обеспечения водного и воздушного режима и обменных свойств почвы.

#### 4. Характеристика изменения почвенного органического вещества (исп. А.И. Попов).

Для оценки постагрогенной трансформации почвенного органического вещества (ПОВ) почв залежей и пахотных почв (1984–1990 гг.) впервые были использованы: хемодеструкционное фракционирование (ХДФ, Роров, Rusakov, 2016) и определение содержания фотосинтетических пигментов (хлорофиллов а и b, феофетинов и каротиноидов), а также пигментный индекс Маргалефа. Как было выявлено, в почвах залежей в отдельных случаях в органическом веществе увеличивалась доля легкоокисляемой фракции, играющей важную роль в агроэкологическом функционировании почвы. Кроме того, с увеличением приращения количества легкоокисляемых органических соединений в постагрогенных почвах улучшалось «физиологическое» состояние почвенных водорослей, вычисленное на основе пигментного индекса Маргалефа. В целом были установлены разнонаправленные тренды изменения гумусового состояния постагрогенных почв в течение последнего 30–35-летнего климатического цикла, развитых на контрастных литогенных основах.

Для Угличского района было установлено достоверное различие почв исследованного хроноряда как по общему содержанию органического вещества, так и по содержанию его трудноокисляемых компонентов. Увеличение доли трудноокисляемых компонентов в современных почвах по сравнению с первым периодом обследования, по всей видимости, связано развитием в них анаэробных условий. Выдвинуто предположение, что метод ХДФ обладает слишком высокой чувствительностью к динамике качественного состава ПОВ и может откликаться на сезонные колебания его состава, что трудно учесть в рассматриваемых хронорядах. Поэтому впоследствии изменение состава ПОВ в почвах Пошехонского района было оценено по содержанию гломалинов (Гл) и гуминовых веществ (ГВ), определенных с помощью нового, разработанного нами метода (Tsivka et al., 2021). При сравнении результатов первичного (пахотные почвы) и современного обследования (разновозрастные залежи) была отмечена общая тенденция увеличения как абсолютного содержания Гл и ГВ, так их долей от величины потерь при прокаливании. Поскольку содержание Гл в почве в основном обусловлено деятельностью арбускулярных микоризных грибов, то увеличение их доли в составе ПОВ говорит об усилении микоризации растений, населяющих современные почвы. Изменение доли ГВ в составе ПОВ указывало на изменение темпов гумификации, что может быть следствием как смены гидротермического режима, так и смены характера землепользования. По крайней мере, случаи снижения доли ГВ по сравнению с первичным периодом обследования относятся именно к почвам, длительно находящимся в залежном состоянии.

#### 5. Базовые свойства почв и их изменения в период постагрогенеза на фоне климатических изменений (Ю.В. Симонова).

Оценка возможных изменений почвенных свойств между двумя периодами обследований проводилась путем сравнения показателей

агрохимических свойств почвы, содержания обменных катионов, карбонатов и содержания элементов валового состава почвы. Всего в рамках Проекта были изучены почвы пяти районов Ярославской области: Пошехонского, Брейтовского, Угличского, Ростовского, Переславского.

При сравнении пары разрезов, образующих хронологический ряд, в котором один из разрезов относится к первому этапу обследования (1984–1990 гг.), а другой – ко второму (2019–2022 гг.) в той же пространственной точке, даже при достаточно точной привязке на местности могут наблюдаться расхождения в морфометрии профилей, вызванные природной вариабельностью. Поэтому было предложено сравнивать значения показателей, полученных в результате анализа проб не с определенных глубин отбора, а в виде величин этих показателей, усредненных по частям профиля (A, E, B, C, D). Далее статистическая обработка проводилась с помощью дисперсионного анализа для непараметрических данных. Значимость различий определялась по критерию Уилкоксона (Wilcoxon signed rank test with continuity correction) (Приложение\_Почвы. Результаты статистической обработки).

Статистически значимые различия между результатами первого и второго периодов обследования были установлены для целого ряда сравниваемых показателей. В числе прочих выявлены тенденции в отношении свойств, составляющих агроэкологический потенциал, оценка которого важна для принятия решения о вовлечении почв в сельскохозяйственный оборот. Так, за период, прошедший между обследованиями, отмечено значимое снижение актуальной кислотности (возрастание рНводн) и небольшое снижение показателей потенциальной кислотности (обменная и гидролитическая кислотность). Величина рНсол, наоборот, уменьшилась, что выглядит несколько противоречиво, однако объяснимо территориальными различиями в изменении этого показателя. Так, заметное снижение рНсол произошло в Пошехонском, Угличском и Ростовском районах, а в Брейтовском районе и самом южном районе Ярославской области Переславском сохранилось на прежнем уровне. В целом изученные почвы на современном этапе характеризуются относительно низкими величинами кислотности в пределах слабокислой и нейтральной реакции среды.

В почвах на карбонатных породах (покровные суглинки, карбонатная морена и покровные суглинки на морене) выражена тенденция роста содержания карбонатов (Приложение\_Почвы. Результаты статистической обработки), более четкая, если сравнивать нижние части профиля (BC/C/Csa/D). Однако различие в содержании карбонатов не было определено как статистически значимое по критерию Уилкоксона за счет исходно высокого варьирования количества литогенных карбонатов (журавчики, карбонатные обломки).

Изученные почвы отличаются невысокими величинами обменных катионов, и тем не менее, за прошедший между обследованиями период величина обменного кальция достоверно выросла при одновременном незначительном снижении обменного магния. По-видимому, увеличение содержания обменного кальция и рНводн связано с общим эффектом усиления окисленности профиля. Морфологически это проявилось в трансформации форм карбонатных новообразований в сторону увеличения диффузных форм на фоне появления в ранее автоморфных почвах гидроморфизма. Для почв на покровных суглинках наряду с литогенными журавчиками было характерно появление карбонатных точек, прожилок, дисперсного кальцита. Такие формы приурочены к сизым зонам оглеения и являются результатом вторичного переосаждения кальцита в зонах с локальным переувлажнением. Первичные карбонаты, заключенные в толще моренного материала, также подверглись локальному растворению, осаждению и перекристаллизации кальцита.

Перечисленные изменения были отмечены на макро-, мезо- и микроуровне структурной организации (Simonova et al., 2021). Современное гидрогенное накопление карбонатов было установлено нами и в гидроморфных почвах, развитых на озерных отложениях низких террас оз. Неро, исследованных в Ростовском районе (Симонова и др., 2022).

Оценка важных с точки зрения агрохимических свойств показателей обменного фосфора и калия выявила неблагоприятные тенденции их снижения, уже показанные нами ранее в рамках выполнения Проекта для почв Пошехонского, Брейтовского и Угличского районов (Rusakov et al., 2021, 2022). Снижение обменного фосфора было оценено как статистически значимое и отмечено в изученных районах повсеместно; в большей мере оно затронуло почвы Переславского и в меньшей – Ростовского района. Снижение обменного калия выявлено во всех районах, кроме Переславского, где этот показатель, наоборот, существенно вырос, поэтому различие между периодами обследования при рассмотрении всей выборки почв не было оценено как значимое (Приложение\_Почвы. Результаты статистической обработки).

В отношении содержания Сорг и N выявлены более противоречивые тенденции. В пределах каждого из изученных районов в ряде случаев наблюдалось уменьшение этих показателей, в ряде – увеличение, в остальных – сохранялось на уровне результатов первого обследования. Поэтому в целом по области различие показателей Сорг и N между периодами обследования было определено как статистически не существенное. На современном этапе изучения почвы характеризуются невысокими показателями Сорг и N, типичными для дерново-подзолистых почв. Более высоким содержанием Сорг и N характеризуются почвы южных районов Ярославской области – Ростовском и Переславском.

Неожиданно высокой оказалась динамика данных валового состава (Приложение\_Почвы. Результаты статистической обработки), тогда как последний считается относительно устойчивым признаком почвы и обычно не применяется при оценке коротко- и средневременных изменений в хронорядках. Значимые различия при сравнении результатов почв первого и второго периодов обследования установлены для валового содержания оксидов кальция, магния, калия, кремния, титана и железа (Приложение\_Почвы. Результаты статистической обработки).

Содержания оксидов калия, титана и алюминия имеют очень тесную корреляционную взаимосвязь между собой ( $r$  от 0.8 до 0.9), что говорит об их присутствии в составе совместных минералов.

Увеличение их содержания по сравнению с периодом первого обследования указывает на возможные процессы трансформации минералов, итогом которых является обогащение профиля этими элементами.

Обогащение почв современного периода изучения оксидами кальция, с одной стороны, свидетельствует об усилении его биогенного накопления за счет снятия агрогенной нагрузки, с другой стороны, является следствием увеличения содержания гидрогенных диффузных форм карбонатов и отражает увеличение содержания обменных форм кальция.

Некоторое накопление в профиле обнаружили оксиды магния и железа, имеющие тесную корреляционную взаимосвязь как между собой, так и с илистой фракцией, что говорит об их относительно высокой миграционной способности. Увеличение содержания этих оксидов наблюдалось во всех изученных районах, кроме Ростовского. Аналитически определенное повышение содержания железа хорошо согласуется с визуальными наблюдениями на макро-, мезо- и микроуровне. Почвы современного периода изучения отличались обилием железистых нодулей, стяжений и пятен.

Для определения фактора, ответственного за изменение тех или иных

почвенных свойств, полученные данные в виде рядов из соответствующих разностей между показателями первого и второго обследования были разделены на группы. В качестве группирующих факторов были выбраны следующие: F1 – возраст залежи, лет; F2–F17 – разница метеопараметров в изученных районах между периодами обследования: F2 – T<sub>ср</sub>, ° C; F3 – сумма T > 0° C; F4 – сумма T > 5° C; F5 – сумма T > 10° C; F6 – сумма осадков за период с T > 10° C (мм); F7 – сумма осадков за год (мм); F8 – число дней со среднесут. T > 0° C; F9 – вегет. период, дни; F10 – годовая сумма дефицитов увлажнения (мм); F11 – ГТК Селянинова; F12 – коэффициент увлажнения по Шашко; F13 – БКП (1000°С); F14 – БКП (3100°С); F15 – абс. мин T; F16 – абс. макс T; F17 – ИК Горчинского.

Для определения изменений климатических параметров использовались данные метеостанций, ближайших к площадкам исследования. Статистическая обработка проводилась с помощью дисперсионного анализа, в котором влияние каждого из факторов рассматривалось отдельно. В качестве непараметрического аналога дисперсионного анализа использовался ранговый анализ по Краскеллу-Уоллису (Kruskal-Wallis rank sum test), допускающий отклонение распределения данных от нормального. При уровне значимости  $p < 0.05$  различия в сравниваемых группах рассматривались как статистически значимые (т.е. влияние фактора было существенно).

В зависимости от времени забрасывания (возраст залежи) почвы были разделены на пять групп: 1 – почвы под пашней; 2 – с возрастом залежи до 10 лет, 3 – с возрастом залежи от 10 до 20 лет; 4 – с возрастом залежи от 20 до 30 лет; 5 – с возрастом залежи более 30 лет. Результат анализа по критерию Краскелла-Уоллиса показал значимость фактора возраста залежи (F1) для следующих почвенных переменных: показатели потенциальной кислотности (pH<sub>сол</sub>, обменная и гидролитическая кислотность), обменный кальций, содержание органического вещества и азота, валовое содержание оксидов натрия и фосфора (Приложение\_Почвы. Результаты статистической обработки).

Рассмотрение временной динамики перечисленных показателей (Приложение\_Почвы. Результаты статистической обработки) выявил следующие тенденции. Современные почвы под пашней обладают более низкими величинами pH<sub>сол</sub> и более высокой обменной и гидролитической кислотностью по сравнению с пахотными почвами первого обследования. На первом этапе забрасывания (возраст залежи до 10 лет) эти показатели становятся более благоприятными, и далее, по мере увеличения длительности забрасывания, снова ухудшаются. Содержание органического вещества и азота в современных почвах пашен, близкое к пахотным почвам первого периода обследования, резко возрастает у молодых залежей (до 10 лет), выравнивается до уровня пахотной почвы на этапе 10–20-летней залежи и снова увеличивается, но в меньшей степени, в почвах, пребывающих под залежами более 30 лет.

Схожую цикличность в зависимости от возраста залежи демонстрирует поведение оксида натрия и обменного кальция. Достоверные различия в период постагрогенеза были установлены также для общего содержания фосфора. По сравнению с почвами пашни у залежных почв было выявлено увеличение этого показателя (возможно, это связано с фиксацией и накоплением фосфора, поступившего ранее с удобрениями, в необменной форме), однако после 30 лет забрасывания содержание фосфора снова уменьшалось до уровня пахотной почвы.

Переменные, достоверно получившие отклик на изменение большинства метеопараметров, включали содержание обменных кальция и магния, содержание азота и валовое содержание оксидов натрия, магния, кремния, калия, кальция, титана, марганца, железа, фосфора.

Выявленную динамику перечисленных показателей сложно отнести на действие какого-то одного фактора и правильней рассматривать ее 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, несколько отличаются от переменных, более отзывчивых на смену вида землепользования в принципе и возраст залежи. Вероятно, при одновременном изменении таких факторов почвообразования, как землепользование и климат, доля первого будет существенно выше в изменении «биологически активных» (лабильных) переменных, таких как содержание органического вещества и азота, фосфора и калия, кислотности. Со вторым стоит связывать трансформацию минеральной части почвы (на фоне оглеения, изменения карбонатного состояния, окислительно-восстановительных условий, процессов элювиально-иллювиального распределения).

## II. Результаты геоботанического блока.

1. Построение схемы сукцессий растительности и определение количественных и качественных параметров стадий сукцессий на залежах в разных экотопах и районах Ярославской области на зональном градиенте. Уточнение групп видов, типов растительных сообществ и параметров структуры фитоценозов, наиболее тесно связанных со стадиями постагрогенной эволюции почв в Ярославском Поволжье (Д.М. Мирин).

В результате анализа состава и строения растительных сообществ на залежах с давностью прекращения распашки до 34 лет построена схема сукцессий растительности в водораздельных дренированных экотопах (Приложение\_Геоботаника). Нужно обратить внимание на следующие структурные и типологические особенности растительности изученных залежей. Сообщества лугового типа растительности в форме лугов злаково-разнотравных с одиночными деревьями и лугов разнотравно-злаковых с одиночными деревьями сохраняются более 30 лет в ходе постагрогенной сукцессии. Преобладание в травостое разнотравья на залежах возрастом 5–25 лет характерно для более легких почв (супесей и легких суглинков), преобладание в травостое злаков на залежах того же возраста характерно для средне- и тяжелосуглинистых почв. Кульбабово-овсяницевый луг (с доминированием *Leontodon hispidus*, *Festuca rubra*) описан на песчаных почвах, с которых описаний других стадий постагрогенной динамики растительности нет. Сероольшаники имеют самую высокую сомкнутость древостоя (до 0,9). Высокое обилие влаголюбивых трав – гигрофитов и гигромезофитов (12–25% суммарного проективного покрытия) обеспечивается не близкими грунтовыми водами, а существенным влиянием серой ольхи на водный режим. Оба описанных сероольшаника произрастают на легкосуглинистой почве. В расположенных поблизости залежах, покрытых луговой растительностью, которая периодически выкашивается, влаголюбивых видов трав меньше (1–20%). Формирование сомкнутого сероольшаника происходит быстро и сопровождается сильным изменением напочвенного покрова, поэтому без стационарных наблюдений выявить, какой тип луга преобразовался в сероольшаник снытево-купыревый и в сероольшаник крупнотравно-недотроговый, затруднительно. Разнообразие типов растительных сообществ (от 4 до 8) на каждом этапе постагрогенной сукцессии обусловлено не только разнообразием экотопов (карбонатные и бескарбонатные покровные суглинки, озерные отложения от супесчаного до тяжелосуглинистого гранулометрического состава), но и разнообразием нарушений развития растительности (сенокосение, выпас скота, порои кабанов) на разных участках. Большая доля злаков (кроме щучки *Deschampsia cespitosa*) в травостое свидетельствует о периодическом выкашивании.

При воздействии кабанов происходит «омоложение» растительности – появляются признаки более ранней стадии постагрогенной сукцессии, в частности, отмечаются виды сорного однолетнего разнотравья и разрастаются сорно-луговые многолетние травы, в первую очередь *Cirsium arvense*.

Среди встреченных на залежных землях и ближайших к ним лесам видов растений имеются южные элементы флоры, находящиеся в Ярославской области вблизи северной границы своего ареала: *Artemisia absinthium*, *Brachypodium sylvaticum*, *Campanula persicifolia*, *C. trachelium*, *Cichorium intybus*, *Erodium cicutarium*, *Inula salicina*, *Lycopsis arvensis*, *Seseli libanotis*, *Vicia tetrasperma*. Именно эта группа видов должна наиболее чутко реагировать на потепление климата. Однако, повышенного их участия по сравнению с литературными данными (Определитель высших растений Ярославской области, 1986) не выявлено. Среди южных видов часть является сорными, характерными для наиболее теплых песчаных почв. Для опушечно-лесных видов и видов сомкнутых сухих лугов при увеличении благоприятности климата должно было быть отмечено разрастание в недавно сформировавшихся лугах и лесах на залежах по сравнению с давно сформировавшимися сообществами, куда из-за конкуренции сложно внедриться. Но ни эти виды, ни сныть, для которой оптимальны условия широколиственных лесов, не проявляют большей фитоценотической активности в лесах и лугах на залежах по сравнению с более старыми сообществами. Эти факты свидетельствуют, что изменение климата пока не привело к реакции растительности на него, т.е. не является биологически значимым. Растительность залежей, особенно ранних стадий постагрогенной сукцессии, является менее замкнутой по сравнению с коренной растительностью. Это позволяет внедряться инвазивным видам, представляющим собой биологическое загрязнение территории. Такие виды были отмечены на геоботанических пробных площадях, а также на маршрутах. Наиболее высокую активность показывают *Heraclium sosnowskyi* (от южной части Брейтовского района и южнее, особенно в самом южном Переславском районе), *Impatiens parviflora* (Угличский район), отмечены *Conyza canadensis*, *Erigeron annuum*, *Solidago gigantea*, только вне пробных площадей на залежах встречены *Acer negundo*, *Echinocystis lobata*. Наибольшее покрытие и встречаемость инвазивных видов характерно для средних стадий постагрогенной сукцессии (10–20 лет), *Conyza canadensis* – 0–5 лет, *Impatiens parviflora* 20 – 25 лет, борщевик начинает разрастаться на 10-летних залежах и в Переславском районе заполняет залежи старше 30 лет. За инвазивными видами на землях сельскохозяйственного назначения и вблизи них требуется постоянный мониторинг.

В составе растительных сообществ на залежах отмечен ряд редких и интересных видов. Это в первую очередь орхидные (Пальчатокоренник балтийский *Dactylorhiza baltica* – Красная книга Российской Федерации, Пальчатокоренник Фукса *Dactylorhiza fuchsii*, Любка двулистная *Platanthera bifolia*, Тайник овальный *Listera ovata*), а также синюха голубая *Polemonium caeruleum*, колокольчик персиколистный *Campanula persicifolia* и колокольчик крапиволистный *Campanula trachelium*. Эти виды встречаются редко, не отмечены на залежах моложе 15 лет.

В ходе постагрогенной сукцессии меняется целый ряд структурных характеристик растительных сообществ. В живом напочвенном покрове меняется участие некоторых важных групп видов (Приложение\_Геоботаника).

В первые годы после забрасывания пашни происходит стремительное увеличение участия злаков и осок, особенно рыхлодерновинных, после 5 лет скорость увеличения их обилия падает и к 10 годам их проективное покрытие стабилизируется. Некоторая тенденция к уменьшению участия дерновинных злаков в структуре травостоя проявляется после 20 лет зарастания, когда на большинстве залежей

начинают заметно увеличиваться сомкнутость древесного яруса. На начальном этапе постагрогенной сукцессии ведущую роль в растительных сообществах играют сорные травы. Большинство сорных трав исчезает в течение 5 лет, многолетние сорно-луговые виды, включающие и инвазивные виды, несколько снижают свое покрытие до 25-летних залежей, но сохраняются в заметном количестве до 34-летних залежей, разрастаясь по микронарушениям, например, пороям кабанов. В целом участие мхов в составе растительных сообществ на залежах незначительно, закономерности динамики их обилия требуют дальнейших исследований. В сообществах одного возраста при более сомкнутом древостое моховой покров развит как правило сильнее. В Переславском и Ростовском районах на залежных лугах неоднократно отмечен мелкий мох *Fissidens bryoides*, указываемый в литературе только для микронарушений почвы в лесных экосистемах. Полученные данные расширяют представления об экологии мохообразных (Приложение\_Геоботаника).

Всего на залежах до 34-летнего возраста было зарегистрировано 14 видов деревьев: береза пушистая *Betula pubescens* Ehrh., береза бородавчатая *Betula pendula* Roth, ольха серая *Alnus incana* (L.) Moench, ольха черная *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn., ива козья *Salix caprea* L., ива ломкая *Salix euxina* I.V. Belyaeva, осина *Populus tremula* L., ель европейская *Picea abies* (L.) H. Karst., сосна *Pinus sylvestris* L., дуб *Quercus robur* L., рябина *Sorbus aucuparia* L., черемуха *Padus avium* Mill., яблоня *Malus domestica* (Suckow) Borkh., клен *Acer platanoides* L. Коренная порода тайги ель в двух случаях оказалась одним из наиболее обильных древесных видов в сообществе – при давности зарастания 32 и 34 года в Пошехонском районе и большем возрасте и размерах березы бородавчатой на одном участке и ивы козьей на другом участке. В обоих случаях древесный ярус был низким (4–10 м), ель возобновлялась активно и можно ожидать формирования ельника за одно поколение деревьев с коротким периодом (40–60 лет) смешанного мелколиственно-елового леса. В абсолютном большинстве случаев на бывших пашнях идет формирование лесов из вторичных пород. Частота доминирования на обследованных залежах уменьшается в следующем порядке: ива козья – ольха серая – береза (здесь учтены оба вида, но береза бородавчатая доминирует гораздо чаще, чем пушистая). Высокого обилия других древесных пород, включая широколиственных пород в самых южных районах, не отмечено. Сообщества с содоминированием ивы козьей (ивняки, ивово-березняки, ивово-сероольшаники) слабо описаны в литературе. Все сообщества с содоминированием ивы козьей являются молодняками (давность забрасывания пашни от 12 до 34 лет, высота ивы не превышает 9 м). В сообществах с давностью прекращения распашки 10-20 лет ива козья часто является самой высокой древесной породой, но позднее уступает по высоте серой ольхе (в 20-30-летних сообществах они обычно имеют примерно одинаковую высоту) и березе (к 30 годам она возвышается над всеми остальными видами деревьев). Там, где формируется сероольшаник, развитие лесного сообщества идет быстрее.

Видовая насыщенность травостоя (число видов на 400 кв.м) меняется с увеличением времени сукцессии, но не линейно. Варьирование по этому показателю внутри каждой стадии сукцессии велико. Если в целом сравнить сообщества участков с давностью прекращения распашки до 10 лет включительно и сообщества с большим временем постагрогенной сукцессии на территории Ярославского Поволжья, то более молодые экосистемы имеют статистически высоко значимо меньшую видовую насыщенность основного по разнообразию яруса растительности – травостоя. Минимальное отмеченное число видов трав на 400 кв.м на молодых и старых залежах одинаковое – 31; максимальное число видов на пробную площадь на молодых залежах 52, на старых – 69; среднее число видов трав – 44 вида на молодых и

50 видов на старых залежах, медианное число видов трав – 45 на молодых и 49 на старых залежах. По полному списку видов разница между молодыми и старыми залежами еще больше, так как на старых залежах больше видов деревьев, кустарников и мхов, чем на молодых залежах. При этом заметных тенденций изменения числа видов на пробную площадь внутри групп описаний молодых (до 10 лет) и старых (12–34 года) залежей не выявлено.

Уточнено распределение видов растений вдоль хронорядя постагрогенной сукцессии. Выделены группы видов, которые могут быть использованы в качестве индикаторов давности прекращения распашки.

2. Выявление совместного варьирования количественных параметров растительности (проективные покрытия обильных видов, эколого-ценоотические группы видов, общие покрытия ярусов, видовая насыщенность, индекс биотической дисперсии Коха, индекс биоразнообразия Шеннона, оценки отношения травостоя к влажности почвы по экологическим шкалам) и морфологических и физико-химических параметров почвы на залежах Ярославского Поволжья (Д.М. Мирин, А.В. Русаков, Ю.В. Симонова).

Исследование совместного варьирования количественных параметров растительности и почв проведено путем ординации методом неметрического шкалирования (Приложение\_Геоботаника).

Пространство задавалось варьированием проективных покрытий видов травостоя, распределение параметров почв и обилия трех групп видов трав наложено в качестве факторов на это пространство (Приложение\_Геоботаника). Выявленное влияние параметров почв на растительность во всем 34-летнем диапазоне залежей показало более слабые зависимости, чем отдельно на молодых (до 10 лет включительно) и на более старых залежах, что отражает изменение характера взаимосвязей с ходом постагрогенной сукцессии.

Варьирование обилия видов трав на заброшенных пашнях Ярославского Поволжья определяется, в основном, двумя факторами: временем, прошедшим с начала постагрогенной сукцессии, и положением на широтном градиенте. Также статистически значимым фактором с небольшой величиной связи является гранулометрический состав почвы, точнее доля физической глины в верхнем горизонте почвы. Видимо из-за связи с количеством глинистых минералов в почве оказались существенными как по статистической значимости, так и по силе связи такие факторы, как содержание в верхнем горизонте почвы Mg, Al, K, обменного K, Ti, противонаправленное к названным элементам влияние на растительность показывает SiO<sub>2</sub>, имеется связь с S. Наиболее значимо отражает общее варьирование обилия видов трав обилие сорных трав, а также значимо варьирование обилия влаголюбивых и дерновинных трав при невысокой силе связи. Дерновинные травы показывают невысокую связь с общим варьированием травостоя из-за того, что у них достаточно тесная нелинейная связь: максимальное обилие дерновинных злаков и осок находится в центре пространства варьирования видов растений и уменьшается от центра во всех направлениях.

Связь растительности со временем сукцессии территорий пашен, заброшенных не более 10 лет назад, сильная ( $r^2$  64%), в отличие от залежей 12-34-летнего возраста, где значимой связи растительности со временем не обнаружено. Положение на широтном градиенте остается самым значимым фактором, определяющим различия растительности залежей от северной до южной границы Ярославской области. Также очень значимо влияние на растительность и на молодых и на старых залежах доли физической глины в составе верхнего горизонта почвы, причем при рассмотрении молодых и старых залежей этот фактор оказался существенно более значимым, чем при анализе всех залежей в совокупности, что говорит об изменении характера этого влияния примерно на 10-летнем сроке сукцессии, но сила связи не меняется. В



том диапазоне почвенных условий, в которых описана растительность залежей Ярославской области, различия в содержании кальция и фосфора в верхнем почвенном горизонте не отражаются в растительности. Растительность статистически значимо связана с кислотностью только на старых залежах, где активно развивается древостой, являющийся основным источником подкисления почвы.

### III. Результаты климатического блока.

1. Концептуальная модель эволюционных изменений свойств почв «Эволюция агропочвы» на основе полученных эмпирико-статистических связей в системе «климат–почвенное плодородие» (В.П. Евстигнеев, Н.А. Лемешко, А.В. Русаков, Ю.В. Симонова, Д.М. Мирин).

На основе однофакторного дисперсионного анализа Краскелла-Уоллиса были выявлены эмпирико-статистические связи климатических параметров, комплексных температурно-влажностных индексов за исследуемый период с показателями свойств почв. Показано, что климатические факторы значимо влияют на содержание обменных Са и Mg, валовое содержание Na, K, Ca, Ti, Fe, S, Cl. Для таких почвенных переменных, как Сорг и Нобщ, обменных фосфора и калия более значимым является фактор смены землепользования и возраст забрасывания.

На основе корреляционного анализа Спирмена построены корреляционные матрицы для 11 климатических параметров и 60 параметров почвы. Матрица показывает наличие как прямых, так и обратных связей между климатическими и почвенными параметрами, а также наличие не значимых корреляций с некоторыми представленными параметрами. В результате анализа было установлено, что термический режим (сумма температуры воздуха больше 10°C, средняя годовая температура воздуха, максимальная и минимальная температуры за год) в 65% изученных почвенных характеристик со значимой корреляцией имеют отрицательные значения. К исключениям относятся отдельные компоненты органического вещества, в том числе каратиноиды, полученные методом ХДФ, которые связаны ( $r=0,70$  и  $r=0,60$ ) с суммой температуры воздуха больше 10 °C и продолжительностью вегетации. Выполненное в предыдущий период на данных Пошехонского района исследование эмпирико-статистических связей в системе климат-почвы показали, что на их основе возможно построение линейных уравнений регрессии. Применение этого подхода на большом массиве данных (Пошехонский, Брейтовский, Угличский) выполнено в настоящем отчете.

Построение концептуальной модели эволюционных изменений свойств почв «Эволюция агропочвы» основано на полученных эмпирико-статистических связях в системе «климат–почвенное плодородие».

Статистическая модель динамики почвенных характеристик за последние 60 лет строилась по каждому сочетанию почвенной характеристики и климатического показателя. При этом считалось, что лучшая модель соответствует наибольшему значению скорректированного коэффициента детерминации  $r^2$ . Для устранения негативного эффекта мультиколлинеарности, были исключены модели, у которых существует хотя бы одна пара независимых переменных с коэффициентом корреляции  $r$  выше 0,7. Такой подход применялся при допущении, что все существенные взаимосвязи между независимыми переменными являются физически обоснованными. Для выявления тесных связей между ними перед выполнением множественной регрессии был произведён корреляционный анализ с построением корреляционной матрицы. Результаты корреляционного анализа представлены в виде

корреляционной матрицы (Приложение\_Климат). Для окончательно выбранных моделей производился анализ значимости коэффициентов регрессии с акцентом на коэффициенты регрессии при агроклиматических переменных. В случае обнаружения таких статистически значимых коэффициентов, при 5% уровне значимости, можно говорить о влиянии того или иного параметра изменения агроклиматических условий на определенное свойство почв.

По каждой почвенной характеристике выполнялась множественная регрессия (Приложение\_Климат), где в качестве зависимых переменных у приняты почвенные показатели, а в качестве независимых переменных – агроклиматические показатели ( $x_1$ ) и другие переменные, такие как возраст залежи, уровень грунтовых вод (УГВ), а также соотношения частиц разных фракций гранулометрического состава ( $x_2...x_n$ ).

Статистически значимыми оказались 9 моделей, однако только в 3-ех из них значимыми являются связи между агроклиматическими индексами и почвенными показателями. Наиболее тесные связи прослеживаются в моделях с изменением  $K_2O$ , по которым видно, что изменение данного почвенного показателя зависит от изменения среднегодовой температуры воздуха, годовой суммы осадков и гидротермического коэффициента. Среди остальных статистических моделей следует отметить модели с изменением  $pH_{сол}$  и  $С_{орг}$  в пересчёте на гумус, где, однако, климатические предикторы не являются значимыми в них. Примеры значимых моделей представлены (Приложение\_Климат).

Наиболее интересным представляется определение секвестрационного потенциала залежных почв Ярославского Поволжья. Для этого были выполнены расчеты, которые показали, что реакция почв неоднозначна, для разных почвенных разрезов наблюдается как положительные, так и отрицательные разности по содержанию многих элементов.

Хороший результат получения отклика почвенного углерода на изменение климата показало использование комплексных показателей. Так, анализ на основе ПЭи, показал, что рост тепло-влагообеспеченности и климатической составляющей ПЭи приводит к увеличению содержания  $С_{орг}$  (Приложение\_Климат). Однако неоднозначность зависимости отклика  $С_{орг}$  при совместном анализе залежных и пахотных земель в разных районах не позволяет выявить климатообусловленный отклик  $С_{орг}$  на изменения климатических параметров.

Модель может быть значительно «улучшена», если из выборки убрать значения, относящиеся к пахотным почвам, при этом наилучшими окажутся модели без привлечения дополнительных независимых переменных (Приложение\_Климат).

В этом случае можно заключить, что содержание почвенного углерода на залежных почвах исследуемой территории увеличивается при увеличении температурного фона (в качестве показателей использованы изменения средней годовой температуры воздуха и суммы температур воздуха выше  $+10^{\circ}C$ ) и уменьшении увлажнения (в качестве климатических показателей применены изменения за два периода ГТК и средней годовой суммы атмосферных осадков) (Приложение\_Климат).

Улучшенные версии данных линейных моделей для почвенного углерода по степени значимости и доле описываемой дисперсии не только превосходят свои исходные модели (в которые были включены все почвенные разрезы), но и модели остальных почвенных показателей.

2. Анализ прогностических оценок температуры воздуха, атмосферных осадков и других характеристик климата в МОЦАО по различным социально-экономическим траекториям, используемым МГЭИК на 2041–2060 гг. (В.П. Евстигнеев, Н.А. Лемешко).

Анализ прогностических оценок климатических характеристик МОЦАиО выполнен на основе выполнения нескольких этапов исследования:

- (1) оценка и анализ достоверности и точности воспроизведения температуры воздуха, количества атмосферных осадков, относительной влажности воздуха в МОЦАиО;
- (2) выбор наилучших моделей из 12, используемых в анализе, наиболее точно воспроизводящих климат района исследования и ближайших областей (Ярославскую, Костромскую, Вологодскую, Новгородскую и Тверскую области);
- (3) анализ различных социально-экономических траекторий, используемых в МГЭИК на 2041–2060 гг.;
- (4) собственно получение оценок температуры воздуха, атмосферных осадков и других характеристик климата, включая агроклиматические индексы по различным социально-экономическим траекториям.

Для исследования выбраны 12 моделей общей циркуляции атмосферы и океана, входящие в СМIP6. Данные моделей сравнивались с данными наблюдений для метеорологических станций за 1984-2014 гг. Процедура сравнения выходных параметров моделей с данными наблюдений включает: интерполяцию модельных результатов в координаты ближайшей метеорологической станции; осреднение метеорологических данных по территории и оценка точности воспроизведения атмосферных осадков, температуры и влажности воздуха в расчетах МОЦАиО. На основе ранговой оценки 12 моделей рассчитан суммарный ранг каждой модели по шести статистическим характеристикам уклонения и определен итоговый рейтинг модели. Ни одна модель из 12 проанализированных МОЦАиО не получила высший ранг по каждому из трех метеорологических элементов. Все модели превышают количество осадков. Несколько лучшие результаты были получены по температуре и относительной влажности воздуха. В итоге был составлен ансамбль из лучших моделей, имевших рейтинг до 30 баллов: CNRM-CM6-1-HR, CanESM5, EC-Earth3, CESM2, NorESM2-MM, MIROC6, INM-CM5-0, CMCC-ESM2 и UKESM1-0-LL. Использование ансамбля моделей позволило получить более достоверные оценки климата, чем для любой отдельной модели. Использование ансамбля лучших моделей также позволило получить агроклиматические показатели (сумма активных температур воздуха, продолжительность вегетационного и гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК)). Для расчёта агроклиматических показателей были использованы среднемесячные и среднесуточные данные 14 метеорологических станций по температуре воздуха и сумме атмосферных осадков. Для каждого агроклиматического показателя были построены пространственные поля распределения на исследуемой территории на основе данных ансамбля моделей МОЦАиО за период 1985-2014 гг. Пространственное распределение рассчитанных по МОЦАиО индексов воспроизводит климатическую зональность достаточно точно и указывает на увеличение ресурсов теплообеспеченности с севера на юг и уменьшение увлажнения от избыточного на северо-западе, до недостаточного на юго-востоке района.

Наиболее значимым антропогенным фактором современного глобального потепления является выброс парниковых газов (МГЭИК, 2014, 2021). Содержание углекислого газа, метана, оксида азота, тропосферного озона и других парниковых газов зависит от развития мировой экономики, прежде всего энергетики, сельского хозяйства и транспорта. Точное прогнозирование развития экономики и отдельных отраслей не возможно, поэтому для оценок на перспективу применяют сценарии, основанные на предположениях (гипотезах) развития мировой экономики и человечества. Они положены в основу климатических сценариев, которые также учитывают возможность мер по смягчению и адаптации к глобальному потеплению. На основе данных сценариев строятся сценарии выбросов парниковых газов в

атмосферу.

Анализ различных социально-экономических траекторий, используемых в МГЭИК на 2041–2060 гг. проведен по данным последней, шестой фазы CMIP. В качестве сценариев применяют «общие социально-экономические траектории» (Shared Socioeconomic Pathways, SSP) — научно обоснованные сценарии развития человечества, на основе которых в моделях задаются параметры, во многом зависящие от пути развития общества, в том числе объёмы выбросов парниковых газов.

Предложено пять основных траекторий (сценариев) развития: Сценарий SSP1 – «Устойчивое развитие» – полное воплощение концепции устойчивого развития, принятой ООН, которая включает международное сотрудничество, жёсткую экологическую политику, быстрое развитие технологий по использованию возобновляемых ресурсов, смягчение неравенства, снижение темпов роста населения Земли и многое другое.

Сценарий SSP2 – «Золотая середина» – воплощение остальных четырёх сценариев в равном соотношении, вероятность наступления данного сценария наиболее высокая, однако остается неопределенность по смягчению и адаптации к глобальному потеплению.

Сценарий SSP3 – «Региональное соперничество» или «Деглобализация» – предполагает развитие стран на основе собственных ресурсов, низкое развитие технологий, развитие социальных и экологических институтов не является приоритетным, высокий рост населения планеты. По данному сценарию предполагается наибольшая (по сравнению с другими траекториями) неопределенность мер по смягчению и адаптации. Однако, этот сценарий с точки зрения последствий глобального потепления не самый худший.

Сценарий SSP4 – «Неравенство» – расслоение мирового общества на «богатых» и «бедных», резкое сокращение численности среднего класса, медленное развитие технологий. Некоторое внедрение «зелёных» технологий по сценарию всё же предполагается, но только для «верхушки» общества. Вероятно, возникновение больших проблем по адаптации к изменению климата.

Сценарий SSP5 – «Развитие на основе ископаемого топлива» – быстрый экономический рост за счёт использования дешёвых источников энергии в виде ископаемого топлива (угля, нефти, газа) без ограничительных мер. Альтернативным источникам энергии уделяется мало внимания. Тем не менее, сильная мировая экономика по сценарию сможет обеспечить научное развитие (разноплановое), приостановить рост населения и добиться процесса применения мер по адаптации к изменению климата. Однако, данный сценарий всё-таки является наихудшим с точки зрения последствий глобального потепления.

Помимо социально-экономических траекторий для использования в МОЦАиО предлагаются значения радиационного воздействия, связанного с парниковым эффектом, рассчитанные для 2100 г. В итоге - каждая SSP (1-5) соотнесена с определёнными значениями радиационного воздействия, которых у одного сценария может быть несколько. В нашем исследовании рассмотрены четыре сценария SSP, которые считаются основными: SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP5-8.5.

Для указанных четырех траекторий были получены оценки температуры воздуха, атмосферных осадков и других характеристик климата, включая агроклиматические индексы по различным социально-экономическим траекториям, в том числе поля аномалий температуры воздуха, атмосферных осадков (за тёплый период), агроклиматических показателей (ГТК, БПК, суммы температуры воздуха выше +10°C) по ансамблю моделей на период 2041-2060 гг. относительно периода 1985-2014 гг. по различным социально-

экономическим траекториям (Приложение\_Климат). Анализ полученных значений для четырех траекторий социально-экономического развития показал: рост средней годовой температуры для района исследования составит от 2 (SSP1,2) до 4°C (SSP4), сумма температуры воздуха выше +10°C по ансамблю моделей на период 2041-2060 гг. относительно периода 1985-2014 гг. увеличится значительно по всем социально-экономическим траекториям. Так, прогноз по SSP1 и SSP2 предполагает увеличение сумм температуры воздуха выше +10°C на 400-600°C, по SSP3-SSP5 – увеличится на 700-900°C.

Если все сценарии указывают на рост теплообеспеченности территории, то прогнозы осадков противоречивы не только по величине, но и по знаку. Это связано с особенностями географического распределения осадков и сложностями их параметризации в МОЦАО. Аномалии сумм осадков за тёплый период по ансамблю моделей на период 2041-2060 гг. относительно периода 1985-2014 гг. по различным социально-экономическим траекториям положительны и составляют от 50 до 75 мм для SSP1 и SSP2, а для SSP3 и SSP5 прогнозируется рост осадков на 25-50 мм. Поэтому более правдоподобны прогнозы изменения ГТК (Приложение\_Климат). Гидротермический коэффициент по Селянинову (ГТК) является комплексным агроклиматическим показателем, отражающим как теплообеспеченность: используется сумма температур воздуха выше +10°C и влагообеспеченность территории (по сумме атмосферных осадков за вегетационный период) (Приложение\_Климат). Для анализируемых SSP в районе исследования значения ГТК увеличиваются на 0-0,1 (SSP 1, SSP2) и уменьшаются для SSP3 и 5 на 0,1(-0,2).

Таким образом, анализ показал, что МОЦАО для разных социально-экономических траекторий достаточно надежны и возможны для использования в прогнозе для климатических и агроклиматических показателей, характеризующих термический режим (температура воздуха, суммы температур воздуха и продолжительность вегетационного периода); однако достоверность и надежность их прогнозов недостаточна для показателей, связанных с увлажнением (годовая сумма осадков, сумма осадков за тёплый период) и использовать их рекомендуется после проверки их способности воспроизводить реальный климат для конкретного региона.

3. Современные эмпирические тенденции характеристик почв на фоне изменений климата 1961–2019 гг. и прогностические тенденции агроклиматических условий в МОЦАО. Концепция потенциального воздействия глобального потепления на агроресурсы современных пахотных и постагрогенных почв на основе почвенно-экологического индекса (ПЭи) (В.П. Евстигнеев, Н.А. Лемешко, А.В. Русаков).

На основе анализа МОЦАО и основных социально-экономических траекторий был составлен ансамбль моделей и в качестве сценария применен сценарий SSP2 – «Золотая середина». Сопоставление агроклиматических условий и их прогнозов на будущее выполнено на перспективу 2041-2060 гг. относительно современных эмпирических тенденций 1991-2020 гг.

Изменения средней годовой температуры воздуха, суммы температур воздуха выше +10°C, продолжительности вегетационного периода, суммы осадков за год и ГТК Селянинова по данным метеорологических наблюдений приведены в Таблице 3 (Приложение\_Климат). Эмпирические тенденции изменения термических ресурсов региона и прогнозные на середину столетия хорошо согласуются, совпадают по знаку, а величины закономерно отличаются примерно в два раза. Так, рост средней годовой температуры воздуха по данным метеостанций составляет примерно 1°C, а прогноз 2-3°C. Средняя по району сумма температуры воздуха выше +10°C составляет 2085°C за период 1991-2020 гг., а ее аномалия

относительно 1961-1990 гг. составляет 175°C (Таблица 3), прогноз по SSP1 и SSP2 предполагает увеличение сумм температуры воздуха выше +10°C на 600-700°C, по SSP3-SSP5 – увеличится на 700-900°C, что примерно соответствует сумме для зоны черноземов – Воронеж, Краснодар ( $\sum 10^\circ = 2600-3200^\circ\text{C}$ ).

Рост температуры воздуха приводит к увеличению продолжительности вегетационного периода (Приложение\_Климат). на 20-25 сут. по ансамблю моделей, а современная аномалия равна 8 сут. за последние 30 лет.

Тенденция изменения суммы осадков за вегетационный период по сценарию SSP2 составляют 25-75 мм к 2041-2060 гг., тогда как по данным наблюдений изменение осадков за вегетационный период, так же как годовой суммы, примерно составляет 20-25 мм по региону, но на отдельных станциях наблюдается уменьшение осадков за год, в основном за счет июля, апреля и сентября (ст. Вологда). Можно заключить, и этот вывод был сделан при анализе достоверности МОЦАО, что поскольку сезонное распределение осадков моделируются недостаточно точно, эти оценки можно рассматривать, как весьма приближенные.

Анализ тенденций изменения комплексных показателей ГТК показал несовпадение эмпирической тенденции и модельных оценок по сценарию SSP2. Гидротермический коэффициент (ГТК) является широко используемым, районированным агроклиматическим показателем, учитывающим ресурсы тепла и влаги территории за вегетационный период. Для анализируемых SSP в районе исследования значения ГТК увеличиваются на 0-0,1 (SSP 1, SSP2), что не совпадает с современными изменениями, поскольку для региона ГТК уменьшается примерно на такую же величину (0,06).

Другим важным комплексным показателем является БКП (биоклиматический потенциал) (Приложение\_Климат). БКП отражает зависимость биопродуктивности растений от соотношения тепла и влаги. Чем больше значение БКП, тем более благоприятные будут условия для роста сельскохозяйственных культур.

Расчет БКП и его изменений на основе ансамбля моделей представлен на (Приложение\_Климат). Изменения БКП совпадают по знаку (увеличиваются) и по величине: за период 1991-2020 гг. значение увеличилось на 0,2 по сравнению с предыдущими 30 годами, что практически совпадает с прогнозом на 2041-2060 гг.

В качестве интегрального оценочного критерия качества пахотных почв, который включает почвенную (П), климатическую (К) и агрохимическую (А) составляющие был использован Почвенно-экологический индекс (ПЭи).

Разработка концепции потенциального воздействия глобального потепления на агроресурсы современных пахотных и постагрогенных почв на основе почвенно-экологического индекса (ПЭи) строится на основе использования климатической составляющей ПЭи, отличающейся от средней многолетней величины. Традиционно в ПЭи используют средние многолетние значения для условий стационарного климата. В нашем исследовании, были актуализированы значения ПЭи на основе метеорологических величин за период 1991–2020 гг., а в качестве нормы использован период 1961–1990 гг. Кроме того, были актуализированы почвенная и агрохимическая составляющие расчетной формулы ПЭи, поскольку в нашем распоряжении были данные, полученные на основе двух обследований почв с 30 летним интервалом.

Результаты совместного анализа свойств почв (разрезы заложены в 1988–1990 гг. и 2019-2021 гг.) и составляющих ПЭи представлены в (Приложение\_Климат). Из таблицы следует, что рост температуры (в том числе ее годовой амплитуды) превалирует над изменением осадков и К-составляющая выросла для локализации всех почвенных разрезов. П- и А-составляющие уменьшились для всех большинства разрезов. При этом общий балл ПЭи уменьшился для практически

всех разрезов на 3,6-26,5 баллов. Проведенные нами исследования позволили объективно и с большим пространственным разрешением оценить почвенно-экологическое состояние агропочв автоморфных позиций пахотного клина севера Ярославской области. Полученные данные послужили основой для анализа изменений, произошедших в постагрогенный период после 1991 г., то есть за период с подтвержденным климатическим трендом в 1991–2020 гг.

Были установлены разнонаправленные тренды изменения свойств почв, развитых на контрастной литогенной основе и при смене землепользования в течение последнего 30–35-летнего периода. В качестве наиболее общих тенденций были выявлены деградационные процессы в отношении содержания органического вещества, кислотности и элементов питания растений в почвах тяжелого гранулометрического состава и проградационные – в почвах легкого гранулометрического состава, отраженные в рассчитанных баллах ПЭи.

Совместный анализ изменения свойств почв и климатических показателей позволит 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.

#### 4. Моделирование агроклиматических условий Ярославского Поволжья на перспективу 2041–2060 гг. на основе ансамбля климатических моделей (В.П. Евстигнеев, Н.А. Лемешко).

На основе ансамбля климатических моделей выполнены оценки агроклиматических условий Ярославского Поволжья на перспективу 2041–2060 гг. В частности, получены модельные поля агроклиматических характеристик: продолжительность вегетационного периода; сумма температур воздуха за вегетационный период (с температурой воздуха выше +10°C), суммы атмосферных осадков за вегетационный период.

В ансамбль моделей входят следующие модели, показавшие наибольшую достоверность и точность воспроизведения климата, его пространственных и сезонных особенностей: CNRM-CM6-1-HR, CanESM5, EC-Earth3, CESM2, NorESM2-MM, MIROC6, INM-CM5-0, CMCC-ESM2 и UKESM1-0-LL. На основе ансамбля МОЦАО выполнены расчёты статистических оценок и расчёт продолжительности вегетационного периода, сумм температур воздуха за вегетационный период (с температурой воздуха выше +10°C), суммы атмосферных осадков за вегетационный период. Выбор оптимального метода интерполяции во многом зависит от физической природы интерполируемой величины и её характера распространения по пространству. Интерполирование значений средней месячной температуры воздуха и относительной влажности воздуха в силу своих малых пространственных градиентов проводилось по методу наименьшей кривизны. (Duchon, 1976). Интерполяция осадков проводилась по методу кригинга (Hengl и др., 2007). Статистическая обработка производилась при помощи языка программирования R в графической среде «RStudio» (RStudio, 2021). Для расчётов использовались следующие дополнительные пакеты: «netcdf4» - для работы с файлами формата netcdf4, «raster» - для работы с растрами, «ggplot2» - для построения графиков, «gstat» - для проведения интерполяции, «hydroGOF» и «philentropy» - для использования показателей уклонения.

Для построения полей климатических характеристик было выполнено приведение данных ансамбля моделей к единому масштабу пространственно-временного разрешения: 0,25° на 0,25°

(соответствует 14 на 28 км на широте в 60° с.ш.). Такое пространственное разрешение позволяет получить зональные черты климата, а также отражает мезоклиматические особенности. Результаты моделирования представлены в виде карт пространственного распределения (Приложение\_Климат). прогнозируемых к середине столетия сумм температур воздуха выше +10°C (а) и сумм атмосферных осадков за вегетационный период (б) по ансамблю моделей к 2041-2060 гг. Согласно расчетам, к середине столетия в регионе Ярославского Поволжья суммы температуры воздуха выше +10°C достигнут значений 2800-3000°C, увеличение сумм температуры воздуха выше +10°C составит 600-700°C, что превышает в 2-3 раза оценки изменения суммы температур за вегетационный период между 1991-2019 и 1961-1990 гг. (Приложение\_Климат). Прогнозируется значительный рост продолжительности вегетационного периода почти на месяц (25 сут.) по ансамблю моделей, который составит 160-170 сут., что связано с прогнозируемым ростом температуры воздуха за год и в переходные сезоны.

Рост осадков в вегетационный период будет значительным. Расчеты показали, что они достигнут значений 300-400 мм/за период. Сумма осадков за вегетационный период, осредненная для региона по 15 метеорологическим станциям за временной интервал 1961-1990 гг. составляет по эмпирическим данным 290 мм, за интервал 1991-2019 гг. – 310 мм. Таким образом, прогнозируется удвоение «летних» атмосферных осадков к середине текущего столетия. Осадки летом имеют характер внутримассовых осадков и их прогноз на основе модельных параметризаций достаточно сложный и пока не позволяет надеяться на точность этого прогноза. По данным наблюдений изменение осадков за вегетационный период за последние 30 лет примерно составляет 20-25 мм по региону, но на отдельных станциях наблюдается уменьшение осадков, в основном за счет июля, апреля и сентября.

Кроме того выполнено моделирование на перспективу агроклиматических индексов: БПК по ансамблю моделей за период 2041-2060 гг.; гидротермического коэффициента ГТК и почвенно-экологического индекса ПЭи.

Расчеты по ансамблю моделей комплексных показателей ГТК и БПК показали однонаправленную тенденцию к середине столетия. Значения ГТК увеличиваются на 0,1 и составят 1,8-2,0. В настоящее время при ГТК > 1,5-1,6 исследуемая территория относится к зоне избыточного увлажнения, что означает увеличение увлажнения региона в будущем и совпадает с прогнозом существенного увеличения осадков летом по ансамблю моделей. Величина БПК прогнозируется на уровне 2,4-2,6, что создаст более благоприятные условия для роста сельскохозяйственных культур.

#### IV. Формирование базы данных почв, изученных в рамках гранта (исп. А. Г. Рюмин)

База данных (БД) создана на основе данных полевых и лабораторных исследований почв. В БД вошли результаты изучения архивных образцов, отобранных в результате почвенного обследования 1984–1990 гг., а также результаты повторного обследования территорий в рамках Проекта. БД представляет собой типичную реляционную базу данных, состоящую из таблиц с описанием почв, почвенных горизонтов, ландшафтов и т.п. (Приложение\_База данных). Цель создания базы данных – упорядочить массив имеющихся материалов и сделать их доступным широкому кругу пользователей. База данных даёт чёткое понимание объема выполненных работ, позволяет контролировать выполнение запланированных задач. Структурированные данные позволяют оценить пропуски в проделанной работе и лучше планировать будущие исследования, в т.ч. готовить формы (бланки) для заполнения результатов



исследований.

В БД интегрированы данные, полученные от разных исполнителей проекта. Массив полезен в качестве входных данных для различных математических моделей, описывающих состояние и изменение территории на основе почвенных данных.

В БД реализована возможность просмотра фотографий различных объектов изучения (почвы, ландшафты и т.п.). Размер фотографий уменьшен для оптимального и быстрого просмотра в пределах интерфейса LibreOffice, при этом в базе сохранено имя исходной фотографии на случай, если потребуется просмотреть изображение в высоком разрешении. Изображения сохранены в основном с разрешением 1200 точек по длинной стороне, параметр качества jpg равен 77. Предобразования фотографий сделаны в свободно распространяемом ПО GIMP.

База данных пополнялась по мере выполнения работ по Проекту и является открытой для внесения новых данных.

Все результаты, полученные в исследованиях по Проекту, 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 исследована 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 заключается в определении почвенных идентификаторов современных климатических изменений при наложении фактора постагрогенеза. Оценке постагрогенной эволюции почв, в том числе в южной тайге европейской части России, посвящены многочисленные публикации (Larionova et al., 2003; Kalinina et al., 2010, 2015; Люри и др., 2013; Ryzhova et al., 2014; Telesnina, et al., 2016, 2017; Kurganova et al., 2018; Baeva et al., 2017; Kurganova et al., 2018; Vaiman et al., 2019; Таллер и др., 2019). В них подчеркивается, что при зарастании естественной растительностью изменяются особенности почв, сформированные многолетним освоением, причем изменения охватывают в основном верхнюю толщу профиля. В это же время проблема глобального потепления вызвала рост количества исследований, направленных на поиск реакции почв в ответ на современные изменения климата с учетом различных климатических сценариев. В перечень показателей почвенных свойств, наиболее отзывчивых на изменение климата, входят содержание гумуса, азота, фракционный состав органического вещества, микробиологическая активность, эмиссия CO<sub>2</sub>, pH (Blake et al., 1999; Smith et al., 2007; Larionova et al., 2010; Várallyay, 2010; Holmberg et al., 2018; Kurganova et al., 2020). Однако поиск таких показателей представляется сложной задачей, поскольку педогенная инерция вызывает различные задержки во времени и в скорости реакции для разных типов почв с учетом региональных факторов (Rounsevell, Loveland, 1994). Еще больше трудностей связано с поиском этих показателей при наложении фактора постагрогенного

Степень новизны полученных результатов (с обязательным анализом современного состояния исследований по данному направлению в России и за рубежом с указанием ссылок на источники)

влияния. Однако, именно почвы залежей наиболее интересны и актуальны для решения этой задачи, поскольку они (особенно на луговой стадии зарастания) составляют основу потенциального фонда для возврата площадей в сельскохозяйственный оборот. Кроме того, почвы обладают большим секвестрационным потенциалом и залежи могут использоваться как эффективный способ снижения концентрации парниковых газов в атмосфере (Nanda et al., 2016). Междисциплинарный анализ позволил определить эмпирические связи почвенных показателей и климата в их динамике, что по комплексности подхода опережает аналогичные исследования (Grüneberg, 2013; John, Yamashita et.al., 2005; Kalinina et al., 2013, 2018).

Полученные нами данные по изменению экологических и структурных характеристик растительности в ходе постагрогенной сукцессии сходны с полученными для Смоленского Поозерья (Гаврилюк и др., 2022; Титовец, Тихонова, 2023), но более детально для первых 30 лет сукцессии, так как основаны на большем 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 (*Ryugola rotundifolia*). Выявлена большая роль широтного положения даже в пределах Ярославской области на видовой состав и соотношении 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 (Голубева, Наквасина, 2015; Данилов и др., 2020; Елькина и др., 2016). В отличие от данных, полученных в Латвии (Rusina, Vambe, Daugaviete, 2011), в Ярославском Поволжье медленней идет сylvatизация, в большинстве случаев к 30-32 годам живой напочвенный покров остается луговым, изредка приобретает опушечный характер. В Польше сylvatизация заброшенных пашен идет, наоборот, медленней (Kozak, Pudelko, 2021) из-за разрастания инвазивного вида *Solidago canadensis* и более интенсивным антропогенным воздействиям. 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 вследствие изменения распределения осадков и годового хода температур в регионе исследования. 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).

Впервые для данного региона расчетные значения климатических параметров были строго привязаны к каждому почвенному разрезу методом интерполяции, что позволяет существенно повысить надежность оценки связей в системе «климат–почва» и соответствует

современному национальному и международному уровню научных исследований.

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, основанные на небольшом числе метеопараметров в большинстве исследований (Grüneberg, 2013; Lopes de Gerenyu, 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; Павлова, 2013; Várallyay, 2010). Необходимость возврата площадей, выведенных ранее из сельскохозяйственного оборота (Глобальный климат... 2019; Столбовой и др., 2021), усиливает значимость проведенных в рамках Проекта исследований. Полученные нами данные уже сейчас позволяют дать оценку современного агроэкологического потенциала почв обследованных районов в аспекте адаптивно-ориентированной системы земледелия. Считаем, что полученный нами в ходе выполнения Проекта 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.

1. В почвенных исследованиях применялись методы, направленные на увеличение достоверности результатов сравнительного анализа в хроноряду, который основывается на двух сроках наблюдений. Достаточно точная привязка к постоянным объектам на местности почвенных разрезов, заложенных и опробованных во время картографирования 1984–1990 гг., дали основание считать их реперными (точкой отсчета с очень высоким пространственным разрешением) для ретроспективного мониторинга эволюционных изменений почв. 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, позволили с высокой точностью определить места закладки почвенных разрезов. Непосредственно полевые исследования проводились не на одном разрезе, а на пробной площадке, где помимо опорного разреза закладывалась сеть прикопок для учета пространственной вариабельности почвенного ареала. В итоге площадка выбиралась в качестве мониторинговой после оценки ее репрезентативности.

2. 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, инвазивных и редких видов. Специальное внимание уделено бриокомпоненту сообществ, слабо изученному в луговых сообществах на залежах. Для повышения точности выявления взаимосвязей между растительностью и почвой растительность каждой пробной площади описана на серии мелких учетных площадок, привязанных к основному и дополнительным почвенным разрезам (как правило, по 3 площадки на 1 разрез, т.е. 27 учетных площадок на 1 пробную площадь). Применены методы индикации экологических режимов с использованием экологических шкал

Методы и подходы, использованные при реализации проекта (описать, уделив особое внимание степени оригинальности и новизны, отразить суть междисциплинарного подхода)

Элленберга и Л.Г.Раменского. Помимо анализа прямых данных по проективному покрытию видов и ярусов, полученных в поле, проведена группировка видов в важные для анализа постагрогенной сукцессии эколого-фитоценоотические группы.

3. Выбранные аналитические методы целевого характера для выявления групп эволюционных признаков и свойств почвы включали: морфологический анализ, гранулометрический и микроагрегатный анализы, стандартные физико-химические методы анализа, CHN-анализ, валовой анализ (РФА). 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.

Изучение морфологических признаков почв проводилось на разных уровнях организации. Помимо макроморфологических (на уровне почвенного профиля) выполнялись исследования образцов ненарушенного сложения из генетических горизонтов. Часть мезоморфологических исследований проведена на стереомикроскопе Leica M205 C (Leica, Германия), оснащенный программным модулем для получения фотографий с большой глубиной резкоизображенного пространства. Микроморфологические исследования проводились в шлифах, изготовленных в Почвенном институте им. В.В. Докучаева. Съемка шлифов проводилась на оптическом поляризационном микроскопе Olympus BX51 с цифровой фотокамерой Olympus DP26. Для решения задачи массового определения содержания подвижных форм Р и К в почвенных образцах в РЦ СПбГУ «Методы анализа состава вещества» специально была разработана методика, основанная на методе атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой. Примененный метод позволил проводить анализ состава почвенных вытяжек с достаточной чувствительностью и высокой скоростью анализа (~150 образцов в день).

4. Впервые для характеристики изменений почвенного органического вещества (ПОВ) за период между обследованиями были использованы как метод хемодеструкционного фракционирования (Popov, Rusakov, 2016), так и абсолютно новый, разработанный нами метод (Tsivka et al., 2021), разделения ПОВ на компоненты. Суть метода заключается в последовательном выделении пигментов, гломалинов и гуминовых веществ.

5. В работах, связанных с временной динамикой почвенных свойств, построенных на принципе изучения «парных» объектов, важно учитывать высокую пространственную изменчивость. Для более точной оценки временных изменений определялось пространственное варьирование ряда почвенных показателей (Сорг, Нобщ, подвижные формы Р и К) в пределах пробных площадок. Устанавливалась степень неоднородности пробной площадки и репрезентативность центрального разреза для возможности его сравнения с почвами первичного обследования.

6. 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 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. Следующим этапом оценки достоверности воспроизведения климата моделями заключался в построении системы рангов, расчете суммарного ранга каждой модели по шести статистическим характеристикам уклонения 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 (Дымников и др., 2006; Мохов, Елисеев, 2012; Катцов и др., 2017; Мелешко и др., 2007, 2008).

7. Статистические расчеты и визуализация результатов выполнены на основе современных новейших мировых методов и программных продуктов, в том числе, RStudio. При помощи дисперсионного анализа по критерию Краскелла-Уоллиса проводилось определение почвенных параметров, которые оказались более чувствительны к изменению климата, и параметров, в большей степени зависящих от возраста залежи. В расчетах были задействованы более 20 почвенных переменных (их изменение за период между обследованиями) по пяти районам области и данные по 16 климатическим параметрам. Еще более точным подходом для оценки статистической связи почвенных характеристик с климатом является установление корреляционных отношений. В силу особенностей массивов климатической информации (ряды данных за 1961–2019 гг.) и данных по почвам (два набора данных с интервалом 30 лет) потребовалась интерполяция значений гидрометеорологических параметров в локализацию почвенных разрезов за каждый год периода 1961–2019 гг., что позволило получить более достоверные связи, чем с фоновыми полями климатических параметров. Для этого были использованы как традиционные методы (наименьшей кривизны, Duchon, 1976), так и новые методы интерполяции (метод кригинга, Hengl и др., 2007), соответствующие статистической структуре отдельных параметров. Оценка статистических связей были выполнена с помощью ранговой корреляции Спирмена (Spearman rank correlation coefficient). Выявление основных факторов варьирования растительности с включением в анализ полученных количественных характеристик почвы для основного корнеобитаемого горизонта, выявленной давности постагрогенной сукцессии и других проведено методом неметрического шкалирования (NMDS). На основе анализа трендов весь массив данных был разделен на две группы по времени с начала постагрогенной сукцессии, для этих групп был повторен анализ выявления основных факторов изменчивости растительности методом неметрического шкалирования.

503.8.1.	Количество научных работ по проекту, опубликованных за весь срок реализации проекта (3 года)	44
503.8.1.1.	- в изданиях, включенных в перечень ВАК	4
503.8.1.2.	- в изданиях, включенных в	18

	библиографическую базу данных РИНЦ	
503.8.1.3.	- в изданиях, включенных в Scopus	7
503.8.1.4.	- в изданиях, включенных Web of Science	2
503.8.2.	Количество научных работ по результатам реализации проекта, подготовленных и принятых к печати, за период, на который предоставлен грант	0
503.8.3.	Полученные при реализации проекта результаты-объекты интеллектуальной собственности (номера патентных заявок и т.п.)	нет
		3-й год выполнения Проекта
		VIII съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв (Сыктывкар, 2020-2022 гг.). Русаков А.В., Симонова Ю.В., Рюмин А.Г., Попов А.И., Лемешко Н.А. Почвенно-экологическое состояние пахотных угодий накануне аграрной реформы как точка отсчета для оценки их трансформации в период постагрогенеза (на примере Ярославской области). Гласный доклад.
		VIII съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв (Сыктывкар, 2020-2022 гг.). Симонова Ю.В., Русаков А.В., Попов А.И., Рюмин А.Г., Лемешко Н.А., Мирин Д.М. Морфологические особенности и климатообусловленные признаки эволюции постагрогенных почв Ярославского Поволжья в связи с последними климатическими тенденциями. Гласный доклад.
		VIII съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв (Сыктывкар, 2020-2022 гг.). Попов А.И., Русаков А.В., Симонова Ю.В. Изменение качественного состава органического вещества почв Ярославской области за 30-40 летний период при разных типах землепользования. Заочное участие.
503.9.	Участие в научных мероприятиях по тематике проекта за период, на который предоставлен грант (каждое мероприятие с новой строки, указать название мероприятия и тип доклада)	VIII съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв (Сыктывкар, 2020-2022 гг.). Цивка К.И., Попов А.И., Симонова Ю.В., Сун Гэ, Холостов Г.Д., Бирилко Д.А., Сазанова Е.В. Новый подход к оценке качественного состава почвенного органического вещества. Заочное участие.
		VIII съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева и Школы

молодых ученых по морфологии и классификации почв (Сыктывкар, 2020-2022 гг.).

Лемешко Н.А., Евстигнеев В.П., Русаков А.В., Симонова Ю.В.  
Актуализация климатических индексов для оценки отклика почв агроландшафтов на современное глобальное потепление.  
Гласный доклад.

Всероссийская научная конференция «Динамика экосистем в голоцене. всероссийской научной конференции», Санкт-Петербург, 17–21 октября 2022 года.

Н.А. Лемешко, В.П. Евстигнеев, А.В. Русаков, Ю.В. Симонова, А.П. Морозов  
Современные изменения агроклиматических ресурсов и их прогноз для Ярославского Поволжья.  
Гласный доклад.

Всероссийская научная конференция «Динамика экосистем в голоцене. всероссийской научной конференции», Санкт-Петербург, 17–21 октября 2022 года.

Д.М. Мирин, А.В. Русаков, Ю.В. Симонова, А.Г. Рюмин.  
Ранние этапы формирования леса на месте бывших пашен в Ярославской области  
Гласный доклад.

Международная научно-практическая конференция с участием представителей стран СНГ «Оценка состояния ресурсов, экосистем озер и морей в условиях современных изменений климата и социально-экономического развития», 12–14 сентября 2022, Петрозаводск, Россия

Ю.В. Симонова. Засоленные почвы котловины оз. Неро: реакция на последние изменения климата в бассейне Верхней Волги.  
Гласный доклад.

Всероссийская научная конференция «Динамика экосистем в голоцене. всероссийской научной конференции», Санкт-Петербург, 17–21 октября 2022 года.

А.В. Русаков, М.П. Лебедева, Ю.В. Симонова. Тренды изменений почв под многолетними залежами Ярославского Поволжья в постсоветский период на основе их иерархической морфологической диагностики.  
Пленарный доклад.

Четвертая Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы изучения почвенных и земельных ресурсов» Москва, 5–7 декабря 2022 г.

А.В. Русаков, Д.М. Мирин, Ю.В. Симонова, Н.А. Лемешко, М.П. Лебедева.  
Почвенно-геоботанические записи эволюции разновозрастных залежей Ярославского Поволжья на фоне климатических изменений.  
Гласный доклад.

The 6th International Conference on Climate Change 2022 (ICCC 2022), Sri Lanka, 17th and 18th February 2022

<https://climatechangeconferences.com>.

Simonova J.V., Rusakov A.V., Lemesko N.A., Ryumin A.G., Popov A.I.  
Evolutionary Trends In Postarable Soils Towards The Background Of Modern Climate Change (The Central Part Of The East European Plain).  
Гласный доклад.

VII International Symposium «Biogenic-abiogenic interactions in natural and anthropogenic systems». Saint Petersburg, 26–29 September, Saint Petersburg.

Simonova Yu.V., Rusakov A.V. The lithological diversity assessment as a

factor of potential fertility: the case of arable soils of the Yaroslavl region (Central Russia).

Гласный доклад.

Всероссийская научная интернет-конференция с международным участием, посвященная 90-летию со дня рождения заслуженного профессора Е.А. Дмитриева «Природная и антропогенная неоднородность почв и статистические методы ее изучения» Ю.В. Симонова, А.В. Русаков, А.Г. Рюмин. Вариабельность запасов углерода на уровне пробных площадок (Ярославская область, Верхняя Волга).

Научный доклад на Ученом Совете Института наук о Земле СПбГУ 16 февраля 2023 г. Собрание в канале \_Общий\_-20230216\_151112-Запись собрания.mp4

А.В. Русаков, Д.М. Мирин, Ю.В. Симонова, Н.А. Лемешко, А.И. Попов,

А.Г. Рюмин, М.П. Лебедева Почвенно-геоботанические записи эволюции залежных почв Центрального Нечерноземья на фоне современных изменений климата.

Гласный доклад.

2-й год выполнения Проекта

Международная научно-практическая конференция «Деградация земель и опустынивание: проблемы устойчивого природопользования и адаптации» Москва, ИГ РАН, ноябрь 2020 – март 2021.

<http://ilan.ras.ru/degradacziya-zemel-i-opustynivanie-problemy-ustojchivogo-prirodopolzovaniya-i-adaptaczii/>

Цивка К.И., Попов А.И., Хафез М., Рашад М., Ковалева Н.М.

Основные пути оптимизации продукционного процесса культивируемых растений на землях подверженных деградации.

Гласный доклад.

Международная научно-практическая конференция «Деградация земель и опустынивание: проблемы устойчивого природопользования и адаптации» Москва, ИГ РАН, ноябрь 2020 – март 2021.

<http://ilan.ras.ru/degradacziya-zemel-i-opustynivanie-problemy-ustojchivogo-prirodopolzovaniya-i-adaptaczii/>

Попов А.И., Русаков А.И., Симонова Ю.В., Цивка К.И. Оценочные и диагностические показатели качественного состава органического вещества постагрогенных почв Ярославского Поволжья на фоне современных изменений климата.

Гласный доклад.

Международная научно-практическая конференция «Деградация земель и опустынивание: проблемы устойчивого природопользования и адаптации» Москва, ИГ РАН, ноябрь 2020 – март 2021.

<http://ilan.ras.ru/degradacziya-zemel-i-opustynivanie-problemy-ustojchivogo-prirodopolzovaniya-i-adaptaczii/>

Русаков А.В., Симонова Ю.В., Рюмин А.Г., Попов А.И., Лемешко Н.А. Оценка плодородия пахотных почв северной части Ярославской области и тренды их эволюционных изменений за 30-летний постагрогенный период на основе почвенно-экологического индекса.

Гласный доклад.

Международная конференция по естественным и гуманитарным наукам «Science SPbU–2020» / 25 декабря 2020 года.

<https://events.spbu.ru/events/science-spbu>



Попов А.И., Русаков А.В., Симонова Ю.В., Цивка К.И.  
Хемодеструкционное фракционирование органического вещества  
постагрогенных почв Ярославского Поволжья.  
Заочное участие.

Международная конференция по естественным и гуманитарным  
наукам «Science SPbU–2020» / 25 декабря 2020 года.  
<https://events.spbu.ru/events/science-spbu>  
Цивка К.И., Попов А.И., Русаков А.В., Симонова Ю.В. Содержание  
фотосинтетических пигментов как оценочный показатель  
качественного состава органического вещества постагрогенных почв  
Ярославского Поволжья.  
Заочное участие.

Международная конференция по естественным и гуманитарным  
наукам «Science SPbU–2020» / 25 декабря 2020 года.  
<https://events.spbu.ru/events/science-spbu>  
Mirin D. M., Rusakov A. V., Simonova J. V., Ryumin A. G. Participance  
of plant species near their northern border of range in plant communities up  
to 30 years of succession on abandoned arable lands on the north of  
Yaroslavl' region.  
Заочное участие.

1st International IALE-Russia online conference «Landscape Science and  
Landscape Ecology: Considering Responses to Global Challenges»,  
Moscow 14-18 September 2020 <http://iale.conflab.ru/>  
Julia Simonova, Alexey Rusakov, Aleksandr Popov, Alexander Ryumin,  
Natalya Lemeshko. Evolution of peat soils under changing climatic  
conditions across the Nero Lake basin (Upper Volga, Russia).  
Гласный доклад.

1st International IALE-Russia online conference «Landscape Science and  
Landscape Ecology: Considering Responses to Global Challenges»,  
Moscow 14-18 September 2020 <http://iale.conflab.ru/>  
Лемешко Н.А., Евстигнеев В.П., Русаков А.В., Симонова Ю.В. Отклик  
почв на современные изменения климата и землепользования.  
Гласный доклад.

Национальная (Всероссийская) конференция по естественным и  
гуманитарным наукам с международным участием «Наука СПбГУ –  
2020», 24 декабря 2020 года, Санкт-Петербург.  
<https://events.spbu.ru/events/science-2020>  
Русаков А.В., Лемешко, Н.А., Евстигнеев, В.П., Симонова, Ю.В.  
Чувствительность биоклиматических индексов к современному  
масштабу изменений климата.  
Заочное участие.

II Международная научная конференция «Растительность Восточной  
Европы и Северной Азии», Брянск, 12–14 октября 2020 г.  
[https://brgu.ru/news/ii\\_mezhdunarodnaya\\_nauchnaya\\_konferentsiya\\_rastite](https://brgu.ru/news/ii_mezhdunarodnaya_nauchnaya_konferentsiya_rastite)  
[Inost\\_vostochnoy\\_ev](https://brgu.ru/news/ii_mezhdunarodnaya_nauchnaya_konferentsiya_rastite)  
[goru\\_i\\_severnoy\\_azii/](https://brgu.ru/news/ii_mezhdunarodnaya_nauchnaya_konferentsiya_rastite)  
Мирин Д.М., Русаков А.В. Изменение структуры растительных  
сообществ за 30 лет сукцессии на заброшенных пашнях севера  
Ярославской области.  
Гласный доклад.

Международной научной конференции XXIV Докучаевские  
молодежные чтения «Почвоведение в цифровом обществе», Санкт-  
Петербург, 1–3 марта 2021 г. <http://www.dokuchaevskie.ru/our-conferences/2021g>  
Искандирова Ю.Р. Пространственная вариабельность свойств

постагрогенных почв южно-таежной подзоны.  
Гласный доклад.

Научно-практическая конференция «Проблемы и состояние почв городских и лесных экосистем». Санкт-Петербург, СПбГЛТУ, 22-24 сентября 2021 г. <https://spbftu.ru/soil2021/>  
Лемешко Н.А., Евстигнеев В.П., Русаков В.А., Симонова Ю.В., Морозов А.П.  
Изменение агроклиматических показателей на фоне глобального потепления.  
Гласный доклад.

Республиканская научно-практическая конференция «Физика и экология», Узбекистан, Нукус, 15–16 октября 2021 г.  
Лемешко Н.А., Евстигнеев В.П., Русаков А.В., Симонова Ю.В.  
Влияние глобальных и региональных изменений климата на почвы Ярославского Поволжья.  
Заочное участие.

Всероссийская научная конференция «Экологическая деятельность и экологическое просвещение: региональный аспект». Санкт-Петербург, 16 декабря 2020. <https://lengu.ru/conference/view?id=440>  
Лемешко Н.А. Анализ достоверности и точности современных модельных сценариев климата.  
Гласный доклад.

1-й год выполнения Проекта

Fifth Int. Conference of the CIS IHSS on Humic Innovative Technologies “Humic substances and living systems” (HIT-2019) / October 19–23, 2019. Sailing Club “Vodnik”, Moscow Region, Russia. Popov A. I., Simonova J. V., Tcivka K. I., Song Ge, Birilko D. A., Kholostov G. D., Sazanova E. V. «Humic substances: new approaches for their isolation from natural objects». Гласный доклад.

V Всероссийская научная конференция с международным участием «Динамика экосистем в голоцене» (к 100-летию Л.Г. Динесмана), М., 11–15 ноября 2019 г. Ю.В. Симонова, А.В. Русаков «Динамика засоления приозерного ландшафта котловины озера Неро (Верхняя Волга) на основе мониторинговых наблюдений». Гласный доклад.

V Всероссийская научная конференция с международным участием «Динамика экосистем в голоцене» (к 100-летию Л.Г. Динесмана), М., 11–15 ноября 2019 г. Н.А. Лемешко, В.П. Евстигнеев «Потепления климата в прошлом и настоящем». Гласный доклад.

Всероссийская научная конференция с международным участием «Экология и климат». К 100-летию Михаила Ивановича Будыко, 25–26 февраля 2020 г., СПб. Лемешко Н.А., Евстигнеев В.П., Русаков А.В., Симонова Ю.В. Разработка методологии исследования отклика почв на внутривековые изменения климата. Гласный доклад.

Всероссийская научная конференция с международным участием «Экология и климат». К 100-летию Михаила Ивановича Будыко, 25–26 февраля 2020 г., СПб. Симонова Ю.В., Русаков А.В., Лемешко Н.А. «Проблема прогноза эволюции постагрогенных почв и оценки их агропроизводственного потенциала в ответ на современные климатические тенденции (на примере Ярославской области)». Гласный доклад.

Международная научная конференция XXIII Докучаевские молодежные чтения «Почва в условиях глобального изменения

климата» СПб, 1–4 марта 2020 г. Рюмин А.Г., Симонова Ю.В. «Использование архивных картографических материалов при проведении повторных почвенных обследований (на примере Ярославской области)». Гласный доклад.

Международная научная экологическая конференция «Аграрные ландшафты, их устойчивость и особенности развития» 24–26 марта 2020, г. КубГАУ, г. Краснодар. Симонова Ю.В., Русаков А.В., Мирин Д. М. «Морфолого-генетические изменения автоморфных почв в период их постагрогенеза на примере Пошехонского района Ярославской области, Верхняя Волга». Гласный доклад.

EGU General Assembly 2020, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-21251. Evstigneev, V. and Natalya, L.: Empirical diagnosis and forecasting of extremes in a changing climate: a case study of Russia.

Annual Meeting Japanese Geophysical Union and American Geophysical Union Joint. May 24-28, 2020, Makuhari Messe, Chiba, JAPAN Online. N A Lemeshko1, V P Evstigneev, A V Rusakov1, P Ya Groisman. Soil response to sub centennial climate change.

503.10.	Адреса (полностью) ресурсов в Интернете, подготовленных по проекту (например, <a href="http://www.somewhere.ru/mypub.html">http://www.somewhere.ru/mypub.html</a> )	<a href="http://geobotany.bio.spbu.ru/Yarosl_2021.html">http://geobotany.bio.spbu.ru/Yarosl_2021.html</a> <a href="https://www.plantarium.ru/page/landscapes/point/11067.html">https://www.plantarium.ru/page/landscapes/point/11067.html</a> <a href="https://disk.yandex.ru/d/nP-cw4YGoGbolA">https://disk.yandex.ru/d/nP-cw4YGoGbolA</a> <a href="https://paris.nextgis.com/resource/1/display?panel=layers">https://paris.nextgis.com/resource/1/display?panel=layers</a>
503.11.	Библиографический список всех публикаций по проекту, опубликованных за весь период реализации проекта	<p>Rusakov A. V., Simonova J. V., Popov A. I., Ryumin A. G., Lemeshko N. A., Mirin D. M., Volina O. V.. Assessment of the Agroecological State and Trends of Evolutionary Changes in Arable Soils of the Yaroslavl Volga Region over 30 Years Based on the Soil-Ecological Index. Moscow University soil science bulletin, 2022, 77 - 5, 343-355</p> <p>Lemeshko N.A., Evstigneev V.P., Morozov A.P., Rusakov V.A.. Применимость данных МОЦАО для оценки агроклиматических условий отдельных территорий. Системы контроля окружающей среды, 2021, 3, 23-30</p> <p>POPOV A.I., ZELENKOV V.N., MARKOV M.V., ZHILKIBAYEV O.T., ROMANOV O.V., SAZANOVA E.V., KHOLOSTOV G.D., TSIVKA K.I., SHALUNOVA E.P., SIMONOVA J.V., SONG GE. HUMIC SUBSTANCES AND THE MECHANISM OF THEIR INFLUENCE ON THE PRODUCTION OF HIGHER GREEN PLANTS. Sabrao Journal of Breeding and Genetics, 2022, 54 - 4, 908-916</p> <p>Русаков Алексей Валентинович, Лебедева Марина Павловна Симонова Юлия Владимировна. Тренды изменений почв под многолетними залежами Ярославского Поволжья в постсоветский период на основе их иерархической морфологической диагностики. 2022, 334-339</p> <p>Лемешко Наталья Александровна, Евстигнеев Владислав Павлович, Русаков Алексей Валентинович, Симонова Юлия Владимировна, Морозов Антон Павлович. Современные изменения агроклиматических ресурсов и их прогноз для территории Ярославского Поволжья. 2022, 267-271</p> <p>Русаков Алексей Валентинович, Попов Александр Иванович, Симонова Юлия Владимировна, Рюмин Александр Георгиевич, Мирин Денис Моисеевич. Изменение структурного состояния и некоторых свойств почв разновозрастных залежей Ярославского Поволжья в контексте оценки земельных ресурсов региона. Использование и охрана природных ресурсов в России, 2022, 3(171), 32-43</p> <p>Симонова Юлия Владимировна, Русаков Алексей Валентинович, Лемешко Наталья Александровна, Simonova Yuliya, Rusakov Aleksey, Lemeshko Natal'ya. Saline soils of the Rostov Lowland (Yaroslavl Volga</p>

region): current state, hydrological aspects of salinization and evolution trends in the context of climate change. Труды Карельского научного центра Российской академии наук, 2022, 8, 31

Русаков Алексей Валентинович, Мирин Денис Моисеевич, Симонова Юлия Владимировна, Лемешко Наталья Александровна, Лебедева Марина Павловна. Почвенно-геоботанические записи эволюции разновозрастных залежей Ярославского Поволжья на фоне климатических изменений. 2022, 309-318

Simonova Yu.V., Rusakov A.V.. The lithological diversity assessment as a factor of potential fertility: the case of arable soils of the Yaroslav region (Central Russia). 2022, 111-112

Симонова Юлия Владимировна. Природная и антропогенная неоднородность почв и статистические методы ее изучения. 2022, 37-42

Мирин Денис Моисеевич, Русаков Алексей Валентинович, Симонова Юлия Владимировна. Изменение почвенно-экологических характеристик растительности в ходе сукцессий на заброшенных пашнях в Ярославской области за последние 30 лет. 2022, 156-158

Цивка Ксения Игоревна, Попов Александр Иванович, Симонова Юлия Владимировна, Сун Гэ, Холостов Георгий Дмитриевич, Бирилко Данила Александрович, Сазанова Екатерина Витальевна. Новый подход к оценке качественного состава почвенного органического вещества. 2021, 3, 113-114

Попов Александр Иванович, Русаков Алексей Валентинович, Симонова Юлия Владимировна. Изменение качественного состава органического вещества почв Ярославской области за 30-40-летний период при разных типах землепользования. 2021, 3, 161-163

Русаков Алексей Валентинович, Симонова Юлия Владимировна, Рюмин Александр Георгиевич, Попов Александр Иванович, Лемешко Наталья Александровна. Почвенно-экологическое состояние пахотных угодий накануне аграрной реформы как точка отсчета для оценки их трансформации в период постагрогенеза (на примере Ярославской области). 2021, 3, 580-582

Лемешко Наталья Александровна, Евстигнеев Владислав Павлович, Русаков Алексей Валентинович, Симонова Юлия Владимировна. Актуализация климатических индексов для оценки отклика почв агроландшафтов на современное глобальное потепление. 2021, 3, 611-612

Симонова Юлия Владимировна, Русаков Алексей Валентинович, Попов Александр Иванович, Рюмин Александр Георгиевич, Лемешко Наталья Александровна, Мирин Денис Моисеевич. Морфологические особенности и климатообусловленные признаки эволюции постагрогенных почв Ярославского Поволжья в связи с последними климатическими тенденциями. 2021, 3, 821-822

Simonova Julia, Rusakov Alexey, Ryumin Alexander, Mirin Denis, Lemeshko Natalya, Popov Aleksandr, Rusakova Elena. The response of salt-affected hydromorphic soils of the Nero Lake basin to the recent climate change within the Upper Volga Region, Russia. Soil & Tillage Research, 2021, 207, 104871

Popov Alehander, Kholostov Georgy, Sazanova Ekaterina, Simonova Julia, Tsivka Ksenia. Karakteristike kvalitativnog sastava organske materije zemljišta - problemi i rešenja. Zemljiste i biljka, 2020, 69 - 2, 26-37

Tsivka K., Popov Aleksandr, Hafez M., Rashad M., Kovaleva Natalya. ОСНОВНЫЕ ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОДУКЦИОННОГО ПРОЦЕССА КУЛЬТИВИРУЕМЫХ РАСТЕНИЙ НА ЗЕМЛЯХ ПОДВЕРЖЕННЫХ ДЕГРАДАЦИИ. 2020, 96-100

Popov Aleksandr, Rusakov A., Simonova Yulia, Tsivka K.. ОЦЕНОЧНЫЕ И ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВЕННОГО СОСТАВА ОРГАНИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВ ЯРОСЛАВСКОГО ПОВОЛЖЬЯ НА ФОНЕ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА. 2020, 169-175

Rusakov Aleksey, Simonova Yulia, Ryumin Aleksandr, Popov A.,

Lemeshko Natalya. ОЦЕНКА ПЛОДОРОДИЯ ПАХОТНЫХ ПОЧВ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ И ТРЕНДЫ ИХ ЭВОЛЮЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ЗА 30-ЛЕТНИЙ ПОСТАГРОГЕННЫЙ ПЕРИОД НА ОСНОВЕ ПОЧВЕННО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ИНДЕКСА. 2020, 81-86

Цивка Ксения Игоревна, Попов Александр Иванович, Русаков Алексей Валентинович, Симонова Юлия Владимировна. Содержание фотосинтетических пигментов как оценочный показатель качественного состава органического вещества постагrogenных почв Ярославского Поволжья. 2021, 372-373

Попов Александр Иванович, Русаков Алексей Валентинович, Симонова Юлия Владимировна, Цивка Ксения Игоревна. Хемодеструкционное фракционирование органического вещества постагrogenных почв Ярославского Поволжья. 2021, 293-294

Mirin Denis, Rusakov Alexey, Simonova Julia, Ryumin Alexander. Particpance of plant species near their northern border of range in plant communities up to 30 years of succession on abandoned arable lands on the north of Yaroslavl' region. 2021, 580

Попов Александр Иванович, Коноплина Лидия Юрьевна, Комолкина Наталия Андреевна, Прилепа Софья Викторовна, Сазанова Екатерина Витальевна, Холостов Георгий Дмитриевич. Компонентный состав почвенного органического вещества. 2021, 2 - 65, 11-19

Simonova Julia, Rusakov Alexey, Popov Aleksandr, Ryumin Alexander, Lemeshko Natalya. Evolution of peat soils under changing climatic conditions across the Nero Lake basin (Upper Volga, Russia). 2020, 130

Лемешко Наталья Александровна, Евстигнеев Владислав Павлович, Русаков Алексей Валентинович, Симонова Юлия Владимировна. Отклик почв на современные изменения климата и землепользования. 2020, 229

Русаков Алексей Валентинович, Лемешко Наталья Александровна, Евстигнеев Владислав Павлович, Симонова Юлия Владимировна. Чувствительность биоклиматических индексов к современному масштабу изменений климата. 2021, 435-436

Искандирова Юлия Ринадовна. Пространственная вариабельность свойств постагrogenных почв южно-таежной подзоны. 2021, 24, 41-43

Мирын Денис Моисеевич, Русаков Алексей Валентинович. Изменение структуры растительных сообществ за 30 лет сукцессии на заброшенных пашнях севера Ярославской области. 2020, 69

Лемешко Н.А., Евстигнеев В.П., Русаков В.А., Симонова Ю.В., Морозов А.П.. Изменение агроклиматических показателей на фоне глобального потепления. 2021, 53-54

Tsivka K, Popov A I, Simonova Yu V, Kholostov G, Sazanova E, Shalunova E P. The new approach to assessing the qualitative composition of soil organic matter. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 2021, 862 - 1, 012030

Rusakov A V, Simonova J V, Ryumin A G, Popov A I, Lemeshko N A. Agroecological assessments of arable and post-arable soils and trends of the post-agrogenic evolution of soils over a 30-year-long period under conditions of changing climate in the northern part of the Upper Volga Region, Russia. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 2021, 862 - 1, 012107

Popov A I, Rusakov A V, Simonova Yu V. Evolution of soil organic matter qualitative composition under different land-use types in the Yaroslavl oblast (European Russia) over longstanding period. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 2021, 862 - 1, 012026

Лемешко Наталья Александровна, Евстигнеев Владислав Павлович, Русаков Алексей Валентинович, Симонова Юлия Владимировна. Влияние глобальных и региональных изменений климата на почвы Ярославского Поволжья. 2021, 4-8

Simonova J. V., Rusakov A.V., Lebedeva M.P., Mirin D.M., Lemeshko N.A., Ryumin A.G. and Popov A.I.. Morphological characteristics and features of soils in connection with post-agrogenic and recent climatic

trends (a case-study from Central European Russia). IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 2021, 862 - 012072, 1-10

Simonova J V, Rusakov A V, Popov A I. Dynamics of soil salinization in the Nero Lake depression (Upper Volga) in connection with the latest climate change. IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 2020, 438, 012026

Симонова Юлия Владимировна, Русаков Алексей Валентинович  
Мирин Денис Моисеевич. Морфолого-генетические изменения автоморфных почв в период их постагрогенеза на примере Пошехонского района Ярославской области, Верхняя Волга. 2020, 298-302

Симонова Юлия Владимировна, Русаков Алексей Валентинович. Динамика засоления приозерного ландшафта котловины озера Неро (Верхняя Волга) на основе мониторинговых наблюдений. 2019, 297–298

Лемешко Наталья Александровна, Евстигнеев Владислав Павлович. Потепления климата в прошлом и настоящем. 2019, 197–199

Лемешко Наталья Александровна, Евстигнеев Владислав Павлович  
Русаков Алексей Валентинович

Симонова Юлия Владимировна. Разработка методологии исследования отклика почв на внутривековые изменения климата. 2020, 43

Симонова Юлия Владимировна, Русаков Алексей Валентинович  
Лемешко Наталья Александровна. Проблема прогноза эволюции постагрогенных почв и оценки их агропроизводственного потенциала в ответ на современные климатические тенденции (на примере Ярославской области). 2020, 64

Рюмин Александр Георгиевич, Симонова Юлия Владимировна. Использование архивных картографических материалов при проведении повторных почвенных обследований (на примере Ярославской области). 2020, 23, 272-273

Евстигнеев Владислав Павлович, Лемешко Наталья Александровна. Empirical diagnosis and forecasting of extremes in a changing climate: a case study of Russia. 2020

503.12.	<p>Приоритетное направление развития науки, технологий и техники РФ, которому, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта</p>	<p>Рациональное природопользование</p>
503.13.	<p>Критическая технология РФ, которой, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта</p>	<p>Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения</p>
503.14.	<p>Основное направление технологической модернизации экономики России, которому, по мнению исполнителей, соответствуют результаты данного проекта</p>	<p>не очевидно</p>

503.15.

Направление из  
Стратегии научно-  
технологического  
развития Российской  
Федерации

Возможность эффективного ответа российского общества на большие вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий, социальных институтов на современном этапе глобального развития, в том числе применяя методы гуманитарных и социальных наук