

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт Наук о Земле
Кафедра почвоведения и экологии почв

ПОДОЛЯНЧУК АННА ИГОРЕВНА

Выпускная квалификационная работа

Оценка модели потенциального плодородия залежных почв при переводе их в пашню на фоне изменения климата (на примере Ярославской области)

Уровень образования: магистратура

Направление 06.04.02 "Почвоведение"

Основная образовательная программа:

ВМ.5522 "Почвоведение"

Научный руководитель: Зав. кафедрой почвоведения и
экологии почв СПбГУ, доктор геогр. наук, профессор
Русаков Алексей Валентинович

Рецензент: Вед. научный сотрудник, доктор с.-х. наук
Сапожников Петр Михайлович

Санкт-Петербург

2024

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
Глава 1. Обзор литературы.....	6
1.1 Факторы почвообразования Ярославской области.....	6
1.2 Общая характеристика залежных почв Ярославской области.....	10
1.3 Способы оценки потенциального плодородия земель с/х назначения	15
Глава 2. Объекты и методы исследования.....	21
2.1 Объекты исследования.....	21
2.2 Методы исследования.....	25
Глава 3. Результаты и обсуждения.....	28
3.1 Выявление тренда изменения свойств почв, важных для расчета Ун.....	28
3.2 Характер изменения морфологических свойств почв хронорядов пашня-залежь.....	42
3.3 Изменение величин агроклиматического потенциала и почвенно- экологического индекса почв хронорядов.....	43
3.4 Анализ фактической урожайности изученных почв хронорядов пашня-залежь и пашня-пашня по состоянию на 1979–1989 гг. и современный период.....	46
3.5 Нормативная урожайность, вычисленная для почв хронорядов пашня-пашня и пашня-залежь	48
Выводы.....	58
Приложение 1.....	59
Таблица «Физико-химические и химические свойства почв разновозрастных залежей и исходных агропочв (разрезы заложены в 1986–1990 гг.), баллы ПЭи и их составляющие»	
Приложение 2.....	60
Описание разрезов районов Ярославской области	
Приложение 3.....	70
«Архивные данные по почвам землепользования хозяйств Ярославской области, хранящиеся на кафедре почвоведения и экологии почв СПбГУ»	
Приложение 4.....	71
Поправочные коэффициенты для расчета Ун зерновых культур	
Список литературы.....	74

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность проблемы:

В рамках Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации (далее – РФ), утвержденной Указом Президента РФ от 1 декабря 2016 г., указано, что в числе приоритетного и перспективного направления научно-технологического развития РФ в ближайшие 10–15 лет является переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству и созданию безопасных и качественных продуктов питания (Стратегия..., 2016).

В этом контексте важной задачей остается увеличение производства сельскохозяйственной продукции (далее – с/х продукции), что требует вовлечения в оборот залежных земель и повышения их плодородия. Согласно Государственному национальному докладу 2023 г. и экспертной оценке специалистов Россельхознадзора в России имеется порядка 4381,1 тыс. га залежных почв, преимущественно в Центральном и Северо-Западном федеральных округах.

С 2021 г. Реализуется Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения (далее – с/х назначения) и развития мелиоративного комплекса РФ на 2021–2030 гг., которая предполагает возвращение 12 млн. га из 44 млн. га всех неиспользуемых земель РФ (Постановление Правительства РФ № 731, 14.05.2021). Стоимость Программы превышает 1,41 трлн. руб.

Реализация комплекса мероприятий Государственной программы позволит при выходе мелиоративного комплекса на запланированную мощность в 2030 г. обеспечить годовой прирост продукции растениеводства не менее 60 млн. т зерновых единиц, что в стоимостном выражении может составить не менее 463 млрд. руб. Налоговые поступления в бюджеты различных уровней в период реализации Госпрограммы оцениваются в 136 млрд руб.

В настоящее время большое внимание уделяется государственной кадастровой оценке земель с/х назначения, поскольку именно эти земли имеют приоритет по сравнению с другими категориями земель в обеспечении продовольственной безопасности страны, отличаются социально-экономической важностью и являются незаменимым средством производства в сельском хозяйстве. Правовой режим данных земель имеет отличительные особенности, среди которых выделяют обеспечение почвенного плодородия, предотвращение сокращения их площадей и защиту земель от негативных внешних воздействий (Быкова, и др., 2022).

Особенно это актуально в рамках современной парадигмы почвоведения, где почва рассматривается как сложная и динамичная система, проблемы, связанные с изменением климата, приобретают особую актуальность. Изменения климата представляют серьезную угрозу для устойчивости сельского хозяйства и землепользования, воздействуя напрямую на почвенные ресурсы, включая залежные почвы, традиционно используемые в сельском хозяйстве. Эволюция этих почв под воздействием климатических изменений поднимает важные научные и практические вопросы.

Необходимость в устойчивом земледелии, адаптированном к изменениям климата, поднимает вопросы эффективного управления залежными почвами. Эти почвы, с их уникальными свойствами и биоразнообразием, требуют комплексных и научно обоснованных стратегий для сохранения их плодородия и предотвращения деградации.

Оценка потенциального плодородия почв в контексте перехода из залежного состояния в пахотное представляет собой научный процесс, включающий изучение изменений, происходящих в характеристиках почвенного профиля при воздействии антропогенных факторов, таких как пашня. В данной магистерской диссертации верификация модели потенциального плодородия является неотъемлемой частью научного исследования, учитывающих множество факторов, влияющих на почвенные свойства. Модель учитывает физические, химические и биологические аспекты взаимодействия почвы с антропогенными воздействиями, связанными с их распашкой.

Верификация модели потенциального плодородия включает сопоставление результатов, предсказанных моделью, с фактическими данными по урожайности почв по хозяйствам Ярославской области. Этот процесс подразумевает статистический анализ и сравнение параметров моделирования с реальными показателями почвенного состояния исходно пахотных почв, этих почв, переведенных в разновозрастные залежи, а также почв, постоянно находящихся в распашке.

Экономические аспекты также подчеркивают актуальность проблемы, поскольку сельскохозяйственная деятельность тесно связана с состоянием почвы. Эффективное адаптивное управление залежными почвами в условиях изменяющегося климата имеет значение для обеспечения продовольственной безопасности и устойчивого развития агропромышленного комплекса и социально-экономического развития России, в частности, Ярославской области.

Актуальность и оригинальность исследований заключается также и в том, что мы владеем информацией по фактической урожайности почв (или агрогрупп почв) на момент 1990 г., когда эти почвы впоследствии 1) были переведены в разновозрастные залежи или 2) находились в пахотном состоянии еще не менее 30 лет. Наряду с этим, на основе

современных методов и подходов, мы имеем возможность оценить климатический потенциал для исчисления нормативной урожайности пашни/залежи не только на современный момент, но пахотных почв на период 1961–1991 г., что, по-нашему мнению, позволит наиболее объективно оценить агроклиматический потенциал почв на конкретный период оценки.

Цель исследования:

Верификация и оценка модели потенциального плодородия залежных почв при переводе их в пашню на фоне изменения климата (на примере Ярославской области) на основе нормативной урожайности (ГОСТ Р 70229-2022).

Задачи исследования:

1. Систематизация исходных данных по пахотным почвам (1984–1990 гг.) для вычисления нормативной урожайности на основе архивных материалов и климатических параметров на 1961–1991 гг.

2. Систематизация почвенных данных по разновозрастным залежам на месте бывших пахотных почв и климатическим параметрам 1991–2021 гг.; привязка данных по фактической урожайности к конкретным почвам или агрогруппам в пределах землепользований бывших хозяйств.

3. Выявление трендов и характера изменения морфологического строения и свойств почв в хронорядов пашня-залежь и пашня-пашня.

4. Апробация модели потенциального плодородия хронорядов почв на основе расчета нормативной урожайности почв и сравнение с фактической урожайностью на 1979 – 1989 гг., корреляция с почвенно-экологическим индексом и оценка потенциала вовлечения залежных почв в распашку.

1.1 Факторы почвообразования Ярославской области

Для оценки плодородия земель необходимо учесть ряд особенностей почв, которые были сформированы под влиянием различных факторов.

Факторы почвообразования – это различные природные факторы, которые определяют характеристики почвы и ее формирование в процессе времени. Основными факторами, которые влияют на почвообразование, являются:

1. Материнская порода: тип породы, которая лежит в основе почвы, влияет на ее свойства и характеристики.
2. Рельеф: уклон, высота, форма поверхности, гидрологические условия и другие факторы рельефа определяют скорость образования почвы, ее свойства и расположение.
3. Климат: температура, влажность, осадки, ветер и другие климатические условия сильно влияют на скорость почвообразования и ее свойства.
4. Биотические факторы: животные и растительность, влияют на качество почвы и ее состав, а также на скорость процесса почвообразования.
5. Время: время, необходимое для образования почвы, может варьироваться в зависимости от всех вышеперечисленных факторов.

Рассматривая в совокупности основные характеристики рельефа, климата, горных пород, биоты исследуемой территории, мы получаем возможность предсказывать и прогнозировать особенности строения и функционирования ее почвенного покрова, что сказывается на ее плодородии и, как следствие, на урожайности.

Ярославская область является частью Центрального федерального округа, граничит с Владимирской, Вологодской, Ивановской, Костромской, Московской, Тверской областями (Национальный атлас России, 2008). Протяженность территории Ярославской области с севера на юг составляет 270 км, с запада на восток – 220 км. Площадь области составляет 36 177 км² (рисунок 1) (Торгово-промышленная палата Ярославской области, 2024).

Рельеф области имеет вид слабо всхолмленной, частично заболоченной равнины. Большую роль в формировании рельефа сыграл ледник. Возвышенности тянутся в направлении с юго-запада и сложены преимущественно мореной (ледниковыми отложениями), самые крупные из них – Даниловская и Борисоглебская возвышенности. По юго-восточной части территории проходит Клинско-Дмитровская гряда. Самой высокой точкой является возвышенность Тархов холм (на севере Переславского района), который имеет высоту 294 м над уровнем моря. Самая низкая точка – река Волга на границе с

Костромской областью. На востоке и северо-западе области расположены протяженные низины – Ростовская и Ярославско-Костромская, соединенные долиной реки Которосль. Там же располагается и Молого-Шекснинская низина, которая до создания Рыбинского водохранилища представляла собой обширное пространство площадью около 30 000 км², затопляемое в половодья (Торгово-промышленная палата Ярославской области, 2024, Почвенный покров...,1986).

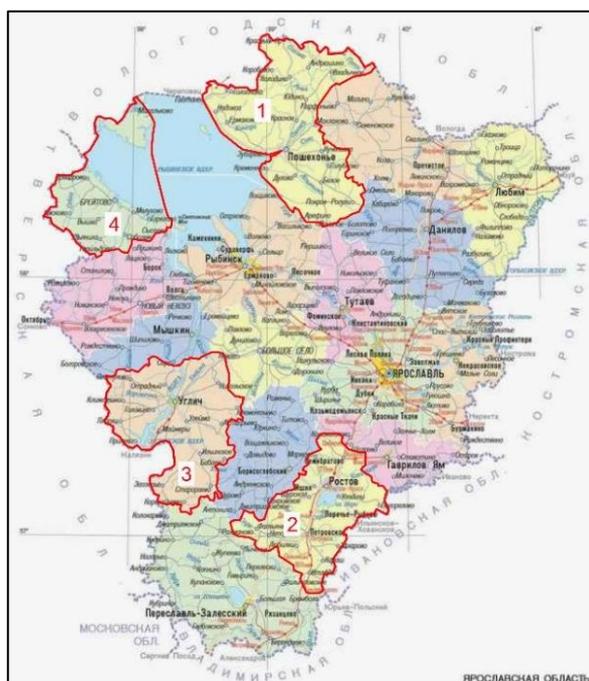


Рисунок 1. Географическое положение и административно-территориальное деление Ярославской области (Торгово-промышленная палата Ярославской области, 2024). Красными границами выделены районы исследования: 1 – Пошехонский; 2 – Ростовский; 3 – Угличский; 4 – Брейтовский.

Данный рельеф и обилие водных объектов способствуют проявлению гидроморфизма в почвах Ярославской области, что значительно снижает потенциальное плодородие.

Климат умеренно-континентальный с коротким, относительно теплым летом, продолжительной, умеренно холодной зимой и ясно выраженными сезонами весны и осени. Среднемесячная температура самого холодного месяца года – января – изменяется от $-10,5^{\circ}\text{C}$ до -12°C , а самого теплого – июля от $+17,5^{\circ}\text{C}$ до $+18,5^{\circ}\text{C}$.

Ярославская область расположена в зоне достаточного увлажнения. Общее годовое количество осадков составляет около 600 мм в год, причем 2/3 из них выпадает летом и осенью. Величина испарения составляет в среднем 400 мм. Наибольшая относительная влажность приходится на декабрь (65–93%), наименьшая – на май (52–56%). Вегетационный

период длится 165-170 суток. представляла собой обширное пространство площадью около 30 000 км², затопляемое в половодья (Торгово-промышленная палата Ярославской области, 2024). В таблице 1 приведены климатические показатели района исследования с метеостанции Ростов.

Таблица 1. Основные климатические показатели. Ярославская область. (Справочник по климату...,1964, Карманов и др., 2012).

Год	ср t°С я	ср t°С и	ср t°С год	Σt°>10	Осадки, мм/год	КУ	КК
1986	-10,8	+18,0	+3,4	1970	641	1,5	154
2013	-7,3	+19,0	+3,2	1900	550	1,3	155

Для данной территории характерна сравнительно небольшая амплитуда температур января и июля из-за большого количества водных объектов, крупнейшими из которых является Рыбинское водохранилище. Как видно по данным табл. 1, за указанные 27 лет наблюдений приведены несколько противоречивые данные: проявился устойчивый тренд повышения температуры за самый холодный и теплый месяцы года, при этом среднегодовая температура несколько снизилась, а сумма активных температур заметно уменьшилась. Годовое количество осадков уменьшилось, которое сопровождалось также уменьшением коэффициента увлажнения.

Почвообразующие породы представлены преимущественно широким спектром четвертичных пород. Озёрные террасы сложены в основном водно-ледниковыми песками, древнеаллювиальными суглинками и глинами. Почвы на пологих склонах и выположенных вершинах формируются на мощных покровных лессовидных суглинках и глинах, моренных отложениях и различных вариантах двучленных почвообразующих пород (Почвенный покров...,1986).

Почвообразующие породы служат источником образования минеральной части почвы, а также источником связанной с ними энергии (химической, поверхностной, тепловой), принимающей участие в почвообразовании. Почвообразующие породы обуславливают формированию в нашем регионе в основном суглинистые почвы.

Почвы. Основной фон почвенного покрова составляют дерново-подзолистые почвы разной степени оподзоленности, суглинистого и супесчаного гранулометрического состава (рисунок 2). На равнинных участках и в понижениях лежат малопродуктивные дерново-сильноподзолистые почвы. Возвышенные места южных и западных районов покрыты дерновыми слабоподзолистыми почвами. Глинистые и тяжелосуглинистые почвы типичны для северо-восточных районов области, среднесуглинистые – для западных и северо-

западных, легкосуглинистые и супесчаные преобладают на правобережье Волги (к югу от Рыбинска). Дерново-подзолистые почвы занимают 46,5% от площадей области. Подавляющее большинство этих почв обладает благоприятным для возделывания сельскохозяйственных культур механическим составом. Болотно-подзолистые почвы занимают 13,7%. Болотные почвы охватывают 6,8% территории области, дерновые глееватые и глеевые почвы занимают 3,5%, серые лесные почвы – 0,4% площадей. При такой пестроте почвенных разностей, они характеризуются малой мощностью и бесструктурностью пахотного слоя, недостатком органических веществ, повышенной кислотностью. представляла собой обширное пространство площадью около 30 000 км², затопляемое в половодья и как следствие снижение плодородия (Торгово-промышленная палата Ярославской области, 2024).

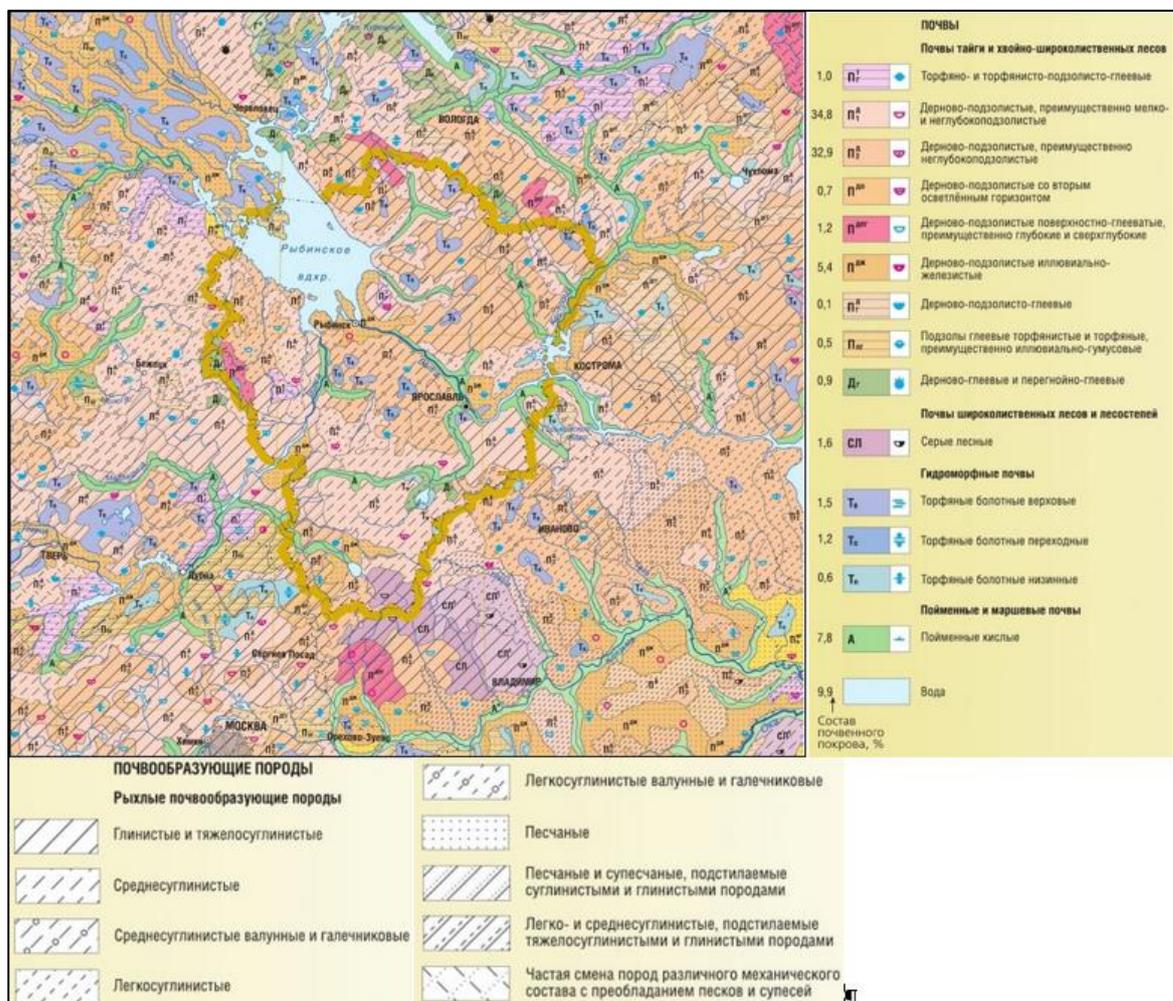


Рисунок 2. Ярославская область. Почвенная карта, масштаб 1:2500000 (Национальный атлас почв РФ, Шоба и др., 2011).

Растительность. Ярославская область расположена в зонах южной тайги и смешанных лесов. В таежных лесах растет ель, сосна, осина и береза, а в смешанном лесе

также произрастают более теплолюбивые широколиственные виды – дуб, клен, липа и др. Лесистость территории составляет 45%. Основное разнообразие растений области представлено лесными, болотными и луговыми видами. Дикорастущая флора области насчитывает около 1130 видов растений. В связи с вырубкой лесов и осушением болот сокращаются запасы обычных видов (клюквы, голубики, лещины). В растительном покрове области существенное место занимает болотная растительность. На болотных массивах произрастают около 90 редких для области видов, среди которых немало реликтов доледникового периода. Флора богата видами растений, имеющими большое практическое значение: древесно-целлюлозно-бумажное и декоративное, дубильное, пищевое и пряно-ароматическое, лекарственное, кормовое, медоносное. представляла собой обширное пространство площадью около 30 000 км², затопляемое в половодья (Торгово-промышленная палата Ярославской области, 2024).

Все эти факторы взаимодействуют между собой и определяют характеристики почвы и ее свойства в определенном месте и в определенное время. Значительную роль в формировании морфологического облика и свойств почв в настоящее время играет антропогенный фактор. Значительная часть почв Ярославской области была распахана, однако в настоящее время многие из с/х угодий находятся в залежном состоянии.

1.2 Общая характеристика залежных почв Ярославской области

По оценкам учёных, всего за XX век (1897–2007 гг.) из сельскохозяйственного оборота России было выведено около 70 млн. га угодий. Часть из них была «съедена» разрастающимися городами, объектами промышленности и инфраструктуры. Однако подавляющая часть неиспользуемых (бросовых) земель сельскохозяйственного назначения преобразовалась в залежные земли (залежи) – от 30–45 до более 60 млн. га, где главную роль стали играть природные процессы восстановления постагрогенных экосистем. Официальный учёт стихийно возникших залежей в кризисный период страны 90-х годов XX века должным образом не проводился. Поэтому на сегодня дать объективную оценку площади залежей и охарактеризовать их почвенно-агроэкологический потенциал сложно (Нечаева, 2023).

Многие исследователи подчёркивают, что для принятия решения по возврату залежей в пашню необходим предварительный осмотр каждого земельного участка, анализ состояния почв и растительности, расчёт финансово-экономических и прочих затрат. Мозаичная разбросанность залежных земель по всей территории нашей огромной страны и высокая вероятность их расположения на деградированных почвах позволяют с уверенностью утверждать, что повсеместная распашка залежей нецелесообразна, и даже вредна, поскольку

вызовет новый этап развития разных видов деградации. Залежные земли могут быть использованы в качестве сенокосов и пастбищ (кормовые ресурсы); постагрогенных лесных экосистем с разнообразными замещающими (заготовка древесины; охота; собирательство и заготовка ягод, грибов и лекарственных растений), рекреационными и биосферными природными ресурсами; лесов-поглотителей парниковых газов («Киотские плантации»); для развития сельского туризма. Таким образом, необходим поиск решений, дифференцированных в зависимости от состояния почв и растительности на залежных землях и всех прочих природных и социально-экономических условий (Нечаева, 2023).

Обобщение знаний по распространению и агроэкологическому состоянию залежных земель России дают возможность учёным, землепользователям и широкому кругу специалистов в области оценки и охраны природных ресурсов прогнозировать процессы, происходящие в почвах и растениях в ходе постагрогенных сукцессий и принимать решения по рациональному использованию залежей.

Выбывание земель из активного сельскохозяйственного оборота (далее – с/х оборот) существует с тех пор, как человек стал земледельцем и начал осваивать методом проб и ошибок тонкости ведения сельского хозяйства. В глобальном масштабе в период с 1700 по 1990 гг. было заброшено порядка $1,5 \times 10^6$ км² пахотных земель (Ramankutty, Foley, 1999). По мнению М.Л. Бурдуковского, П.А. Перепелкиной (2022), наибольшее сокращение посевных площадей отмечено в экономически развитых странах, а также в государствах, имеющих в территориальном составе горные районы. В частности, такое сокращение произошло в Восточной Европе (Cramer et al., 2008; Alcantara et al., 2012), Юго-Восточной Азии (Li S., Li X., 2017) и на территории бывшего СССР (Курганова, Лопес де Гереню, 2009; Люри и др., 2010; Телеснина и др., 2017).

Выведение из активного сельхозоборота части земель сельскохозяйственных угодий (далее – с/х угодий) под залежные земли может быть связано с различными причинами (Хитров и др., 2008; Люри и др., 2010; Сорокина и др., 2016):

1. снижение плодородия почв и деградация земель;
2. войны и различные кризисные ситуации;
3. целенаправленный временный вывод для восстановления плодородия почв природными экосистемами (переложная система земледелия);
4. использование земель сельхозугодий для строительства дорог, промышленных предприятий и жилищ, для создания рекреационных зон;
5. целенаправленное восстановление природных экосистем на месте бывших сельхозугодий.

Реформирование аграрного сектора России после распада СССР привело к трансформации крупных сельскохозяйственных предприятий, развитию многоукладной экономики, частных сельскохозяйственных предприятий, крестьянских (фермерских) и личных хозяйств населения.

Стихийно сложившиеся экономические взаимоотношения в системе агропромышленного комплекса страны (в частности диспропорция ценообразования на горюче-смазочные материалы, удобрения, средства химзащиты растений и пр.) обусловили убыточность земледелия, ограничили возможность обрабатывать землю на значительных площадях (Захаренко, 2008; Свинцов и др., 2008; Куликова, Ефремова, 2017; и др.). Поэтому с начала 90-х годов XX века в сельском хозяйстве страны сложилась (и до сих пор сохраняется) устойчивая тенденция вывода из активного сельхозоборота ранее засеваемых пахотных угодий, не обеспечивающих рентабельное возделывание выращиваемых культур.

В настоящее время сотни тысяч гектаров незасеваемой пашни, попав в категорию неиспользуемых (бросовых) земель с/х назначения оказались благоприятной средой для восстановления природных ландшафтов, стали активно зарастать луговой, кустарниковой и древесной растительностью и, таким образом, перешли в постагрогенные залежные экосистемы (Сорокина, 2008; Бобринев, Пак, 2015; Дмитриев, Леднев, 2016; Телеснина, 2021; Данилов и др., 2022; и др.). Актуальность всестороннего изучения процессов, происходящих на залежных землях (залежах), определяется огромными масштабами их распространения в связи с экономическими трудностями в сельском хозяйстве страны и перераспределением земель между собственниками (Аницеферова, 2008; Щукин и др., 2018).

Отсутствие надлежащего государственного контроля за состоянием земельных ресурсов, экстенсивный характер хозяйствования во многих регионах страны чреваты тяжёлыми экологическими и социально-экономическими последствиями в виде снижения плодородия почв, потерь огромных обжитых территорий, структурной и демографической деградации села, продовольственной зависимости от других стран (Савостьянов, 2004; Каштанов, Сизов, 2008; Люри и др., 2010; Иванов, 2015; и др.).

Согласно Государственной программе эффективного вовлечения в оборот земель с/х назначения и развития мелиоративного комплекса РФ, утверждённой постановлением Правительства РФ 14 мая 2021 г. № 731, динамика вовлечения в оборот земель с/х назначения показана увеличивается большими темпами и прирост за 10 лет составит более 11 млн. га (рисунок 3).

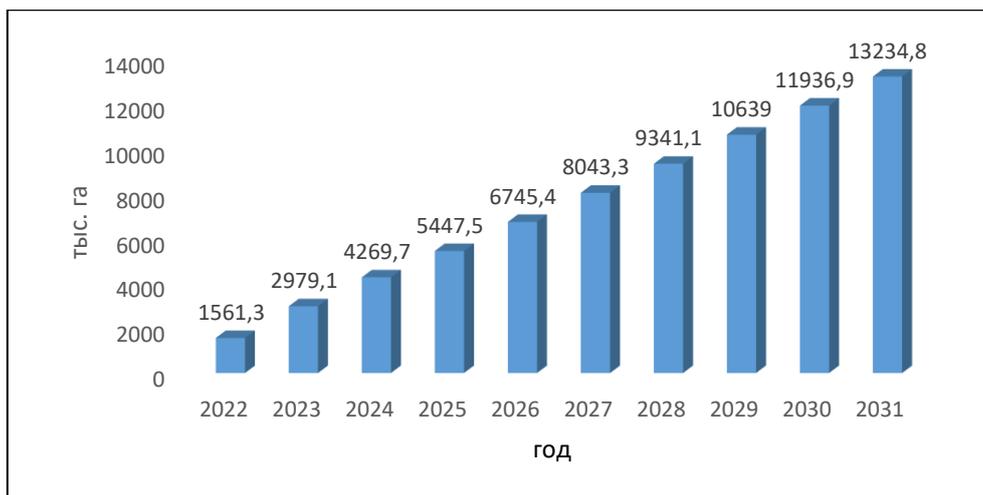


Рисунок 3. Динамика вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения по РФ, тыс. га (2019 г. (базовый) – 0,0 тыс. га) <https://rosstat.gov.ru/>

По данным всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 г. по муниципальным образованиям Ярославской области земли с/х назначения составляют значимую часть – 650, 96 тыс. га земельного фонда Ярославской области (общая площадь 832, 31 тыс. га).

В структуре земель с/х назначения наибольшую долю составляют: пашня – 65%, залежь – 14%, сенокосы – 11%, пастбища – 10%, многолетние насаждения – 1% (рисунок 4).

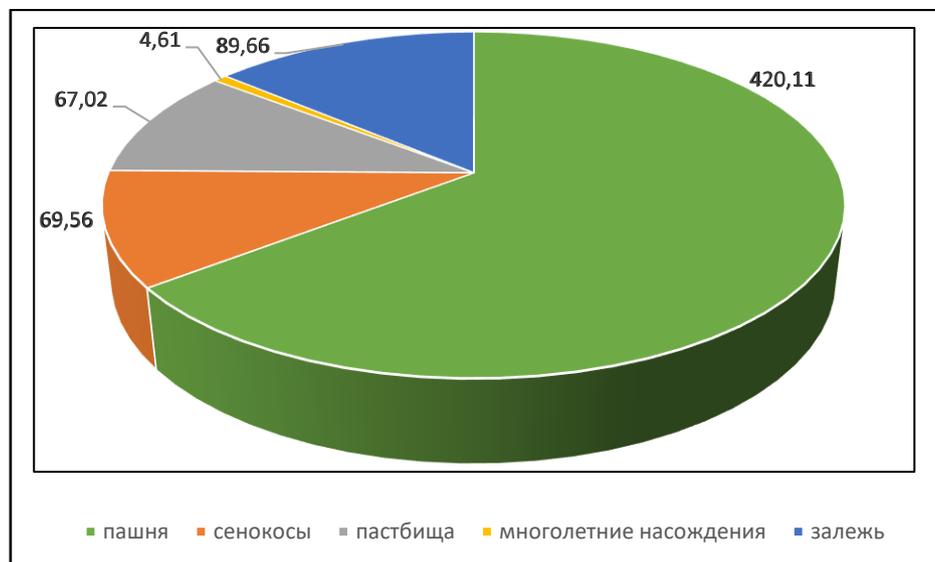


Рисунок 4. Распределение площадей земельного фонда по категориям земель по Ярославской области на 2016 г., тыс. га <https://76.rosstat.gov.ru/>

Среди всех с/х угодий в Ярославской области залежи распространены довольно широко и занимают второе место после пахотных земель и составляют 89,66 тыс. га (14%).

На рисунке 5 представлено распределение залежных почв по исследуемым районам по состоянию на 2016 г.

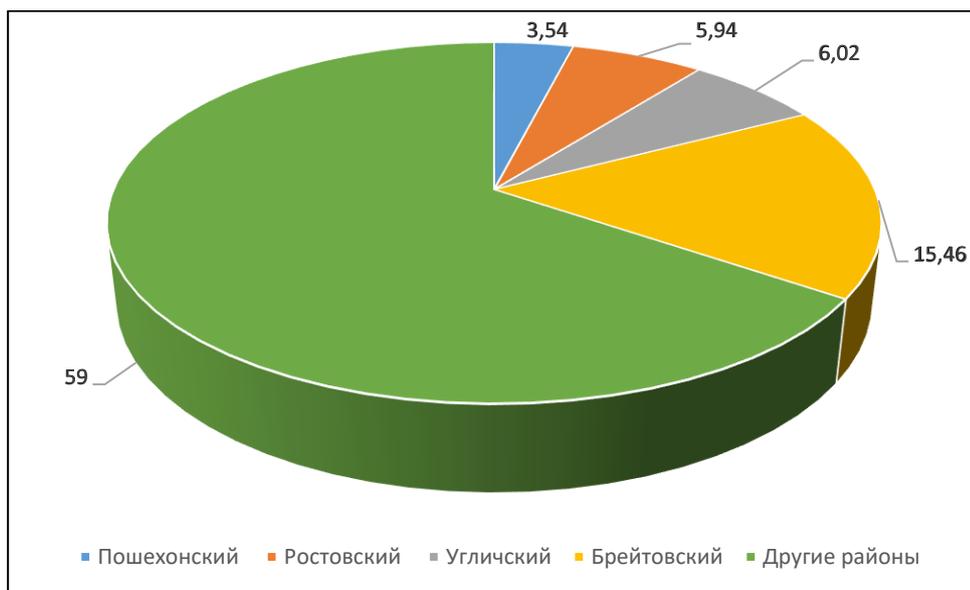


Рисунок 5. Распределение площадей залежи по районам Ярославской области на 2016 г., тыс. га <https://76.rosstat.gov.ru/>

Из приведенных данных следует (рисунок 5), что наибольшая часть приходится на Брейтовский район, примерно в три раза меньше по площади – на Угличский и Ростовский районы; самая меньшая площадь залежи пришлась на Пошехонский район.

Экспериментальные исследования по проблеме эффективного вовлечения в оборот неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения проводились в Центральном Нечерноземье РФ с 2003 г., на примере Конаковского и Ржевского районов Тверской области. Для анализа и обобщения сведений пользовались статистическим материалом по регионам и субъектам Нечерноземной зоны, а также научными трудами авторитетных отечественных ученых в области мелиоративного земледелия (Шевченко, 2021). По наблюдениям исследователей, вовлекаемые в оборот земли условно можно разделить на 4 категории:

I. Земли, недавно выбывшие из производственного цикла, заросшие исключительно травянистой сорной растительностью, с запасами растительной биомассы не более 30 т/га. Их следует осваивать в первую очередь, поскольку они не нуждаются в ликвидации древесно-кустарниковой растительности.

II. Территории, заросшие травянисто-кустарниковой растительностью с диаметром стеблей до 4 см и покрытые кочками или без них, с запасами надземной биомассы до 60 т/га,

не используемые в сельскохозяйственном производстве до 10 лет. Такие земли условно можно отнести ко второй очереди освоения.

III. Земли, выбывшие из производственного цикла 10–15 лет на зад, заросшие сорной травянистой растительностью, кустарником или молодой порослью березы, осины, ольхи, сосны с диаметром стволов до 9 см. Запас надземной биомассы не превышает 90 т/га, однако повторное введение в оборот этих земель требует значительных материальных затрат, поэтому они относятся к третьей очереди освоения.

IV. Земли, преимущественно заросшие молодым, плотно растущим мелколесьем с диаметром стволов более 10 см, выбывшие из производственного использования более 15 лет, с запасами надземной биомассы более 100 т/га.

Для ввода залежных земель требуются значительные экономические и временные затраты на культурнотехнические и подготовительные работы по оптимизации водного, воздушного, кислотного и питательного режимов, поскольку на них произошло полное восстановление лесной флоры и фауны.

Необходимо отметить, что наибольшие площади земель I категории, подлежащих вовлечению в оборот, сконцентрированы в Ленинградской (29,7%), Вологодской (28,4%), Ярославской (25,7%) и Костромской (23,4%) областях, в то время как самые затратные по степени освоения, земли IV категории занимают большие территории в Калининградской (17,6%), Новгородской (14,4%), Тверской (13,9%) и Псковской (13,8%) областях.

В сумме по всем четырем регионам Нечерноземной зоны на земли I категории приходится 318,8 тыс. га (22,2%), II – 460,8 тыс. га (32,1%), III – 433,7 тыс. га (30,2%) и IV категории – 222,1 тыс. га (15,5%).

Освоение выбывших из оборота земель Нечерноземной зоны потребует серьезных материально-денежных затрат, однако по самым скромным подсчетам это позволит дополнительно получить 30–35 млн. т зерна. Кроме того, даст мощный импульс развитию животноводства, а также обеспечит сотни тысяч россиян постоянной работой и стабильной заработной платой (Шевченко, 2022).

1.3 Способы оценки потенциального плодородия земель с/х назначения

В мировой практике применяются способы сравнительной оценки с/х угодий на основе рыночной стоимости и по результатам их фактического использования на основе усредненной урожайности сельскохозяйственных культур и других производственных показателей (Антонов, Лойко, 1999).

В России рынок земель с/х назначения, в частности пригодных под с/х угодья, только формируется, их стоимостные показатели на современном этапе неустойчивы. Кроме того, эти способы не опираются на свойства территории, не имеют физического обоснования, и потому являются малоинформативными в производственных целях (для обоснования структуры посевных площадей, системы земледелия, мелиорации угодий, введения севооборотов и др.).

Другие, более информативные способы заключаются в оценке земель как средства сельскохозяйственного производства. Экономические и стоимостные показатели вычисляются в зависимости от степени доходности производственной деятельности в расчете на тот или иной уровень продуктивности в соответствующих почвенно-климатических условиях.

Известны способы оценки сельскохозяйственных угодий, опирающиеся на бонитировку почв по свойствам, и последующий расчет сопоставимой нормальной урожайности с помощью регрессионных уравнений (Борук, 1972). Бонитет почвы определяется в баллах относительно эталонной почвы (типичного предкавказского чернозема центральной части Краснодарского края). Учитываются: содержание гумуса (%) и физической глины (%) в пахотном слое почвы, запас гумуса (т/га), мощность гумусового горизонта (см), а также вводятся понижающие коэффициенты на негативные свойства почв (смытость, щебневатость, солонцеватость). Оценка производится для агропроизводственных групп почв в границах земельно-оценочных районов, сформированных в соответствии с результатами природно-сельскохозяйственного районирования территории.

Есть возможность оценить агропроизводственный потенциал почв бывших пахотных угодий на основе вычисления Почвенно-экологического индекса (далее – ПЭи), как интегрального показателя продуктивности почвы (Савич, Амергужин и др., 1991) и интегрального оценочного критерия качества пахотных почв, который включает почвенную (П), климатическую (К) и агрохимическую (А) составляющие. Этот показатель относится к мультипликативным индексам, широко применяемым в мировой практике оценки земель. Целесообразность использования ПЭи подтверждена для оценки не только конкретных почв, но и почвенных комбинаций, включая оценку агроэкологической контрастности, а, следовательно, позволяет с большой обоснованностью принимать управленческие решения по рациональному использованию сельскохозяйственных угодий и структуры землепользования в целом. (Булгаков, и др., 2013, Карманов, Булгаков, 2002, 2012; Сорокина, и др., 2011; Чибилев, и др., 2016).

Показано, что в условиях гумидного климата Нечерноземной зоны ПЭи хорошо отражает лимитирующие факторы плодородия — дефицит теплообеспеченности, избыточное увлажнение и низкие запасы органического вещества (Дубровина, 2015).

Почвенно-экологические показатели рассчитывались по формуле (1):

$$\text{ПЭи} = 12,5(2 - V)\Pi \cdot \text{Дс} \frac{(\sum t > 10^\circ\text{C})(\text{КУ} - \text{Р})}{\text{КК} + 100} \text{А} \quad (1)$$

где ПЭи – почвенно-экологический индекс; V – плотность (объемная масса) почвы (в среднем для метрового слоя), г/см³; 2 – максимально возможная плотность почв при их предельном уплотнении, г/см³; Π – «полезный» объем почвы (в метровом слое); Дс – дополнительно учитываемые свойства почв; $\sum t > 10^\circ\text{C}$ – среднегодовая сумма температур более 10 °С; КУ – коэффициент увлажнения, Р – поправка к КУ; КК – коэффициент континентальности; А – итоговый агрохимический показатель. Величину 12,5 вводят в формулу для того, чтобы привести определенную совокупность экологических условий к 100 единицам почвенно-экологического индекса.

Оценка агроэкологического состояния и продуктивности почв северной и центральной частей Ярославского Поволжья накануне аграрной реформы (до 1991 г.) выполнялась на основе интегрального показателя модели бонитировки ПЭи (Шишов, Дурманов и др., 1991).

В сельском хозяйстве качество почвы определяется ее плодородием, выраженным в баллах бонитета и/или нормативной урожайностью зерновых культур (далее – Ун).

Необходимо отметить, что публикаций с результатами апробования этого метода в научной литературе единичны. Согласно методике для определения качества почв, содержание загрязняющих веществ, включая и радиоактивные вещества, в количествах, превышающих допустимые нормы, препятствует использованию почв в земледелии (Иванов, Столбовой и др., 2024).

В 2017 г. была создана «Подсистема расчета нормативной урожайности зерновых культур в Информационной системе ПГБД РФ» (http://gis.soil.msu.ru/soil_db/assessment/). Подсистема является интернет-ресурсом и функционирует в режиме on-line (реализована также мобильная версия). Расчеты производятся на основании оперативных данных агрохимических наблюдений, архивных данных почвенных обследований, хранящихся в региональных почвенных дата-центрах, и другой необходимой информации (Алябина и др., 2024). В этой статье авторы отмечают, что важнейшими направлениями развития ИС ПГБД на настоящий момент являются обеспечение функционирования и расширение созданной распределенной сети почвенных дата-центров. Формализация и гармонизация почвенной информации, разработка

стандартов обмена позволят алгоритмизировать самые разные задачи, решение которых основано на пространственно-атрибутивных почвенных данных.

Необходимо особо отметить, что показатели нормативной урожайности сельскохозяйственных культур включены в национальный стандарт РФ ГОСТ Р 70229-2022 «Почвы. Показатели качества почв» (Сапожников, Шехтер, 2023). Данный стандарт разработан Акционерным обществом «Всероссийский научно-исследовательский институт сертификации» совместно с Федеральным Исследовательским Центром «Почвенный институт имени В.В. Докучаева».

Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. №162-ФЗ «О стандартизации в РФ».

Настоящий стандарт устанавливает перечень показателей качества почв и методов их определения для земель с/х назначения. Показатели качества почв должны применяться при проведении мониторинга и государственной кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения. Основными критериями оценки качества и классификации земель по их пригодности для использования в сельском хозяйстве являются бонитет почв и показатель Ун.

Качество почв: способность почв выполнять функции, необходимые для их использования в сельском хозяйстве, выраженную в величине бонитета и/или Ун зерновых культур.

Ун зерновых культур: оценка качества почв, выраженная в ц/га, рассчитанная относительно среднего (за пять лет) урожая зерновых (колосовых) культур эталонной почвы в условиях применения норм и структуры затрат по интенсивным зональным технологиям сельскохозяйственного производства, формула (2).

$$U_n = [33,2 \times 1,4] \times [(\frac{АП}{10}) \times (K_1 \times K_2 \times K_3) \times (K_4)] \quad (2)$$

где Ун – нормативная урожайность зерновых культур, ц/га;

[33,2 × 1,4] блок пересчета баллов бонитета почв в Ун зерновых культур, где

33,2 – Ун (ц/га) зерновых культур на эталонной почве, полученная при применении среднего уровня зональных технологий при базовом значении АП (10,0);

1,4 – коэффициент пересчета на уровень урожайности при интенсивной технологии возделывания.

Бонитет почв: оценка качества почв, выраженная в 100 бальной шкале относительно качества эталонной почвы.

$$[(\frac{АП}{10}) \times (K_1 \times K_2 \times K_3) \times (K_4)]$$

модуль расчета бонитета почв,

где $\left[\frac{АП}{10} \right]$ блок расчета агроклиматических условий, где

АП – величина местного агроклиматического потенциала для зерновых культур;

10,0 – базовое значение величины АП.

$\left[K_1 \times K_2 \times K_3 \right]$ блок расчета свойств почв пахотного слоя, где

K1 – содержание гумуса в пахотном слое;

K2 – мощность гумусового горизонта;

K3 – содержание физической глины в пахотном слое.

$\left[K_4 \right]$ блок расчета негативных показателей почв, где

K4 – блок расчета суммарного коэффициента негативных показателей почв.

Агроклиматический потенциал (АП) характеризует специфические требования сельскохозяйственной культуры к агроклиматическим условиям произрастания. Агроклиматический потенциал: вычисляемый показатель качества почв, включающий специфические требования сельскохозяйственной культуры к агроклиматическим условиям произрастания, выраженный в 10-балльной шкале, формула (3) (10 баллов лучшие условия) (Сапожников, Носов, 2012).

Для зерновых культур АП рассчитывается по формуле:

$$АП = \frac{\sum t > 10^0 \times (КУ - P)}{КК + 100} \quad (3)$$

где $\sum t > 10$ – сумма температур выше 10°, берется из климатических (агроклиматических) справочников;

КУ – коэффициент увлажнения (отношение количества осадков к испаряемости); величины КУ более 1,1 принимаются равными 1,1;

P – поправка к КУ,

при КУ > 0,76: P = 0,20 - 0,6(1,1 - КУ);

при КУ = 0,76 - 0,36: P = 0;

при КУ = 0,35 - 0,30: P = 0,35 - КУ;

при КУ < 0,30 P = 0,05;

КК – коэффициент континентальности климата рассчитывается по формуле (4):

$$КК = \frac{360(t^0 \max - t^0 \min)}{\lambda + 10} \quad (4)$$

где t max – средняя температура самого теплого месяца,

t min – средняя температура самого холодного месяца,

λ – широта местности - берется с точностью до десятых долей градуса, КК берется в целых числах. Величины КК более 200 принимаются равными 200.

Показатели качества включают физически измеряемые и вычисляемые характеристики почв и агроклиматических условий произрастания сельскохозяйственных культур, которые тесно коррелируют с урожайностью последних. В качестве показателей качества взяты относительно устойчивые свойства и негативные показатели почв, которые трудно регулируются агротехнологиями, но не исключают возможность использования почв в с/х производстве. В перечень показателей качества почв не входят агрономически значимые характеристики плодородия почв, требующие регулярного регулирования, такие как содержание элементов питания растений, кислотность, состав поглощённых катионов и пр. Также не входят свойства, проявление которых препятствует использованию почв в земледелии (например, содержание загрязняющих и радиоактивных веществ в количествах, превышающих допустимые нормы).

Рассматриваемая модель рассчитывает урожайность относительно таковой эталонной почвы. В качестве эталонной почвы выбран чернозем, сформированный на лессе с содержанием 4% гумуса в пахотном слое, имеющий гумусовый горизонт мощностью 50 см и содержание физической глины 50%. Почвообразующий лесс обладает оптимальными тепловыми и водно-физическими свойствами (водопроницаемость 0,1–1,0 м/сут) и хорошим внутренним дренажом. Эталонный чернозем не имеет негативных свойств, таких как эродированность, избыточное увлажнение, уплотнение, засоление, и др.

Как уже говорилось выше, информации в научном сообществе по Ун зерновых культур достаточно мало, но есть попытки разработать алгоритмы, направленные на онлайн расчет Ун зерновых культур в информационной системе Почвенно-географической базы данных России. Это позволит в режиме онлайн с использованием открытых информационных каналов пространственно-атрибутивной информации (реализована также мобильная версия) применять информационные технологий для обработки данных и инвентаризации почв, осуществлять мониторинг состояния почвенного покрова, рассчитывать потенциальное плодородие почв и принимать управленческие решения – это важнейшая задача мирового почвоведения (Алябина, Кириллова и др., 2017).

Глава 2. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Объекты исследования

В работе использовались архивные данные по базовым свойствам агропочв автоморфного ряда, полученные сотрудниками кафедры почвоведения и экологии почв ЛГУ-СПбГУ во время крупномасштабного (М 1:10000) почвенного картографирования землепользований хозяйств в течение 1984–1990 гг. (IV тур оценки земель). Изученные почвы сформированы в пределах двух агроклиматических районов Ярославской области. Первый (северный) из них охватывает север Ярославской области, где объекты исследования находятся в Пошехонском и Брейтовском районах. Второй (южный агроклиматический район) включает Угличский и Ростовский районы.

Материалы почвенного обследования (почвенные карты, очерки с аналитическими данными, полевые дневники с морфологическим описанием почвенных разрезов) хранятся в фондах кафедры. В обработку были включены данные по 19-ти почвенным разрезам освоенных, окультуренных, культурных автоморфных дерново-подзолистых почв по КиДПР (Егоров, Фридланд и др., 1977). Из них 11 разрезов находились в Пошехонском районе, 1 – в Брейтовском, 3 – в Угличском, 4 – в Ростовском районах (рисунок 6). 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) (Приложение 2) (Rusakov et al., 2022).

По результатам крупномасштабного почвенного картографирования 1984–1990 гг. все пахотные почвы (фотографии профилей изученных почв представлены в Приложение 2) за редким исключением, были отнесены к дерново-подзолистым разностям по «Классификации и диагностике...» (Егоров, Фридланд и др., 1977). Из общего числа почвенных разрезов в целом по четырем районам доминировали дерново-сильноподзолистые почвы, составив 54% от всех изученных почв, дерново-среднеподзолистые почвы занимали 34%, а дерново-слабоподзолистые – 12%. По гранулометрическому составу преобладали легкосуглинистые (57%) и супесчаные (34%) разности.

Анализируя особенности литогенной матрицы, или почвообразующей породы, установлено, что среди почв лидируют почвы на покровных суглинках (36%), моренных отложениях (20%) и покровных суглинках, подстилаемых мореной (11%). Однако это соотношение может нарушаться в пределах конкретных районов. Так, например, в Брейтовском районе высокую долю среди почвообразующих пород занимают озерные

отложения супесчаного состава, а в Угличском – водно-ледниковые отложения, подстилаемые мореной (Rusakov et al., 2022).



Рисунок 6. Районы исследования и местоположение разрезов пахотных и залежных почв на мониторинговых площадках, Ярославская область.

Разнообразие анализируемых почв достаточно большое, но, используя данные картографирования, мы можем часть почв объединить в агрогруппы по схожим характеристикам (таблица 2). В таблице представлены данные по конкретным разрезам и соответственно почвам, разброс площадей почв большой, но мы можем определить процент наших почв от общей площади пашни. Так, на примере Пошехонского района, доля площадей, занимаемых почвами из архивных материалов, варьирует в широком диапазоне: от 3 до 94%. Более однородный покров в хозяйстве «Волна», там суглинистые почвы занимают 94%, когда более неоднородны почвы в хозяйстве «Революция», где супесчаная почва занимает всего 4%. В хозяйстве «Заветы Ильича» в основном суглинистые почвы 93%, а супесчаных всего 3%. Из-за нехватки данных исследований, мы вынуждены принимать во

внимание, что исследуемые почвы располагаются на всей территории хозяйства и соответственно привязывать исходную почву к фактической урожайности.

Таблица 2. Доля почв и агрогрупп, занимаемых в хозяйствах Пошехонского района, по которым имеются данные по фактической урожайности.

Хозяйство	Разрез	Название почвы	Гран. состав	Общая площадь пашни, га	Площадь исследуемой почвы или агрогрупп, га	Доля занимаемой почвы, %
«Волна»	В-161	Агрозем текстурно-дифференцированный глееватый постагрогенный на карбонатных покровных суглинках	С	960	906	94
«Сога»	С-175	Агродерново-подзолистая глееватая постагрогенная на покровных суглинках, подстилаемых мореной	Л	960	679	71
	С-41	Агродерново-подзолистая постагрогенная на покровных суглинках, подстилаемых карбонатной мореной	С	960	679	71
«Революция»	Р-131	Агрозем светлый типичный постагрогенный супесчаный на озерно-ледниковых отложениях	П	2849	101	4
«Заветы Ильича»	ЗИ-223	Серогумусовая постагрогенная супесчаная на озерных супесях, подстилаемых крупнопылеватыми озерными суглинками	У	1806	50	3
	ЗИ-21	Агродерново-подзолистая на покровных суглинках, подстилаемых мореной	Л	1806	1676	93

Примечание: П – песок; У – супесь; Л – легкий суглинок; С – средний суглинок.

В среднем изученные почвы характеризуются низким содержанием гумуса, низкой (по содержанию обменного калия) и средней (по содержанию обменного фосфора) обеспеченностью элементами питания и относятся к средне- и слабокислым вариантам.

Была проведена статистическая обработка и анализ материалов почвенного обследования 1986–1990 гг.

Исходный набор данных состоял из 5-ти переменных, стандартно используемых для расчета Ун пахотных почв: содержание гумуса в пахотном слое, мощность гумусового горизонта, содержание физической глины в пахотном слое.

Лабораторное определение почвенных и агрохимических показателей выполнялось общепринятыми методами. Содержание углерода определялось методом Тюринга. Гранулометрический состав почв определялся пипет-методом по Качинскому.

Для выявления трендов эволюционных изменений пахотных почв после снятия антропогенной нагрузки применялись методы сравнительного анализа в хронорядах, основанных на двух сроках наблюдений (рисунок 7). Достаточно точная привязка почвенных разрезов к постоянным объектам на местности во время картографирования 1986–1990 гг. дала основание считать их реперными (точкой отсчета с очень высоким пространственным разрешением) для ретроспективного мониторинга эволюционных изменений почв.

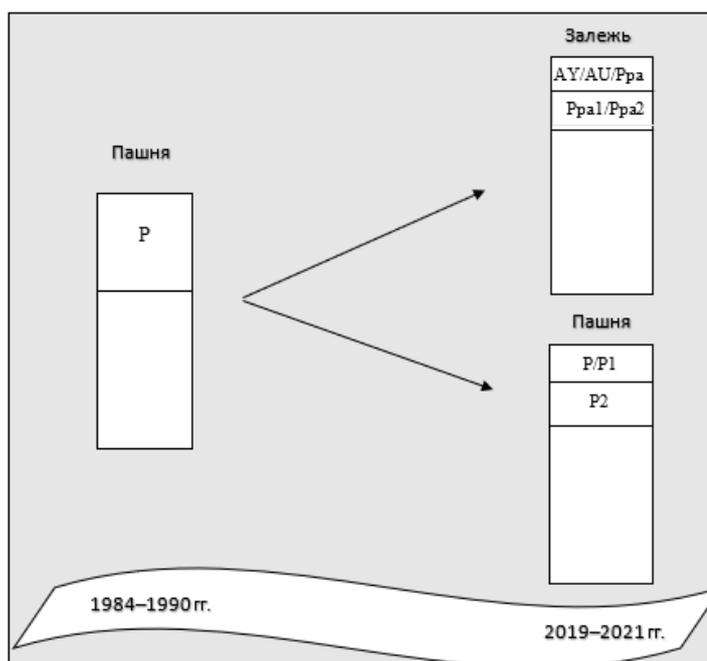


Рисунок 7. Схема хроноряда пашня-залежь и пашня-пашня. В профилях почв 2019 – 2021 гг. показаны возможные варианты гумусовых горизонтов на месте исходных пахотных.

С целью выявления эволюционных изменений почв, связанных с региональными особенностями проявления устойчивого тренда повышения глобальной температуры и изменений гидрологического цикла, нами сравнивались почвы двух периодов обследования с интервалом до 30–35 лет. Большая часть обследованных нами почв Пошехонского, Брейтовского и Угличского районов в настоящее время пребывают под залежами (от 6 до

32–34 лет) на луговой стадии зарастания. Другая часть почв остается под пашней. Таким образом, за время между почвенными обследованиями во вторую половину глобального климатического тренда в ряде случаев произошла смена вида землепользования (Приложение 1).

Для сравнения расчетной нормативной урожайности с фактической на разновозрастных залежах на месте бывших пахотных почв обработаны архивные данные землепользований хозяйств в течение 1984–1990 гг., хранящиеся в архивах кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ.

Фактический материал для расчетов U_n почв хронорядов и других параметров были выполнены в рамках выполнения междисциплинарного проекта РФФИ №19-29-05243 (рук. А.В. Русаков).

В работе для определения нормативной урожайности было принято, что данные по урожайности приходятся не на одну разновидность автоморфной пахотной почвы, но вычислена для агрогрупп почв, объединенных единством проведения на них агротехнических мероприятий. Вычисления проводились подсчетом удельного веса почв определенной агрогруппы среди всех пахотных автоморфных почв (таблица 2). Необходимо отметить, что пахотные глееватые почвы в расчет не брались, поскольку выращивание зерновых культур обычно приурочено к пахотному клину неоглеенных (автоморфных) почв. В итоге оказалось, что фактическая урожайность, рассмотренная в следующей главе, по конкретному хозяйству привязана к агрогруппам, занимающим в среднем 40–50% от площади автоморфных почв. Необходимо особо отметить, что привязка данных по фактической урожайности (в том числе за многолетний период) к конкретной разновидности почв является трудной задачей (узким местом) при проведении оценочно-бонитировочных работ вследствие отсутствия прямых измерений этого показателя на конкретных почвах. Более или менее достоверные многолетние данные по урожайности можно получить на опытных полях, на госсортоучастках, а также на сравнительно больших (десятки га) площадях с однородных пахотных массивов, например, в лесостепной и/или степной зонах.

2.2 Методы исследования

Для выявления и анализа потенциального плодородия хронорядов на основе расчета U_n почв и сравнение с фактической урожайностью применялись наиболее показательные и распространённые методы исследования.

1. 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 (Rusakov et al., 2022).

2. Методический подход для выявления отклика почв на изменения климата определяется временной структурой данных о почвах. Такой подход позволяет выделить, при прочих равных условиях, климатообусловленные процессы в почвах. Вариабельность климата оценивалась разными параметрами, в том числе экстремумами. Анализ тенденций изменения климатического режима выполнялся на основе рассчитанных линейных трендов в рядах наблюдений за температурой воздуха и сумм атмосферных осадков методом наименьших квадратов. Оценка статистической значимости линейных трендов выполнена в соответствии с рекомендациями, изложенными в работе И.И. Поляка (1975).

В данной магистерской диссертации мы не проводили вычисления по климату, а воспользовались данными для вычисления Ун и ПЭи, приведенными в работах (Rusakov et al., 2022; Итоговый отчет..., 2023).

3. Возраст залежей определялся только с использованием геоботанических методов (описание растительных ассоциаций, возраст древостоя по кернам стволов и т.д.) (Rusakov et al., 2022).

4. Для расчета Ун использовали методику расчета по ГОСТ Р 70229-2022, согласно которой показатели качества почвы включают физически измеряемые и вычисляемые характеристики почв и агроклиматических условий произрастания с/х культур, которые тесно коррелируют с урожайностью последних. В качестве показателей качества взяты относительно устойчивые свойства и негативные показатели почв, которые трудно регулируются агротехнологиями, но не исключают возможность использования почв в сельскохозяйственном производстве. В перечень показателей качества почв не входят агрономически значимые характеристики плодородия почв, требующие регулярного регулирования, такие как содержание элементов питания растений, кислотность, состав поглощённых катионов и пр. Также не входят свойства, проявление которых препятствует использованию почв в земледелии (например, содержание загрязняющих и радиоактивных веществ в количествах, превышающих допустимые нормы).

Данные о показателях качества почв для исследуемой территории были получены из Единого государственного реестра почвенных ресурсов России, который принят Министерством сельского хозяйства РФ в 2014 г. в качестве официального почвенного информационного ресурса для проведения работ по использованию, мониторингу и оценке земель с/х назначения в масштабах страны (Единый государственный реестр ..., 2014). Далее, эту информацию уточнили и конкретизировали на основе данных информационно-справочного ресурса – Реестра индикаторов качества почв с/х угодий РФ (Столбовой, Гребенников и др., 2021).

5. Существенность между изучаемыми параметрами оценивалась с помощью дисперсионного анализа на основании сравнения двух коэффициентов фактического и теоретического коэффициентов Фишера — $F_{\text{факт}}$ и F_{05} , соответственно. Суть дисперсионного анализа — одновременное разложение суммы квадратов и числа степеней свободы на составляющие компоненты, которые соответствуют структуре эксперимента и оценка действия и взаимодействия изучаемых вариантов по F-критерию. С помощью дисперсионного анализа подтверждались различия между средними значениями, это позволило нам в дальнейшем провести корреляционно-регрессионный анализ.

Корреляционно-регрессионный анализ был использован для оценки связи между свойствами почвы и факторами окружающей среды на основе как единовременных, так и динамических наблюдений. Регрессионная модель строилась для описания взаимосвязи отдельных характеристик свойств почв с действующим фактором.

3.1 Выявление тренда изменения свойств почв, важных для расчета Ун

Согласно методике ГОСТ Р 70229-2022 «Почвы. Показатели качества почв» (Сапожников, Шехтер, 2023) Ун зерновых культур зависит от основных показателей почвы: содержание гумуса, мощность гумусового горизонта, содержание физической глины и негативных свойств, влияющих на почву. Рассмотрим динамику изменения показателей в хронорядках пашня-залежь и пашня-пашня.

I. Содержание гумуса в пахотном слое — это свойство почв, характеризующее общее количество органических и органоминеральных веществ. Гумус играет ведущую роль в плодородии почв, включая запасы питательных веществ, формирование питательного режима культур, физико-механических (структура, плотность, пористость и др.) и физико-химических свойств (емкость поглощения, буферность и др.), биологическую активность (численность, состав почвенных организмов (микроорганизмов, мезо- и макрофауны), содержание ферментов), санитарно-защитные функции (Сапожников, Шехтер, 2023). Поправочные коэффициенты на содержание гумуса (К1) для расчета Ун зерновых культур приведены в Приложении 4.

Для оценки постагрогенной трансформации почв проанализированы данные по содержанию органического вещества, гумус пахотных почв и почв под залежами (1984–2021 гг.) (таблица 3). Так, в исходных пахотных почвах Пошехонского и Брейтовского районов (северный агроклиматический район) установлено низкое содержание гумуса, в среднем – 2,25%, в то время как в Угличском и Ростовской районах (южный агроклиматический район) – оно оказалось несколько выше (2,38%), но, по показателям гумусового состояния почв, полученные величины свидетельствуют также о низком содержании гумуса.

В разновозрастных залежных почвах Пошехонского и Брейтовского районов содержание гумуса после перевода пашни в залежь практически не изменилось и составило 2,26% (таблица 3). Напротив, в почвах под залежами Угличского и Ростовского районов содержание гумуса несколько увеличилось (до 2,78%). Таким образом, можно сделать заключение, что в изученных залежных почвах по сравнению с пахотными аналогами содержание гумуса не уменьшилось, а, наоборот, выявлен тренд увеличения его содержания в южном агроклиматическом районе Ярославской области, то есть наблюдаются проградационные процессы в гумусовом состоянии залежей, причем, содержание гумуса в ряду пашня-залежь оказалось низким.

Таблица 3. Средневзвешенная величина гумуса в исходных (архивных) пахотных горизонтах агропочв и разновозрастных почв под залежами, рассчитанная на средневзвешенную глубину исходных пахотных горизонтов.

Разрез	Угодье	Гумус	K1
Пошехонский район			
В-161	П	2,40	0,90
В-161-19	З (7–10)	1,46	0,81
ЗИ-223	П	1,41	0,80
ЗИ-223а-19	З (30–32)	2,09	0,88
И-79	П	3,14	0,95
И-79-19	З (12–15)	2,47	0,91
С-175	П	1,74	0,85
С-175-19	З (20)	2,19	0,88
С-41	П	1,97	0,87
С-41-19	З (15–17)	1,83	0,86
С-41а-19	З (25–29)	2,02	0,87
Р-131	П	2,76	0,93
Р-131-19	З (20–25)	3,09	0,95
С-63	П	1,91	0,86
С-63-19	З (30)	1,53	0,81
З-37	П	3,00	0,94
З-37-19	З (7–9)	3,45	0,97
Брейтовский район			
СП-213	П	1,91	0,86
СП-213-20	З (32–34)	2,26	0,89
Угличский район			
У-113	П	1,66	0,83
У-113-20	З (32–33)	1,90	0,86
У-51	П	3,59	0,98
У-51-20	З (6–8)	4,67	1,04
Ростовский район			
КХ-91	П	1,90	0,86
КХ-91-21	З (15–19)	1,78	0,85

Примечание: П – пашня; З – залежь, в скобках обозначен возраст залежи; K1– Поправочные коэффициенты на содержание гумуса для расчета Ун зерновых культур (Приложение 4).

В целом были установлены разнонаправленные тренды изменения гумусового состояния постагrogenных почв в разновозрастных залежах (от молодых (6–8 лет) до зрелых (32–34 года), развитых на контрастных литогенных основах (рисунок 8). Так, в лишь в 7-ти парах хронорядов почва-залежь из 13-ти, содержание гумуса оказалось выше, при этом фактор времени перевода пашни в залежь оказался несущественным.

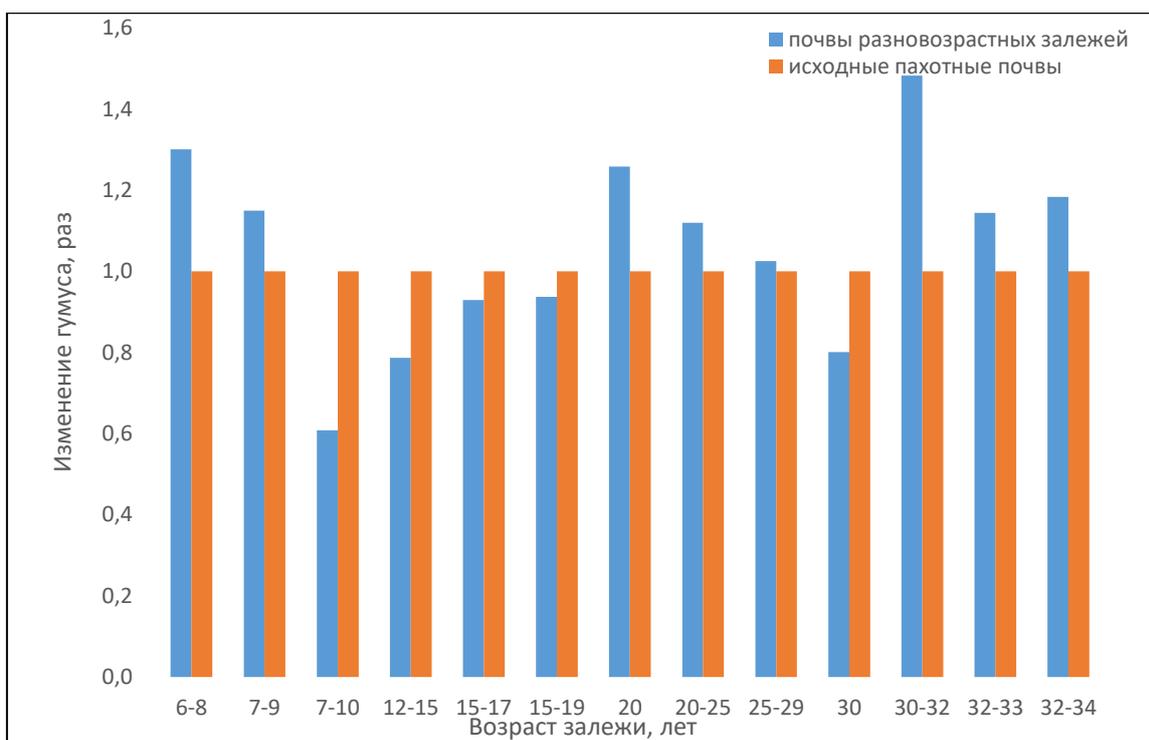


Рисунок 8. Динамика содержания гумуса по разновозрастным залежам Ярославской области относительно пахотных аналогов в ряду пашня-залежь. За единицу принято содержание гумуса в пахотных почвах хроноряда.

Рассмотрим тренды изменения гумуса в ряду пашня-пашня (таблица 4). Содержание гумуса в исходных (архивных) почвах северного агроклиматического района характеризовалось как низкое (очень низкое) и составило 2,04%.

Таблица 4. Средневзвешенная величина гумуса на мощность исходного (архивного) пахотного горизонта в изученных агропочвах.

Разрез	Гумус	K1
Пошехонский район		
ЗИ-21	2,67	0,92
ЗИ-21-19	2,16	0,88
ЗИ-223	1,41	0,80
ЗИ-223-19	1,86	0,85
Угличский район		
ВП-39	2,17	0,88
ВП-39-20	1,62	0,82
Ростовский район		
КХ-101	2,07	0,88
КХ-101-21	1,80	0,85
К-464	1,98	0,87
К-464-21	1,91	0,86
30ПМР	2,19	0,88
30ПМР-21	2,67	0,92

Примечание: П – пашня; K1– Поправочные коэффициенты на содержание гумуса для расчета Ун зерновых культур (Приложение 4).

За время функционирования почвы в пахотном состоянии за 30–35-летний период оно практически не изменилось и составило 2,01%. В южном агроклиматическом районе в исходных пахотных образцах содержание гумуса также оказалось низким (2,10%) и несколько превышает содержание этого показателя в Пошехонском районе (таблица 4). В современных же пахотных почвах содержание гумуса снизилось до 2,00%. Таким образом, мы можем констатировать, что длительное нахождение почвы в пахотном состоянии приводит к дегумификации, как общей картины деградационных процессов.

Динамику изменения гумуса в ряду пашня-пашня можно проследить по данным рисунка 9.

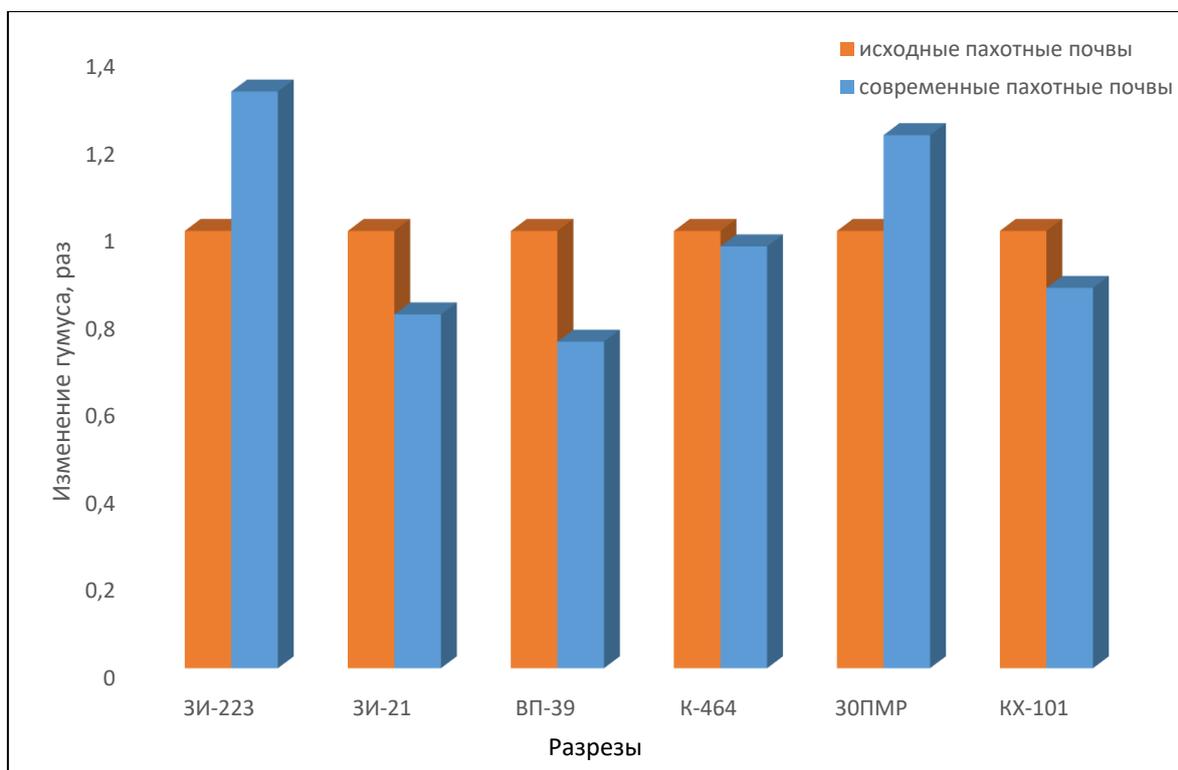


Рисунок 9. Динамика гумуса по пахотным почвам Ярославской области

В основном преобладает тренд снижения содержания гумуса в попарно сравниваемых почв. Исключение составляют супесчаные почвы на двучленной породе (разрез ЗИ-223) и суглинистая агропочва на покровном суглинке со вторым гумусовым горизонтом (разрез ЗОПМ). Можно предположить, что в этих случаях используются более эффективные методы повышения плодородия почв.

II. Мощность гумусового слоя — это свойство почв, характеризующее среднюю глубину распространения корней растительности и имеющее серую окраску. Мощность гумусового (пахотного) горизонта почвы определяется как среднее значение мощности из не

менее, чем четырех выработок (разрезов, прикопок) на основе исследования морфологических признаков и состава генетических горизонтов (Сапожников, Шехтер, 2023).

Мощность гумусового горизонта включает неодинаковые почвенно-генетические горизонты для разных почв. В рассмотренных нами дерново-подзолистых почвах мощность гумусового горизонта соответствует мощности горизонта Апах или Ppa1, Ppa2.

Поправочные коэффициенты качества почв на мощность гумусового горизонта (K2) представлены в Приложении 4.

В образцах основных разрезов и «архивных» образцах был определен гранулометрический состав (Rusakov et al., 2022; Итоговый отчет...2023). 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 12 разрезов почв залежей и 6 пар мониторинговых разрезов (пашня-пашня).

III. Содержание физической глины в пахотном слое – это свойство почв, характеризующее гранулометрический состав суммы фракций менее 0,01 мм.

Песчаные и супесчаные почвы бесструктурные, бедны гумусом и элементами минерального питания, отличаются невысокой поглотительной способностью и, в связи с этим обладают низкой буферностью, что обуславливает резкое увеличение концентрации почвенного раствора и быстрое его подкисление при внесении физиологически кислых удобрений. Песчаные и супесчаные почвы имеют низкую влагоёмкость. По этой причине даже в гумидном климате в жаркое время года растения, произрастающие на таких почвах, испытывают дефицит влаги. Эти почвы считают бедными и сухими.

Среднесуглинистые и легкосуглинистые почвы имеют наиболее благоприятные свойства для возделывания сельскохозяйственных культур.

Глинистые и тяжелосуглинистые почвы характеризуются замедленной фильтрацией и высокой влагоёмкостью, что в гумидных условиях ведет к переувлажнению и развитию оглеения. Во влажном состоянии эти почвы вязкие, липкие, при высыхании становятся твердыми и тяжело обрабатываются (Сапожников, Шехтер, 2023). Таких почв в нашем мониторинге не встречается.

Поправочные коэффициенты качества почв на содержание физической глины в пахотном слое (K3) приведены в Приложении 4.

Средневзвешенное содержание физической глины в исходных почвах в северном агроклиматическом районе в среднем составило 25,1% (легкий суглинок), а через 30–35-

летний период в залежных почвах средневзвешенное содержание физической глины в среднем оказалось равным 25,4%, то есть практически не изменилось (таблица 5). Аналогично, в южном агроклиматическом районе средневзвешенное содержание физической глины в исходных пахотных почвах в среднем составило 24,0% (легкий суглинок), а в залежных почвах средневзвешенное содержание физической глины в среднем оказалось равным 23,0%, то есть заметное снижение содержания фракции <0,01 мм (таблица 5). Причиной этого факта может служить активизация элювиирования тонкодисперсных частиц из гумусовой толщи залежей. Не исключается также и пространственная вариабельность из-за невозможности заложения повторного почвенного разреза на исходной точке, где был заложен ранее разрез пахотной почвы.

Таблица 5. Средневзвешенное содержание физической глины на мощность исходного (архивного) пахотного горизонта в изученных залежных почвах.

Разрез	Угодье	Физическая глина	КЗ
Пошехонский район			
В-161	П	33	0,95
В-161-19	З (7–10)	31	0,94
И-79	П	30	0,94
И-79-19	З (12–15)	30	0,94
С-175	П	29	0,94
С-175-19	З (20)	24	0,92
С-41	П	22	0,91
С-41-19	З (15–17)	31	0,94
С-41а-19	З (25–29)	28	0,93
Р-131	П	12	0,87
Р-131-19	З (20–25)	9	0,85
С-63	П	25	0,92
С-63-19	З (30)	27	0,93
З-37	П	31	0,94
З-37-19	З (7–9)	32	0,95
ЗИ-223	П	14	0,88
ЗИ-223а-19	З (30–32)	17	0,89
Брейтовский район			
СП-213	П	30	0,94
СП-213-20	З (32–34)	28	0,93
Угличский район			
У-113	П	17	0,89
У-113-20	З (32–33)	16	0,88
У-51	П	33	0,95
У-51-20	З (6–8)	33	0,95
Ростовский район			
КХ-91	П	22	0,91
КХ-91-21	З (15–19)	20	0,90

Примечание: П – пашня; З – залежь, в скобках обозначен возраст залежи; КЗ – Поправочные коэффициенты на содержание физической глины в пахотном горизонте для расчета Ун зерновых культур (Приложение 4).

На рисунке 10 показана динамика изменения содержания физической глины в залежных почвах по сравнению с пахотными. Несмотря на неоднозначность данных, проявляется тренд уменьшения фракции менее 0,01 мм в залежах, начиная с возраста 15–19 лет.

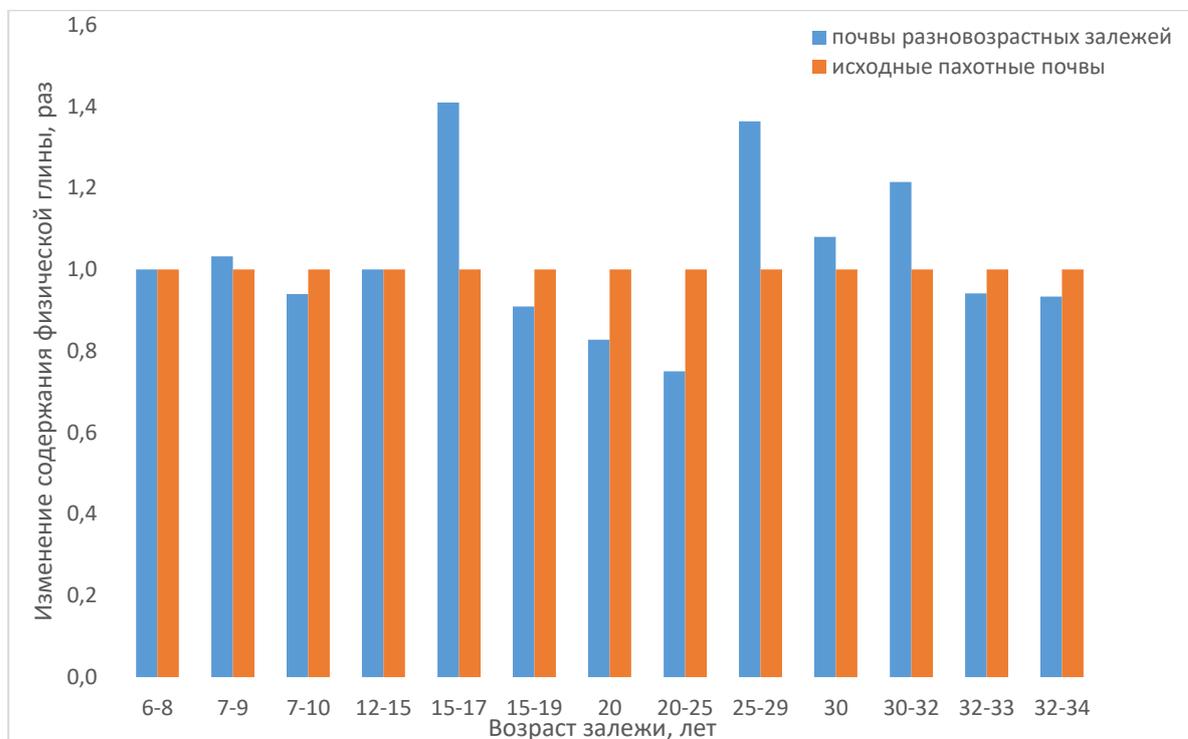


Рисунок 10. Динамика содержание физической глины на мощность исходного (архивного) пахотного горизонта в изученных залежных почвах.

При рассмотрении хроноряда пашня-пашня (таблица 6) средневзвешенное содержание физической глины в исходных почвах в северном агроклиматическом районе в среднем составляет 17,0% (супесь), а через 30–35-летний период в пахотных почвах средневзвешенное содержание физической глины в среднем составило уже 18,0%. Иными словами, происходит утяжеление гранулометрического состава. Аналогично, в южном агроклиматическом районе средневзвешенное содержание физической глины в исходных почвах составило в среднем 33,5% (средний суглинок), а в современных пахотных почвах оно составило уже 35,6 %, то есть значительное улучшение содержания физической глины в пахотном слое (таблица 6).

Таблица 6. Средневзвешенное содержание физической глины на мощность исходного (архивного) пахотного горизонта в изученных пахотных почвах.

Разрез	Физическая глина	КЗ
Пошехонский район		
ЗИ-21	20	0,90
ЗИ-21-19	21	0,90
ЗИ-223	14	0,88
ЗИ-223-19	15	0,88
Угличский район		
ВП-39	35	0,96
ВП-39-20	37	0,97
Ростовский район		
КХ-101	30	0,94
КХ-101-21	32	0,95
К-464	31	0,94
К-464-21	39	0,98
30ПМР	28	0,90
30ПМР-21	35	0,96

Примечание: П – пашня; КЗ- Поправочные коэффициенты на содержание физической глины в пахотном горизонте для расчета Ун зерновых культур (Приложение 4).

На представленной гистограмме «Динамика содержание физической глины на мощность исходного (архивного) пахотного горизонта в изученных пахотных почвах» (рисунок 11) мы также видим устойчивый тренд утяжеления гранулометрического состава в пахотных почвах с течением времени, по-видимому, связанный с припашкой в пахотный слой более тяжелых подпахотных горизонтов.

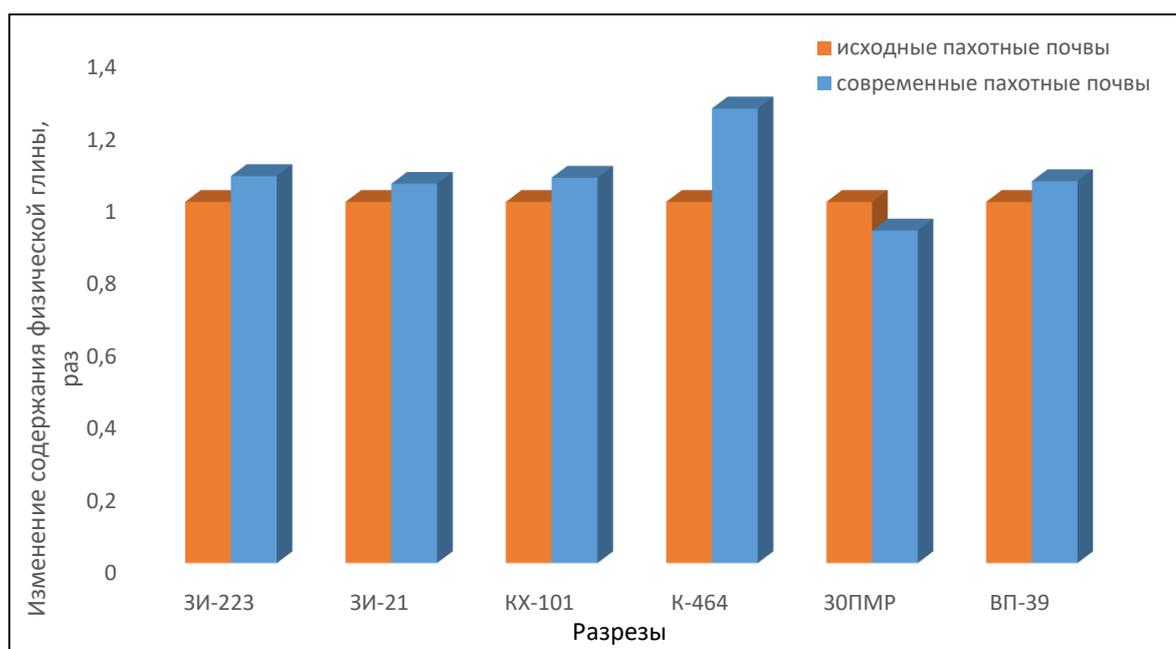


Рисунок 11. Динамика содержание физической глины в мощность исходного (архивного) пахотного горизонта в изученных пахотных почвах.

Мы рассмотрели выше основные характеристики свойств почв пахотного слоя, на основе которых вводят поправочные коэффициенты (K_1 , K_2 , K_3) для расчета $У_n$ зерновых культур. Необходимо проанализировать блок свойств почв, которые ведут к ухудшению $У_n$, представляющий собой суммарный коэффициент негативных показателей почв (K_4). Негативные показатели почв по модели расчета $У_n$ зерновых культур: легкий гранулометрический состав, засоление, солонцеватость, переувлажнение, водная эрозия, каменистость и щебнистость, карбонатность, выщелоченность черноземных почв, оподзоленность черноземов, уплотнение гумусовых горизонтов (Сапожников, Шехтер, 2023). Но для наших мониторинговых почв Ярославской области актуально рассматривать два фактора: легкий гранулометрический состав ($K_{4.1}$) и переувлажнение ($K_{4.2}$).

IV. Легкий гранулометрический состав — это показатель почв, характеризующий гранулометрический состав с преобладанием песчаной фракции (частицы 0,05–1,0 мм). К почвам легкого гранулометрического состава относятся песчаные, супесчаные или легкосуглинистые почвы, развитые на песках и супесях, а также на двучленных отложениях, верхняя часть которых сложена песками и супесями, подстилаемыми суглинками и глинами.

Легкий гранулометрический состав обладают рядом негативных свойств снижающих плодородие почв и продуктивность с/х культур. К таким свойствам относятся высокая водопроницаемость, низкая влагоемкость, слабая водоудерживающая способность, бесструктурность, низкое содержание гумуса, низкая величина емкости катионного обмена и поглощательной способности, слабой обеспеченность элементами минерального питания (Сапожников, Шехтер, 2023).

Поправочные коэффициенты качества почв на легкий гранулометрический состав приведены в Приложении 4. В таблице 7 приведены данные гранулометрического состава изученных залежных почв. На почвы трех разрезов применяется поправочный коэффициент $K_{4.1}$. В северном агроклиматическом районе разрез Р-131-19 имеет песчаную почву, средневзвешенный гран состав в пахотном горизонте равен 9%, и разрез ЗИ-223а-19 почва супесчаная на озерных супесях, подстилаемых крупнопылеватыми озерными суглинками. В южном агроклиматическом районе один разрез – У-113-20, где почва супесчаная на супесчаных отложениях, подстилаемых карбонатной мореной.

Таблица 7. Легкий гранулометрический состав изученных залежных почв

Разрез	Почва	Возраст залежи	Гран. состав	К4.1
Пошехонский район				
З-37-19	Агрозем текстурно-дифференцированный постагрогенный на покровных суглинках, подстилаемых карбонатной мореной	7–9	С	–
В-161-19	Агрозем текстурно-дифференцированный глееватый постагрогенный на карбонатных покровных суглинках	7–10	С	–
И-79-19	Агродерново-подзолистая глееватая постагрогенная на карбонатных покровных суглинках	12–15	С	–
С-41-19	Агродерново-подзолистая постагрогенная на покровных суглинках, подстилаемых карбонатной мореной	15–17	С	–
С-41а-19	Агродерново-подзолистая постагрогенная на покровных суглинках, подстилаемых карбонатной мореной	25–29	Л	–
С-175-19	Агродерново-подзолистая глееватая постагрогенная на покровных суглинках, подстилаемых мореной	20	Л	–
Р-131-19	Агрозем светлый типичный постагрогенный супесчаный на озерно-ледниковых отложениях	20–25	П	0,55
С-63-19	Агродерново-подзолистая постагрогенная на покровных суглинках, подстилаемых карбонатной мореной	30	Л	–
ЗИ-223а-19	Серогумусовая постагрогенная супесчаная на озерных супесях, подстилаемых крупнопылеватыми озерными суглинками	30–32	У, ДО	0,75
Брейтовский район				
СП-213-20	Дерново-подзолистая глееватая постагрогенная на карбонатных покровных суглинках	32–34	Л	–
Угличский район				
У-51-20	Темно-гумусовая глееватая постагрогенная среднесуглинистая на карбонатной морене	6–8	С	–
У-113-20	Дерново-подзол глееватый постагрогенный на супесчаных отложениях, подстилаемых карбонатной мореной	32–33	У, ДО	0,75
Ростовский район				
КХ-91-21	Агродерново-подзолистая со вторым гумусовым горизонтом постагрогенная глубоко оглеенная на древнем аллювии	15–19	Л	–

Примечание: П – песок; У – супесь; Л – легкий суглинок; С – средний суглинок; ДО – почвы на двучленных отложениях; К4.1 – Поправочные коэффициенты для расчета Ун для почв с легким гранулометрическим составом (Приложение 4).

При рассмотрении почв хронорядов пашня-пашня выявлен один разрез в северном агроклиматическом районе ЗИ-223-19, где почва супесчаная на озерных супесях, подстилаемых крупнопылеватыми озерными суглинками (таблица 8).

Таблица 8. Легкий гранулометрический состав изученных пахотных почв

Разрез	Почва	Гран. состав	К 4.1
Пошехонский район			
ЗИ-223-19	Агрорезем светлый типичный на озерных супесях, подстилаемых крупнопылеватыми озерными суглинками	У, ДО	0,75
ЗИ-21-19	Агрордерново-подзолистая на покровных суглинках, подстилаемых мореной	Л	–
Ростовский район			
КХ-101-21	Агрордерново-подзолистая со вторым гумусовым горизонтом глубокопахотная глубоко оглеенная на покровных суглинках	Л	–
К-464-21	Агрордерново-подзолистая среднепахотная глубоко оглеенная на покровных суглинках	С	–
30ПМР-21	Агрордерново-подзолистая со вторым гумусовым горизонтом глубокопахотная сверхглубокоосветленная на покровных суглинках	С	–
Углицкий район			
ВП-39-20	Агрордерново-подзолистая глееватая на карбонатных покровных суглинках	Л	–

Примечание: У – супесь; Л – легкий суглинок; С – средний суглинок; ДО – почвы на двучленных отложениях; К 4.1 – Поправочные коэффициенты для расчета U_n для почв с легким гранулометрическим составом (Приложение 4).

V. Для расчета U_n среди негативных показателей, влияющих его величину, в нашем исследовании является также переувлажнение – это показатель почв, характеризующий содержание влаги в минеральных почвах, превышающее 85% от предельной полевой влагоемкости при тяжелом гранулометрическом составе (ОСТ 23.001) и 95% – при легком гранулометрическом составе (ГОСТ 28268).

Переувлажнение в корнеобитаемом слое с длительным заполнением водой не только капиллярных, но и крупных не капиллярных пор, имеющих воздухо-проводящее значение, приводит к снижению содержания кислорода в почве и, как следствие, к установлению анаэробных условий. В результате происходит изменение органической и минеральной части почвы, а также образование веществ, токсичных для растений. Избыток влаги и недостаточная аэрация подавляет деятельность аэробных микроорганизмов, тормозит разложение растительных остатков, обуславливает преобладание восстановительных процессов над окислительными. Избыток влаги приводит к увеличению плотности сложения, уменьшению порозности и водопроницаемости за счет разрушения почвенной структуры (Сапожников, Шехтер, 2023).

В переувлажненных почвах протекает процесс оглеения (глеобразования). В зависимости от выраженности этого процесса определяется длительность периода избыточного увлажнения почвы. Сильная степень оглеения отмечается в почвах, испытывающих длительное или постоянное переувлажнение. При периодически длительном

увлажнении формируются среднеоглеенные (глееватые) почвы, признаки оглеения в которых выражены слабее по сравнению с глеевыми почвами.

Таблица 9. Признаки гидроморфизма изученных залежных почв.

Разрез	Почва	Возраст залежи	Гран. состав	Признаки гидроморфизма	K4.2
Пошехонский район					
З-37-19	Агрозем текстурно-дифференцированный постагрогенный на покровных суглинках, подстилаемых карбонатной мореной	7–9	С	Г	0,55
В-161-19	Агрозем текстурно-дифференцированный глееватый постагрогенный на карбонатных покровных суглинках	7–10	С	ГГ	0,75
И-79-19	Агродерново-подзолистая глееватая постагрогенная на карбонатных покровных суглинках	12–15	С	Г	0,55
С-41-19	Агродерново-подзолистая постагрогенная на покровных суглинках, подстилаемых карбонатной мореной	15–17	С	Г	0,55
С-41а-19	Агродерново-подзолистая постагрогенная на покровных суглинках, подстилаемых карбонатной мореной	25–29	Л	А	–
С-175-19	Агродерново-подзолистая глееватая постагрогенная на покровных суглинках, подстилаемых мореной	20	Л	Г	0,75
Р-131-19	Агрозем светлый типичный постагрогенный супесчаный на озерно-ледниковых отложениях	20–25	П	А	–
С-63-19	Агродерново-подзолистая постагрогенная на покровных суглинках, подстилаемых карбонатной мореной	30	Л	Г	0,75
ЗИ-223а-19	Серогумусовая постагрогенная супесчаная на озерных супесях, подстилаемых крупнопылеватыми озерными суглинками	30–32	У, ДО	А	–
Брейтовский район					
СП-213-20	Дерново-подзолистая глееватая постагрогенная на карбонатных покровных суглинках	32–34	Л	ГГ	0,85
Угличский район					
У-51-20	Темно-гумусовая глееватая постагрогенная среднесуглинистая на карбонатной морене	6–8	С	ГГ	0,75
У-113-20	Дерново-подзол глееватый постагрогенный на супесчаных отложениях, подстилаемых карбонатной мореной	32–33	У, ДО	Г	0,85
Ростовский район					
КХ-91-21	Агродерново-подзолистая со вторым гумусовым горизонтом постагрогенная глубоко оглеенная на древнем аллювии	15–19	Л	А	–

Примечание: П – песок; У – супесь; Л – легкий суглинок; С – средний суглинок; А – автоморфные почвы; Г – глееватые почвы; ГГ – глубоко глееватые почвы; ДО – почвы на двучленных отложениях; K4.2 - Поправочные коэффициенты для расчета Ун на избыточно увлажненных почвах (Приложение 4).

При кратковременном сезонном переувлажнении (обычно весной и осенью) формируются слабооглеенные (слабоглееватые) почвы. Степень избыточного увлажнения определяют по морфологическим свойствам (Сапожников, Шехтер, 2023).

Как показал анализ компонентного состава почв залежей (таблица 9) и почв, длительное время находящихся в пахотном состоянии (таблица 10), 53% почв имеют устойчивые признаки переувлажнения (гидроморфизма, или оглеения) – в северном агроклиматическом районе – 70% залежных и 0% пахотных почв, во втором (южном агроклиматическом районе) – 67% залежей и 50% – пахотных.

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 большей степени в северных районах Ярославской области: Пошехонском, Брейтовском, но отчасти проявляется и в Угличском и Ростовском районах. 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 внутривредной массе, так и по стенкам структурных отдельностей. Морфологические изменения окислительно-восстановительного режима в сторону застоя влаги диагностировались и на микроуровне (Приложения 1 и 2).

В таблице 10 приведены почвы, находящиеся под пашней. В основном почвы остаются в автоморфном состоянии. Морфологические признаки гидроморфизма проявились в нижних слоях преобладает в южном агроклиматической районе.

Признаки гидроморфизма выражены в основном у суглинистых или у супесчаных почв при близком подстилании 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 (Rusakov et al., 2022).

Таблица 10. Признаки гидроморфизма изученных пахотных почв.

Разрез	Почва	Гран. состав	Признаки гидроморфизма	К4.2
Пошехонский район				
ЗИ-223-19	Агрозем светлый типичный на озерных супесях, подстилаемых крупнопылеватými озерными суглинками	У, ДО	А	–
ЗИ-21-19	Агродерново-подзолистая на покровных суглинках, подстилаемых мореной	Л	А	–
Угличский район				
ВП-39-20	Агродерново-подзолистая глееватая на карбонатных покровных суглинках	С	ГГ	0,75
Ростовский район				
КХ-101-21	Агродерново-подзолистая со вторым гумусовым горизонтом глубокопахотная глубоко оглеенная на покровных суглинках	С	А	–
К-464-21	Агродерново-подзолистая среднепахотная глубоко оглеенная на покровных суглинках	С	ГГ	0,75
30ПМР-21	Агродерново-подзолистая со вторым гумусовым горизонтом глубокопахотная сверхглубокоосветленная на покровных суглинках	С	А	–

Примечание: У – супесь; Л – легкий суглинок; С – средний суглинок; А – автоморфные почвы; ГГ – глубоко глееватые почвы; ДО – почвы на двучленных отложениях; К4.2- Поправочные коэффициенты для расчета U_n на избыточно увлажненных почвах (Приложение 4).

Таким образом, мы можем констатировать устойчивую тенденцию усиления гидроморфизма в постагрогенных и пахотных почвах центральной и северной частях Ярославского Поволжья. За последние десятилетия в бассейне Верхней Волги (на примере Ростовской низины) на фоне повышения температуры воздуха произошли сдвиги в годовом ходе атмосферных осадков, что привело к изменениям в почвенно-грунтовой водном режиме (Rusakov et al., 2022). Более того, для Верхневолжья уже обозначались тенденции подъема уровня грунтовых вод, процессов заболачивания и оглеения как в пойменных почвах, так и на водораздельных территориях (Simonova, Rusakov et al., 2021, Кузьмин, Черноурцкий, 2019).

3.2 Характер изменения морфологических свойств почв хронорядов пашня-залежь

В предыдущем разделе мы проанализировали показатели, важные для расчета Ун зерновых культур, которые отражены и в морфологическом строении почв, в частности, признаки оглеения. Ниже рассмотрим тренд изменения морфологического строения разновозрастных залежей после снятия антропогенной нагрузки (таблица 11).

Таблица 11. Тренд изменения морфологического строения гумусированной толщи разновозрастных залежей после снятия антропогенной нагрузки.

Разрез	Возраст залежи, лет	Горизонт	Глубина, см	Мощность, см
У-51-20	6-8	АУра	0–20	20
		РУра	20–35	15
З-37-19	7-9	Рра,g1	0–5	5
		Рра,g2	5–25	20
		Рра,g3	25–30	5
В-161-19	7-10	Дернина	0+5	5
		Рра1	0–5	5
		Рра2	10–25	15
		Рра3	25–30	5
И-79-19	12-15	Рра1	0–20	20
		Рра,g2	20–30	10
		Рра,g3	30–35	5
С-41-19	15-17	Дернина	0+3	3
		Рра,g	0–23	23
КХ-91-21	15-19	Дернина	0+2	2
		Рра1	0–12(14)	12 (14)
		Рра2	12(14)–30	18 (16)
С-175-19	20	Дернина	0+5	5
		Рра,g1	0–15	15
		Рра,g2	15–28	13
Р-131-19	20-25	Дернина	0+5	5
		Рра1	0–20	20
		Рра2	20–30	10
		Рра3	30–40	10
С-41а-19	25-29	Дернина	0+3	3
		Рра1	0–10	10
		Рра2	10–28	18
С-63-19	30	Дернина	0+5	5
		Рра1	0–15	15
		Рра,g2	15–30	15
ЗИ-223а-19	30-32	Дернина	0+4	4
		АУ	0–10(12)	10 (12)
		Рра1	10(12)–28	18 (16)
		Рра2	28–34(36)	6 (8)
У-113-20	32-33	АУ	0–10(12)	10 (12)
		Рра,g	10(12)–36	26 (24)
СП-213-20	32-34	Дернина	0+3(4)	3 (4)
		АУ	0–10(12)	10 (12)
		Рра	10(12)–25	15 (13)

Почти у всех профилей почв залежей, в среднем через 10 лет, идет процесс образования дернины мощностью до 5 см. У почв южного агроклиматического района (Угличский район) диагностировано через 8 лет наличие темногумусового АUра горизонта мощностью 20 см (разрез У-51-20), у почв 30-летней залежи диагностирован серогумусовый горизонт АУра (У-113-20). Как правило, под горизонтами АУра и АUра залегают пахотные постагрогенные слои; они же полностью слагают прогумусированную толщу в случае отсутствия указанных выше горизонтов.

Установлено, что у 8% изученных разрезов имеется лишь один постагрогенный горизонт; в этом случае его средняя мощность не превышает 23 см. С увеличением мощности бывшей пахотной толщи в среднем до 36 см у 54% изученных профилей появляются 2 постагрогенных горизонта. В 38% случаев при увеличении исходной пахотной толщи в среднем до 36 см диагностируются уже 3 постагрогенных слоя. Таким образом, почти у 92% 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.

3.3 Изменение величин агроклиматического потенциала и почвенно-экологического индекса почв хронорядов

Современные изменения климата не могут не сказаться на трендах эволюционного развития агропочв, в том числе и после снятия с них антропогенной нагрузки. Тесная связь между физическими процессами в атмосфере и на подстилающей поверхности приводит к изменению не только термического режима и гидрологического цикла при глобальном потеплении, но и других компонентов окружающей среды, таких как почвенный покров. Изменения климата почв приводят к изменению показателей почвенных свойств, отвечающих за их плодородие (Иванов, Куст и др., 2018). Важно подчеркнуть, что современные изменения климата неоднородны в географическом аспекте и имеют выраженные региональные особенности.

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

Поскольку почвенные данные представлены двумя временными срезами, обусловленными периодами морфогенетического изучения почв в поле и отбора почвенных образцов, а именно до 1991 г. и в 2019 – 2020 гг., то представляется целесообразным оценки климатических параметров выполнять для двух смежных 30-тилетних интервалов, поскольку именно такой период осреднения метеорологических параметров рекомендован Всемирной метеорологической организацией (ВМО), как достаточный для описания климата. Так, период 1961 – 1990 гг. совпадает с интервалом, принятым ВМО в качестве «климатической нормы». Таким образом, методика основана на сравнении агроклиматического потенциала для двух климатических периодов – 1961–1990 гг. и 1991–2021 гг. (рисунок 12).

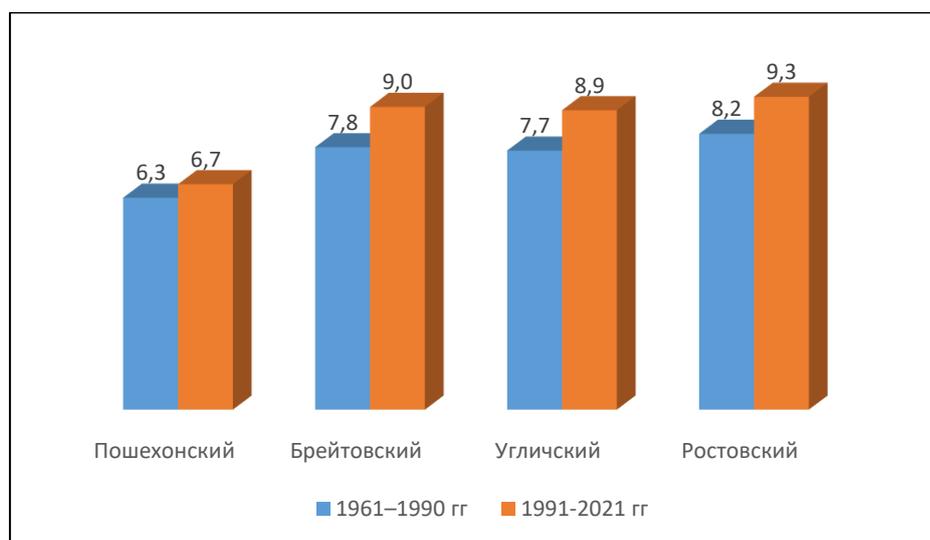


Рисунок 12. Динамика коэффициента агроклиматического потенциала Ярославской области по районам.

Мы можем наблюдать значительное увеличение агроклиматического потенциала современного периода, который характеризует специфические требования сельскохозяйственной культуры к условиям произрастания. В Пошехонском районе данный показатель вырос на 6%, в Ростовском на 13%, а в Брейтовском и Угличском – на 15%.

В общем виде за первый период 1961–1990 гг. сумма температуры воздуха больше 10 °С увеличилась в среднем по территории на 180 °С (примерно на 10%) на фоне незначительных изменений количества атмосферных осадков. По сравнению с первым периодом почвенного обследования увеличение термических ресурсов территории привело к росту агроклиматического потенциала во всех районах.

Сравнение двух смежных периодов 1961–1990 гг. и 1991–2020 гг. показало, что тренд средней годовой температуры воздуха в последние 30 лет увеличился вдвое и составляет 0,6°С/10 лет. Наибольший вклад в изменение температуры воздуха вносят зима и весна, рост

температуры летом и осенью несколько меньше, что совпадает с оценками, приведенными в литературе (Груза, Ранькова, 2012, Доклад об особенностях климата ...,2022).

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.

Физико-химические и химические свойства почв разновозрастных залежей и исходных агропочв (разрезы заложены в 1986–1990 гг.), баллы ПЭи и их составляющие представлены в Приложении 1.

Сравнивая хроноряд пашня-залежь, мы видим четкое снижение коэффициента ПЭи, причем с возрастанием залежи динамика уменьшается, что свидетельствует об улучшении показателей (рисунок 13). 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 и Ростовском районах — от 30 до 49 (Rusakov et al., 2022).

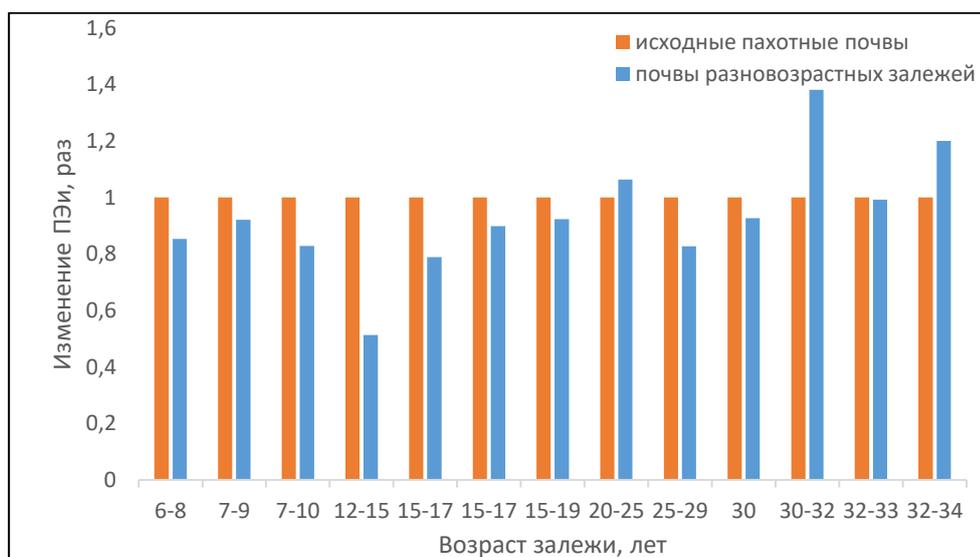


Рисунок 13. Сравнение ПЭи климатических периодов по залежным землям Ярославской области.

Для почв Пошехонского, Угличского и Ростовского районов при рассмотрении хронорядов пашня-пашня (рисунок 14) выявлены четкие деграционные 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 то же время

наблюдается тенденция увеличения величины ПЭи. Данные по величинам ПЭи использовались из материала статьи (Rusakov et al., 2022).

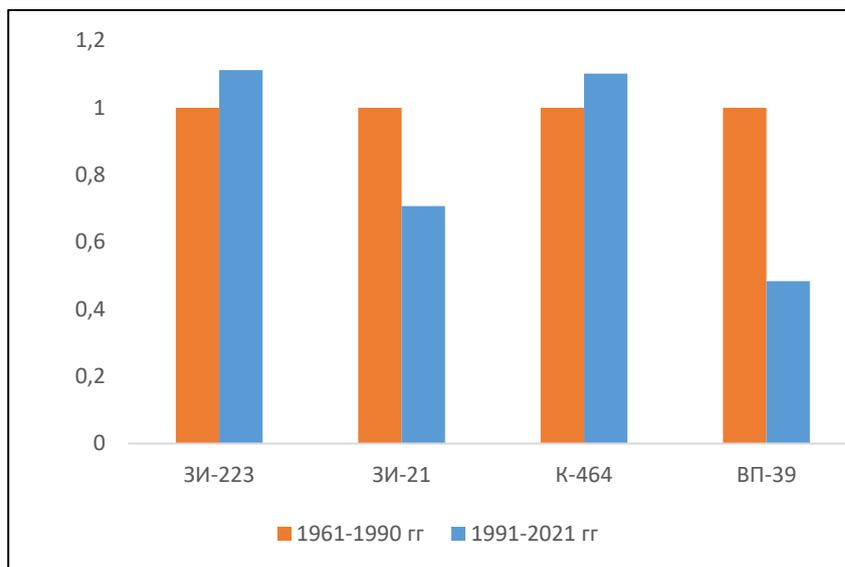


Рисунок 14. Сравнение ПЭи климатических периодов по пахотным почвам Ярославской области.

3.4 Анализ фактической урожайности изученных почв хронорядов пашня-залежь и пашня-пашня по состоянию на 1979–1989 гг. и современный период

В архиве кафедры почвоведения и экологии почв СПбГУ хранятся материалы по крупномасштабному почвенному картографированию землепользований хозяйств по Ярославской области, в том числе те, которые мы использовали в работе, в частности, данные по фактической урожайности по исходным почвам (или агрогруппам почв), представлены в таблице 12.

Данные показывают, что средняя многолетняя урожайность зерновых по исходным агропочвам варьирует в широких пределах – от 6,1 до 25,6 ц/га, то есть разница по этому показателю различается более чем в четыре раза. Для хозяйств северного агроклиматического района среднее многолетняя урожайность составила 12,6 ц/га, а для хозяйств южного агроклиматического района – 17,4 ц/га, что существенно выше по сравнению с северным районом. Такая разница, с одной стороны, вполне объяснима климатическим фактором, а с другой – традиционно высоким уровнем земледелия в Ростовском районе, родине отечественного огородничества, насчитывающего сотни лет. Таким образом, средняя многолетняя урожайность зерновых по хозяйствам, почвы которых включены в объекты исследования, составила 15,0 ц/га.

Таблица 12. Фактическая урожайность хозяйств Ярославской области за (архивные данные по почвам землепользования хозяйств) (Приложение 3)

Название хозяйства	Средняя (за 5 лет) урожайность зерновых культур, ц/га	Годы										
		1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989
Пошехонский район												
«Волна»	13,0	–	–	–	–	16,5	14,1	18,2	10,8	5,3	–	–
«Революция»	11,5	–	–	–	–	–	–	16,1	12,3	12,0	6,4	10,5
«Сога»	6,1	–	–	–	–	11,4	5,9	8,3	3,4	1,5	–	–
«Заветы Ильича»	18,1	–	–	–	–	20,8	24,5	17,2	19,5	8,5	–	–
Брейтовский район												
«Сить-Покровское»	14,6	–	–	15,7	15,4	13,1	11,7	17,4	–	–	–	–
Угличский район												
«Угличский»	9,4	–	–	–	6,7	8,5	12,8	4,4	14,7	–	–	–
«Вперед»	25,6	–	–	–	–	24,9	26,0	21,7	34,6	20,7	–	–
Ростовский район												
«Киргизстан»	15,0	12,7	13,4	7,5	23,0	18,6	–	–	–	–	–	–
«Красный холм»	19,7	–	19,1	16,1	27,0	17,7	18,8	–	–	–	–	–

Если сравнить эти величины урожайности «советского» периода с современными (располагаем только обобщенными данными по области), то, в соответствии с данными Федеральной службы государственной статистики по Ярославской области в 2019 г. средняя урожайность зерновых культур составляет 21,2 ц/га (Росстат по Ярославской области, 2019), что оказалось даже ниже, чем средние показатели по урожайности 30–35 лет назад.

Тенденция последних лет – резкое увеличение фактической урожайности. Так, по данным Федеральной службы государственной статистики на 01 октября 2023 г., урожайность зерновых культур в Ярославской области составила 41,5 ц/га, что превышает показатель предыдущих лет почти в 2 раза.

Прежде чем рассматривать Ун для почв хронорядов по методике на основе ГОСТ Р 70229-2022 (смотри следующий раздел), в данном контексте будет уместно рассмотреть подходы к вычислению Ун на период 1979–1989 гг. Земельно-оценочные показатели взяты из материалов оценки земель с/х назначения, составленных Ярославским филиалом института Центргипрозем совместно с информационно-вычислительным центром ТСХА им. К.А. Тимирязева.

В качестве основного критерия качества с/х земель из материалов оценки земли был использован показатель $У_n$, выраженный в ц/га, и отражающий величину урожая, которую можно получить с той или иной оценочной группы почв при условии возделывания культур га фоне среднеобластных уровней интенсивности земледелия и обеспеченности трудовыми и материальными ресурсами. Оказалось, например, что $У_n$ по колхозу «Сога» составила 12,1 ц/га (в нашем случае среднегодовая урожайность составила в два раза меньше (табл. 2), средняя $У_n$ по Пошехонскому району составила 11,6 ц/га (фактическая урожайность по северному агроклиматическому району, по нашим данным составила 12,6 ц/га); урожайность в 11,6 ц/га была рассчитана и в целом для Ярославской области.

Таким образом, практически величины фактической и $У_n$ по «советской» методике оказались близки, урожайность в целом была низкой по своим показателям. Если рассматривать данные по фактической урожайности по Ярославскому комплексному госсортоучастку, то, по данным на 1983 г. она составляла 25,3 га, то есть более чем в два раза превышала даже $У_n$ на тот же период. Если брать в расчет среднюю фактическую урожайность по всем сортоучасткам Ярославской области по состоянию на 1985 г., то она составила уже 34,4 ц/га, то есть превышает $У_n$ по ярославской области уже почти в три раза.

3.5 Нормативная урожайность, вычисленная для почв хронорядов пашня-пашня и пашня-залежь

Нормативная урожайность почв хронорядов пашня-залежь и пашня-пашня в Ярославской области рассчитывалась согласно формуле 2 путем введения поправочных коэффициентов в формулу на содержание гумуса (K_1), мощность гумусового горизонта (K_2), содержание физической глины (K_3) и негативных свойств (K_4), которые устанавливаются по нормативным таблицам к $У_n$ зерновых культур на эталонной почве (Приложение 4).

Вполне естественно, что показатели $У_n$ возрастают от дерново-подзолистых почв к черноземам, то есть в ряду почв с увеличением их потенциального плодородия. В таблице 13 и 14 приведены расчетные данные $У_n$ зерновых культур, фактическая урожайность зерновых культур и баллы почвенно-экологического индекса.

Анализируя данные таблицы 13, мы видим, что $У_n$ на почвах исходных пашней почти во всех случаях заметно превышает фактическую урожайность, в среднем от 1,4–2,0 до 3,4–3,5 раз. Это свидетельствует, с одной стороны, о довольно низком уровне агротехники в позднесоветский период, а с другой стороны – о довольно высоком потенциальном плодородии пахотных почв при выращивании зерновых культур. В единичном случае (разрез

ЗИ-223) фактическая урожайность зерновых культур превышает Ун, а в одном случае (разрез КХ-91) данные по фактической урожайности приближаются к величинам Ун (таблицы 12).

Таблица 13. Данные по Ун и фактической урожайности и ПЭи в хроноряду пашня-залежь.

Разрез	Угодье	Ун, ц/га	Уфакт., ц/га	ПЭи
Пошехонский район				
В-161	П	23,28	13,00	34,30
В-161-19	7-10	16,54	–	28,40
И-79	П	24,32	–	54,40
И-79-19	12-15	13,63	–	27,90
С-175	П	21,06	6,10	34,00
С-175-19	20	17,02	–	26,80
С-41	П	21,33	6,10	35,20
С-41-19	15-17	12,74	–	31,60
С-41а-19	25-29	23,18	–	29,10
Р-131	П	21,09	11,50	38,10
Р-131-19	20-25	12,31	–	40,50
С-63	П	20,85	6,10	31,20
С-63-19	30	15,83	–	28,90
ЗИ-223	П	13,91	18,10	34,70
ЗИ-223а-19	30-32	16,46	–	47,90
З-37	П	23,80	–	54,40
З-37-19	7-9	14,52	–	50,10
Брейтовский район				
СП-213	П	25,20	14,60	35,10
СП-213-20	32-34	25,31	–	42,10
Угличский район				
У-113	П	18,64	9,40	38,80
У-113-20	32-33	18,76	–	38,50
У-51	П	31,65	9,40	83,20
У-51-20	6-8	29,12	–	71,00
Ростовский район				
КХ-91	П	26,84	19,70	52,00
КХ-91-21	15-19	29,76	–	48,00

Примечание: П – пашня; З – залежь, в скобках обозначен возраст залежи (лет); Ун – нормативная урожайность зерновых культур; Уфакт – фактическая урожайность, ПЭи – почвенно-экологический индекс.

Более наглядно указанные закономерности представлены на рисунке 15, где почвы ранжированы в порядке возрастания показателей Ун, которые варьируют в довольно широких пределах – от 13,9 до 31,6 ц/га.

Примечательно, что максимальные данные по Ун (выше 25 ц/га) характерны для почв южного агроклиматического района.

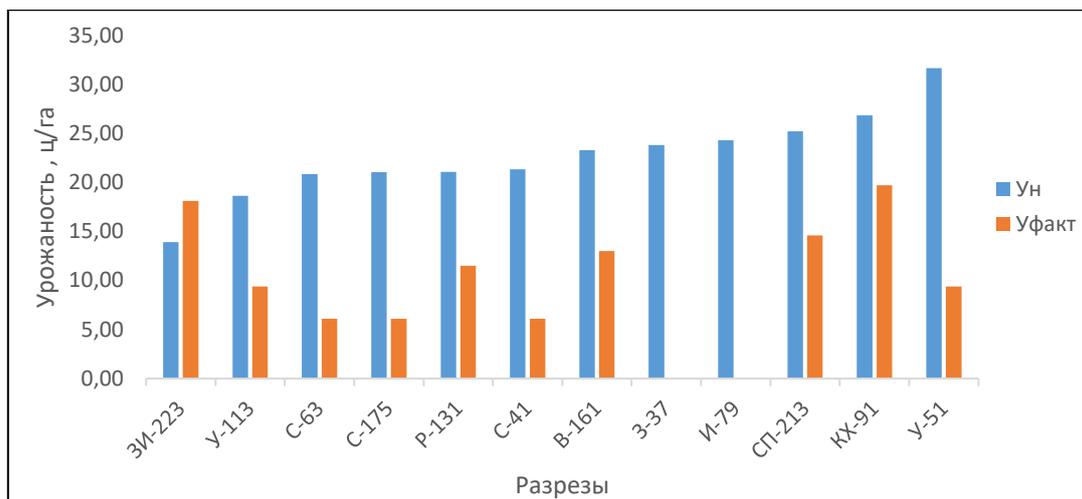


Рисунок 15. Сравнение данных фактической и Ун урожайности зерновых культур «архивных» пахотных почв.

На рисунке 16 приведены данные по расчетным величинам Ун для разновозрастных залежных почв (в порядке увеличения срока залежности) и сравнение ее с данными фактической урожайности исходных пахотных почв. Данные рисунка 16 показывают отсутствие закономерностей по увеличению или уменьшению величин урожайности с увеличением возраста залежей. Оказалось, что во всех случаях фактическая урожайность исходных пахотных почв оказалась ниже по сравнению с урожайностью зерновых, рассчитанных по методике для Ун. Таким образом, при возможном вовлечении исходных пахотных почв, находящихся в данный момент под разновозрастными залежами, мы можем ожидать довольно высок урожаи зерновых, превышающие фактическую урожайность в среднем более чем в 2 раза.

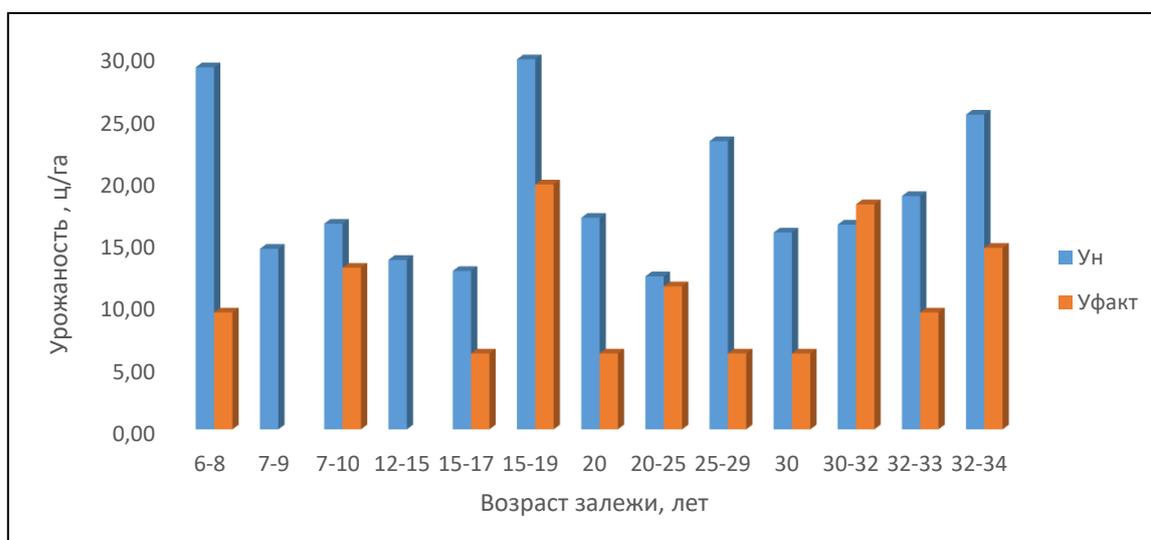


Рисунок 16. Сравнение данных по урожайности зерновых культур, рассчитанных для залежных почв.

Теперь рассмотрим величины $У_n$, рассчитанные для исходных пахотных почв и $У_n$ залежей в ряду пашня-залежь (таблица 13), то есть абстрагируемся от данных по фактической урожайности (рисунок 17). Иными словами, сравним $У_n$ пахотных почв и $У_n$, которая могла бы быть, если ввести разновозрастные залежи в сельскохозяйственный оборот.

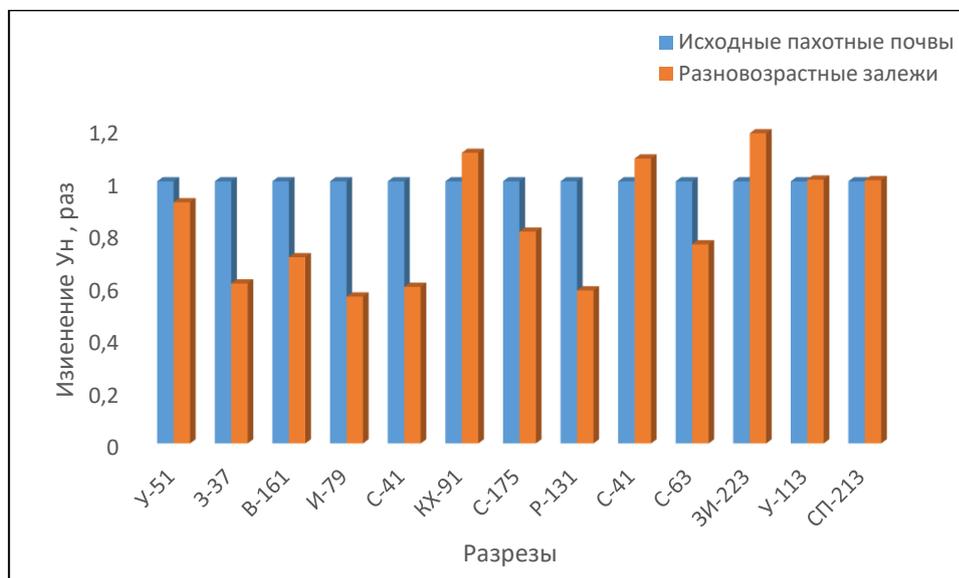


Рисунок 17. Сравнение данных по $У_n$ зерновых культур, рассчитанные для исходных пахотных почв и залежей в ряду пашня-залежь.

Данные получились следующие. Из изученных тринадцати пар хронорядов в 62% случаев рассчитанные величины $У_n$ для залежей оказались ниже по сравнению с пахотными аналогами в 1,1–1,8 раз (таблица 13), то есть уровень потенциального плодородия пахотных почв превышал таковую залежей. Установлено, что такое уменьшение $У_n$ залежей наблюдается в основном только у молодых и средневозрастных залежей (8–16 лет) и единично (20 и 30 лет) только у двух пар хронорядов (таблица 13). По всей видимости, такое снижение $У_n$ залежей по сравнению с пахотными вариантами обязано сохранению пула органо-минеральных удобрений и известкования пахотных почв, которых лишены залежные почвы. С другой стороны, среди большинства залежей проявились признаки гидроморфизма, что значительно влияет на уменьшение рассчитанной $У_n$.

Среди остальных пар хронорядов (38%) установлено, что $У_n$ залежей превосходит таковую у пахотных почв в среднем в 1,1–1,2 раза или осталась практически неизменной (таблица 13), причем этот факт установлен для возрастных залежей (27–33 лет) и единично – для залежи 17-летнего возраста. Это говорит о том, что проградационные процессы в залежах, выраженные через увеличение $У_n$, достигают в залежах по прошествии примерно

30-летнего возраста, что нужно учитывать при вовлечении залежей в активный сельскохозяйственный оборот.

Перед выявлением связи между показателями урожайности и ПЭи на залежных почвах был проведен дисперсионный анализ (Таблица 14).

Таблица 14. Результаты дисперсионного анализа для взаимосвязи показателей урожайности и ПЭи на залежных почвах

Критерий Фишера	Ун	Уфакт	ПЭи
Повторности (номера или индексы вариантов)	20	18	16
F _{факт}	22,64	45,55	31,12
F ₀₅	2,26	2,40	2,20
НСР ₀₅	3,45	1,84	6,82
Различия между средними вариантами	Существенны	Существенны	Существенны

Примечание: Ун — нормативная урожайность зерновых культур, Уфакт. — фактическая урожайность, ПЭи — почвенно-экологический показатель; здесь и далее: F_{факт} — критерий Фишера фактический, F₀₅ — критерий Фишера теоретический при P = 95 %, НСР₀₅ — наименьшая существенная разность при P = 95 %.

На основании сравнения двух коэффициентов фактического и теоретического коэффициента Фишера, нами было подтверждено, что средние значения сравниваемых значений между собой существенно различались, поэтому нами было проведен корреляционный анализ (Таблица 15).

Таблица 15. Данные дисперсионного анализа для взаимосвязи показателей урожайности и ПЭи на залежных почвах

Показатель	Парные коэф.корреляции	Повторность	Ошибка коэф. корреляции	Критерии Стьюдента		Существенность взаимосвязи	Коэф. детерминации (r ² *100), %
				Фактический	Теоретический		
	r	n	Sr	t _r	t ₀₅		r ²
r (Ун - Уфакт)	0,27	10	0,34	0,79	2,31	Несущественна	7,3
r (Ун - ПЭи)	0,67	10	0,26	2,58	2,31	Существенна	45,3
r (Уфакт - ПЭи)	0,67	12	0,23	2,85	2,31	Существенна	44,8

Примечание: Ун — нормативная урожайность зерновых культур; Уфакт — фактическая урожайность; ПЭи- почвенно-экологический показатель; r — коэффициент корреляции; n — повторность; Sr — ошибка коэффициента корреляции; t_r — критерий Стьюдента фактический; t₀₅ — критерий Стьюдента теоретический при P = 95 %.

При сравнении средних Ун зерновых культур и ПЭи нами была выявлена существенная тесная квадратичная взаимосвязь (рисунок 18).

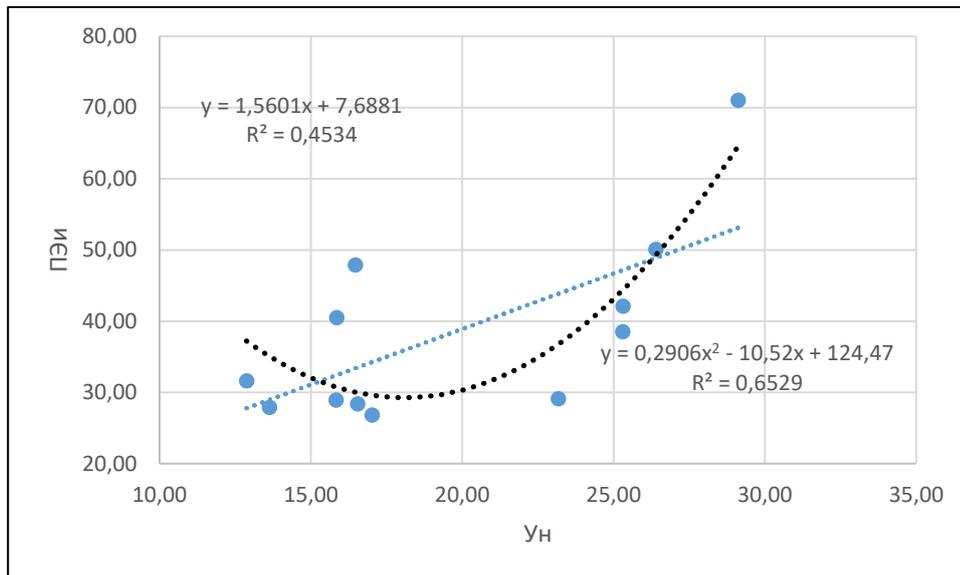


Рисунок 18. Уравнение нелинейного коэффициента корреляции для Ун зерновых культур и ПЭи на залежных почвах.

Сравнивая средние фактической урожайности и ПЭи нами была выявлена средняя линейная существенная взаимосвязь (рисунок 19).

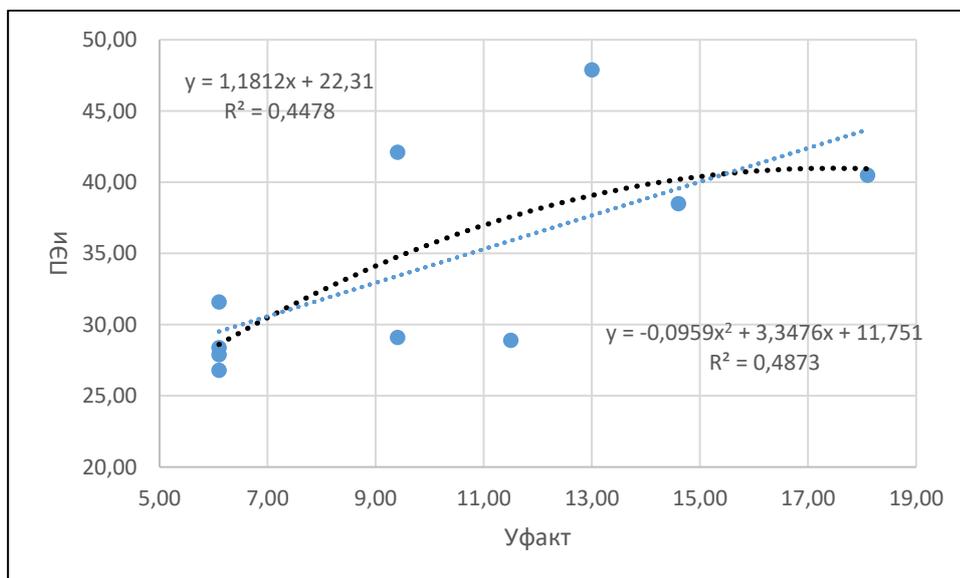


Рисунок 19. Уравнение нелинейного коэффициента корреляции для фактической урожайности зерновых культур и ПЭи на залежных почвах.

На основании уравнения регрессии можно интерполировать прогнозные значения.

Рассмотрим по аналогии для почв Пошехонского, Угличского и Ростовского районов хроноряда пашня-пашня взаимосвязь Ун, фактической урожайности и ПЭи (Таблица 16).

Таблица 16. Данные урожайности зерновых культур изученных пахотных почв и ПЭи.

Разрез	Угодье	Ун, ц/га	Уфакт., ц/га	ПЭи
Пошехонский район				
ЗИ-223	П	13,91	18,10	34,70
ЗИ-223-19	П	14,78	–	38,60
ЗИ-21	П	22,55	18,10	52,90
ЗИ-21-19	П	21,57	–	37,40
Ростовский район				
КХ-101	П	27,43	19,70	–
КХ-101-21	П	30,37	–	–
К-464	П	16,13	15,00	49,00
К-464-21	П	33,52	–	54,00
30ПМР	П	29,28	15,00	–
30ПМР-21	П	34,36	–	–
Угличский район				
ВП-39	П	28,42	25,58	66,10
ВП-39-20	П	23,20	–	32,00

Примечание: П – пашня; Ун - нормативная урожайность зерновых культур; Уфакт - фактическая урожайность; ПЭи- почвенно-экологический показатель.

Анализируя данные таблицы 16, мы видим, что Ун почти по всем разрезам превышает данные фактической урожайности в 1,1–2,0 раз, аналогично, как и с залежными почвами, за исключением почвы разреза ЗИ-223 и ВП-39. Сказанное свидетельствует о потенциале повышения плодородия пахотных почв, находящихся в сельскохозяйственном использовании без перевода их в залежи.

Рассмотрим динамику изменения данных показателей для пахотных почв Ярославской области на гистограмме (рисунок 20). Выявлена четкая тенденция увеличения нормативной урожайности от почв от северного агроклиматического района к южному на фоне довольно низкого варьирования данных по фактической урожайности.

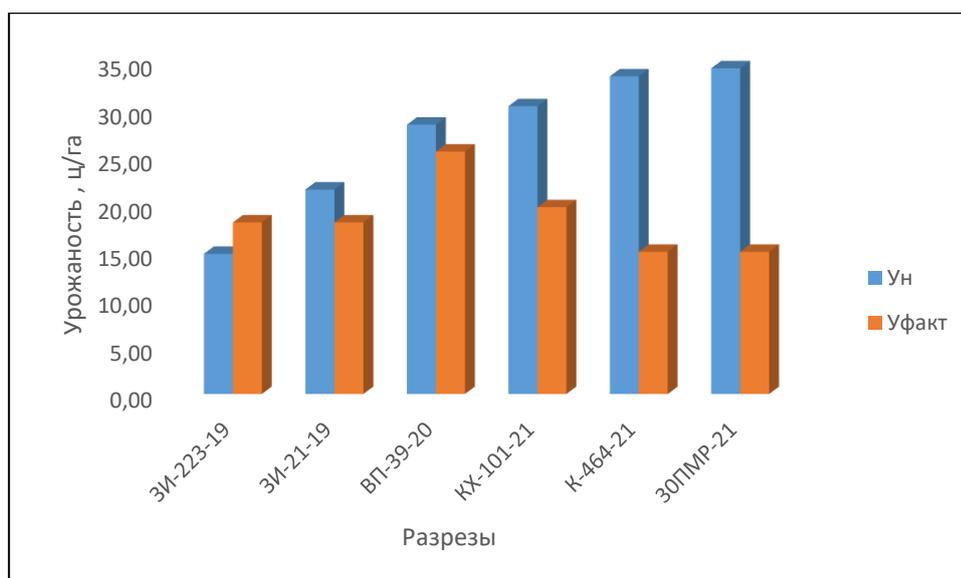


Рисунок 20. Сравнение данных по урожайности зерновых культур для пахотных почв в хроноряду пашня-пашня.

На рисунке 21 показано, как изменились величины Ун пахотных почв за 30–35-летний период. Выявлен устойчивый тренд увеличения урожайности в 1,1–2,1 раз, за исключением почвы разреза ВП 39-20, в которой диагностированы устойчивые признаки гидроморфизма (таблица 10).

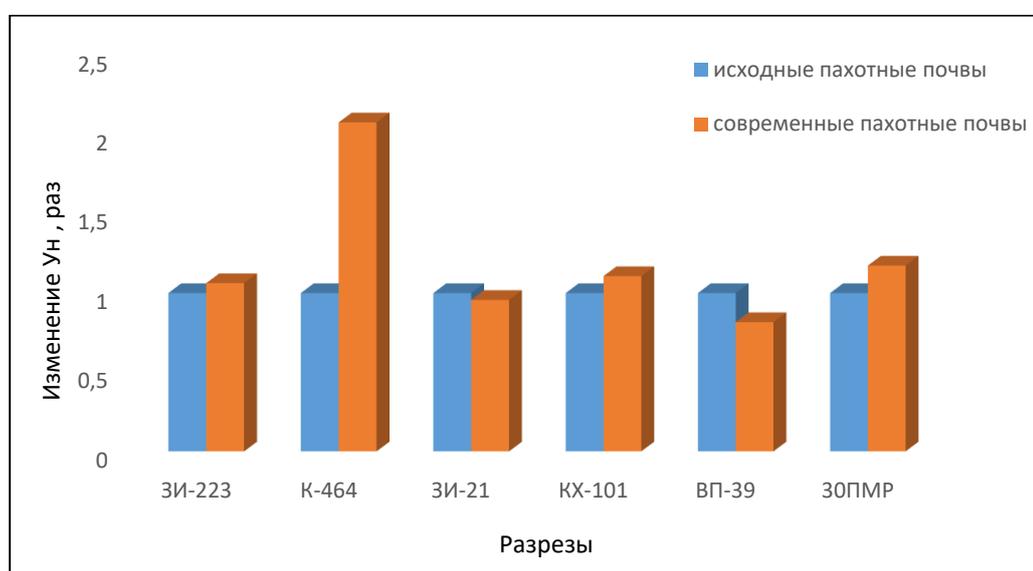


Рисунок 21. Сравнение данных Ун зерновых культур для пахотных почв.

Аналогично проведем статистическую обработку связи показателей урожайности и ПЭи для пахотных почв с помощью дисперсионного анализа (Таблица 17).

Таблица 17. Данные дисперсионного анализа для взаимосвязи показателей урожайности и ПЭи на пахотных почвах.

Критерий Фишера	Ун	Уфакт	ПЭи
Повторности (номера или индексы вариантов)	20	18	16
F _{факт}	15,46	42,13	30,24
F ₀₅	1,90	1,90	2,50
НСР ₀₅	3,89	2,57	7,66
Различия между средними вариантами	Существенны	Существенны	Существенны

Примечание: Ун — нормативная урожайность зерновых культур; Уфакт. — фактическая урожайность; ПЭи — почвенно-экологический показатель; F_{факт} — критерий Фишера фактический; F₀₅ — критерий Фишера теоретический при P = 95 %; НСР₀₅ — наименьшая существенная разность при P = 95 %.

На основании сравнения двух коэффициентов фактического и теоретического коэффициента Фишера, мы подтвердили, что наши данные существенно между собой различны и можно проводить корреляционно-регрессионный анализ (Таблица 18).

Таблица 18. Данные дисперсионного анализа для взаимосвязи показателей урожайности и ПЭи на пахотных почвах

Показатель	Парные коэффициенты корреляции	Повторность	Ошибка коэффициента корреляции	Критерии Стьюдента		Существенность взаимосвязи	Коэффициент детерминации (r ² *100), %
				Фактический	Теоретический		
	r	n	Sr	t _r	t ₀₅	r ²	
r (Ун - Уфакт)	0,067	18	0,25	0,27	2,1	Несущественна	0,5
r (Ун - ПЭи)	0,500	16	0,23	2,16	2,1	Существенна	25,0
r (Уфакт - ПЭи)	0,294	16	0,26	1,15	2,1	Несущественна	8,6

Примечание: Ун — нормативная урожайность зерновых культур; Уфакт. — фактическая урожайность; ПЭи — почвенно-экологический показатель; r — коэффициент корреляции; n — повторность; Sr — ошибка коэффициента корреляции; t_r — критерий Стьюдента фактический; t₀₅ — критерий Стьюдента теоретический при P = 95%.

При сравнении средних Ун зерновых культур и ПЭи нами было выявлена квадратичная тесная существенная взаимосвязь (рисунок 22).

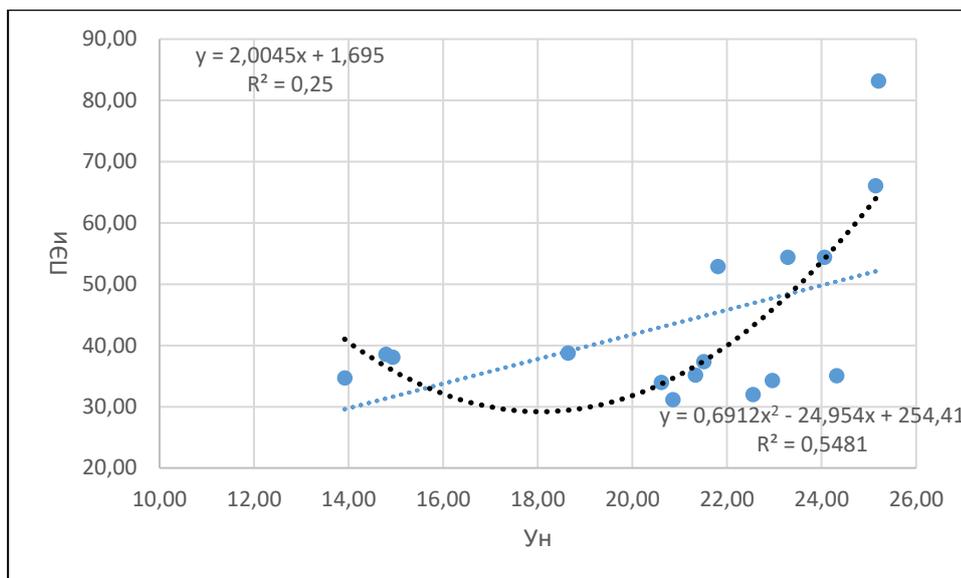


Рисунок 22. Уравнение линейного коэффициента корреляции для Ун зерновых культур и ПЭи на пахотных почвах

В ходе статистической обработки данных нами были рассчитаны значения коэффициентов вариаций, на основании которых мы смогли судить о степени однородности признаков совокупности.

ВЫВОДЫ

1. В большинстве профилей залежных почв, через 10 лет, проявляется процесс образования дернины, у почв южного агроклиматического района диагностировано наличие темногумусового АУра и серогумусового АУра горизонтов. Как правило, под ними залегают пахотные постагrogenные слои (от одного до трех); они же полностью слагают прогумусированную толщу в случае отсутствия указанных выше горизонтов.

Характерной особенностью почв изученного постагrogenного ряда является появление устойчивых морфологических признаков оглеения, в большей степени в северных районах Ярославской области, не диагностируемых ранее у автоморфных агропочв до перевода их в залежь.

2. В исследованных агродерново-подзолистых почвах разного срока залежности в ряду пашня-залежь северном агроклиматическом районе содержание гумуса практически не изменилось, выявлен тренд увеличения его содержания в южном агроклиматическом районе, что указывает здесь на проградационные процессы в залежных почвах. В ряду пашня-пашня выявлено уменьшение содержания гумуса, отражающего деградационный тренд при постоянном сельскохозяйственном использовании этих почв.

3. В практической плоскости впервые оценена модель Ун по ГОСТ Р 70229-2022 в хронорядах пашня-залежь и пашня-пашня. В подавляющих случаях фактическая урожайность исходных пахотных почв по состоянию на 1979–1989 гг. оказалась существенно ниже по сравнению с рассчитанной для этих почв нормативной на этот же период и при условии перевода залежей на этом месте в пашню. Несмотря на локальные проявления гидроморфизма в почвах и разнонаправленные тенденции по содержанию гумуса, увеличение климатической составляющей Ун в северном агроклиматическом районе увеличилось на 11%, а в южном агроклиматическом районе на 14%, что в целом способствовало росту расчетных показателей Ун как залежных почв, так и почв, не испытывавших трансформацию перевода в залежь.

4. Использование подхода определения потенциального плодородия пахотных почв и почв разновозрастных залежей с помощью определения Ун по ГОСТ Р 70229-2022, тесно коррелирующей с ПЭи (где учтена агрохимическая составляющая) подтверждает необходимость использования в кадастровых работах именно расчетных показателей (в том числе – климатической составляющей) вместо данных по фактической урожайности.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Физико-химические и химические свойства почв разновозрастных залежей и исходных агропочв (разрезы заложены в 1986–1990 гг.), баллы ПЭи и их составляющие

Разрез*	Угодье**	Признаки гидроморфизма	Гран. состав	Гумус, %	pH _{сол}	P ₂ O ₅ мг/100 г	K ₂ O г	Составляющие ПЭи			ПЭи
								П	К	А	
Пошехонский район											
3-37-19	3, 7–9	+	С	3,45	5,8	18,4	7,9	6,8	6,7	1,1	50,1
3-37	П	–	С	3,00	6,2	22,2	9,0	7,2	6,3	1,2	54,4
В-161-19	3, 7–10	+	С	1,46	4,7	3,5	4,2	5,3	6,7	0,8	28,4
В-161	П	–	С	2,40	4,4	5,5	6,0	6,8	6,3	0,8	34,3
И-79-19	3, 12–15	+	С	2,47	5,2	5,0	5,7	5,2	6,7	0,8	27,9
И-79	П	–	С	3,14	6,5	13,3	16,5	7,2	6,3	1,2	54,4
С-175-19	3, 20	+	С	2,19	4,7	7,5	5,0	5,0	6,7	0,8	26,8
С-175	П	–	С	1,74	4,6	9,9	6,7	6,0	6,3	0,9	34,0
С-41-19	3, 15–17	+	С	1,83	4,9	4,6	5,3	5,9	6,7	0,8	31,6
С-41а-19	3, 25–29	–	С	2,02	4,2	3,0	4,2	6,2	6,7	0,7	29,1
С-41	П	–	С	1,97	4,8	8,8	7,8	6,2	6,3	0,9	35,2
Р-131-19	3, 20–25	–	У	3,09	5,9	10,7	9,3	5,5	6,7	1,1	40,5
Р-131	П	–	У	2,76	6,0	14,4	10,5	5,5	6,3	1,1	38,1
С-63-19	3, 30	+	С	1,53	5,0	6,3	3,8	5,4	6,7	0,8	28,9
С-63	П	–	С	1,91	4,7	4,7	3,1	6,2	6,3	0,8	31,2
ЗИ-223а-19	3, 30–32	–	У	2,09	6,0	14,0	8,4	6,5	6,7	1,1	47,9
ЗИ-223-19	П	–	У	1,86	5,5	9,4	6,7	6,4	6,7	0,9	38,6
ЗИ-223	П	–	У	1,41	5,0	13,7	12,6	5,5	6,3	1,0	34,7
ЗИ-21-19	П	–	С	2,16	4,6	12,8	13,1	6,2	6,7	0,9	37,4
ЗИ-21	П	–	С	2,67	6,1	25,0	5,9	7,0	6,3	1,2	52,9
Брейтовский район											
СП-213-20	3, 32–34	+	С	2,26	4,9	5,1	6,2	5,2	9,0	0,9	42,1
СП-213	П	–	С	1,91	5,4	10,0	4,6	5,0	7,8	0,9	35,1
Угличский район											
У-51-20	3, 6–8	+	С	4,67	6,9	20,5	16,6	5,7	8,9	1,4	71,0
У-51	П	–	С	3,59	7,1	48,8	33,7	7,2	7,7	1,5	83,2
У-113-20	3, 32–33	+	У	1,90	4,5	11,0	2,0	5,4	8,9	0,8	38,5
У-113	П	–	У	1,66	5,4	11,1	2,3	5,6	7,7	0,9	38,8
ВП-39-20	П	+	С	1,62	4,6	8,3	4,7	4,5	8,9	0,8	32,0
ВП-39	П	–	С	2,17	6,1	14,5	15,6	6,6	7,7	1,3	66,1
Ростовский район											
КХ-101-21	П	–	С	1,8	4,8	0,2	2,6	-	-	-	-
КХ-101	П	–	С	2,07	5,5	0,2	2,6	-	-	-	-
КХ-91-21	П	–	С	1,78	4,0	15,1	2,4	6,0	9,3	0,9	48
КХ-91	3, 15-19	–	С	1,90	4,8	0,1	2,1	5,7	8,2	1,1	52
К-464-21	П	+	С	1,91	4,4	0,2	2,6	6,0	9,3	1,0	54
К-464	П	+	С	1,98	4,3	0,1	2,6	6,2	8999,2	1,0	49
30ПМР-21	П	–	С	2,64	5,0	0,2	2,6	-	-	-	-
30ПМР	П	–	С	2,19	5,8	0,2	2,5	-	-	-	-

Примечание: *– цифра 19 (20) означает год заложения разреза; **– П – пашня; З – залежь, цифры с обозначением залежи означает ее возраст; признаки гидроморфизма: "+" – наличие, "-" – отсутствие; гран. состав: У – супесь; С – суглинок.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Описание разрезов Пошехонского района Ярославской области

<p>20.08.2019. Разрез И-79-19 Пошехонский район, Ярославская область, Ларионово, бывшее хозяйство «Искра» N 58.81526, E 39.50829 Шекснинско-Костромской водораздел Средняя часть пологосклонного холма, выровненная поверхность между небольшим повышением и понижением. Выраженный микрорельеф, в том числе следы бывшей распашки, кочки злаков Угодье: залежь, 12–15 лет. Растительное сообщество: разнотравно (манжетка, полынь, василек)-крупнозлаковый (овсяница луговая, тимофеевка) луг</p>	
	
Почва	Агродерново-подзолистая глееватая постагрогенная на карбонатных покровных суглинках
<p>22.08.2019. Разрез З-37-19 Пошехонский район, Ярославская область, Селиверстово, бывшее хозяйство «Знамя» N 58.74957, E 39.37551 Шекснинско-Костромской водораздел Плоская вершина пологого холма, ограниченного слабопрорезанными водотоками. Крупнопolygonально-блочный мезорельеф. Угодье: залежь, 7–10 лет. Край поля заброшен около 20 лет назад. Заболочивание по краю, центральная часть поля не заболочена. Встречаются муравейники, мышьиные городки. Участок не выпасывался и не косился. Растительное сообщество: овсяницево-васильковый луг</p>	
	
Почва	Агроем текстурно-дифференцированный постагрогенный на покровных суглинках, подстилаемых карбонатной мореной

23.08.2019. Разрез Р-131-19

Пошехонский район, Ярославская область, бывшее хозяйство «Революция»

№ 58.73171, Е 39.34505

Шекснинско-Костромской водораздел

Древняя долина р. Согожи, правый берег в среднем течении, уклон в сторону долины

В микрорельефе повышения и понижения — бывшие борозды

Угодье: залежь, возраст 20–25 лет.

Растительное сообщество: кульбабово (кульбаба шершавая)-овсяницевый луг



Почва	Агрозем светлый типичный постагрогенный супесчаный на озерно-ледниковых отложениях
--------------	---

26.08.2019. Разрез ЗИ-223-19

Пошехонский район, Ярославская область, Рождественно

бывшее хозяйство «Заветы Ильича»

№ 58.48123, Е 39.05121

Плоская террасовидная поверхность Рыбинского водохранилища, подпертое устье р. Согожи

Угодье: пашня, лен

Растительное сообщество: действующий льняной агроценоз, засоренность ~ 70%, культура ~ 65%.



Почва	Агрозем светлый типичный на озерных супесях, подстилаемых крупнопылеватыми озерными суглинками
--------------	---

28.09.2019. Разрез ЗИ-223а-19

Пошехонский район, Ярославская область, Рождественно

бывшее хозяйство «Заветы Ильича»

№ 58.48161, Е 39.05483

Плоская террасовидная поверхность Рыбинского водохранилища, подпертое устье р. Согожи

Выровненный участок

Угодье: залежь

Возраст залежи по характеру растительности — 30 лет

Растительное сообщество: сочетание зарастающих лугов сорно-разнотравно-крупнозлаковых с березняком с ивой козьей и подростом ели олуговелым



Почва

Серогумусовая постагрогенная супесчаная на озерных супесях, подстилаемых крупнопылеватыми озерными суглинками

25.08.2019. Разрез В-161-19

Пошехонский район, Ярославская область, Вахрамеево, бывшее хозяйство «Волна»

№ 58.70318, Е 38.52031

Средняя часть плосковершинного холма, межблочное повышение

В микрорельефе чередование повышений и понижений, перепад высоты поверхности ~20 см

Угодье: залежь, возраст залежи (по опросу) — 10 лет, выборочно производится сенокосение

Возраст залежи по состоянию растительного покрова — 7–10 лет

Растительное сообщество: разнотравно (вероника, манжетка, зверобой, подмаренник)-крупнозлаковый (тимофеевка, ежа) луг

На более заросшем участке поля (№ 58.70600, Е 39.52073): береза до 30 лет, ива козья, с опушки зарастает осинкой. Крупнозлаковый (ежа сборная, тимофеевка, лисохвост) нитрофильно-крупнотравный (дудник, бодяк полевой) луг

Заболачивание ближе к ЛЭП, лисохвостово-щучковый луг, много ивы



Почва

Агрозем текстурно-дифференцированный глееватый постагрогенный на карбонатных покровных суглинках

27.08.2019. Разрез ЗИ-21-19

Пошехонский район, Ярославская область, Рождественно
бывшее хозяйство «Заветы Ильича»
N 58.48410, E 39.09634

Плоская террасовидная поверхность, очень слабый уклон в направлении р. Ветхи, ~ 800 м от Ветхи
Угодье: пашня, лен

Растительное сообщество: действующий льняной агроценоз, засоренность ~ 90%, хорошее перекрытие;
культура ~ 50%. Более олуговелый участок по сравнению с льняным полем ЗИ-223-19.



Почва | **Агродерново-подзолистая на покровных суглинках, подстилаемых мореной**

29.08.2019. Разрез С-63-19

Пошехонский район, Ярославская область
бывшее хозяйство «Сога»
N 58.44703, E 39.43816

вершина полого склона, микроповышения и понижения
Угодье: залежь

Возраст залежи по состоянию растительного покрова — ~ 30 лет

Растительное сообщество: разнотравно (купырь, манжетка, василек)-крупнозлаковый (тимофеевка, овсяница луговая) луг



Почва | **Агродерново-подзолистая постагрогенная на покровных суглинках, подстилаемых карбонатной мореной**

21.09.2019. Разрез С-41-19

Пошехонский район, Ярославская область, д. Благодать

бывшее хозяйство «Сога»

№ 58.44753, Е 39.42565

Рельеф: пологий склон восточной экспозиции, разрез заложен в средней части неширокого ложбинообразного понижения, бровки — до 25-30 см, ориентация ложбин — на восток.

Угодье: залежь

Возраст залежи по состоянию растительного покрова — около 15 лет.

Растительное сообщество: овсяницево-манжетково-васильковый луг, зарастающий серой ольхой; макс. возраст ольхи — 13 лет.



Почва

Агродерново-подзолистая постагрогенная на покровных суглинках, подстилаемых карбонатной мореной

22.09.2019. Разрез С-41а-19

Пошехонский район, Ярославская область, д. Благодать, бывшее хозяйство «Сога»

№ 58.44665, Е 39.42631

Рельеф: выровненный участок в пределах очень пологого склона восточной экспозиции, микрорельеф — слабо выраженные ложбины.

Угодье: залежь

Возраст залежи по состоянию растительного покрова — 22-25 лет

Растительное сообщество: сочетание зарастающих лугов злаково-крупнотравных с березняком с подростом ели олуговельм; макс. возраст березы и ели — 19-21 год, возраст залежи — (22-)25 лет. В ложбинках стока есть немногочисленные гигрофиты, под более густыми куртинами деревьев есть немногочисленные лесные виды и опушечно-луговые мезотрофы (идет обеднение верхнего горизонта основаниями и азотом).



Почва

Агродерново-подзолистая постагрогенная на покровных суглинках, подстилаемых карбонатной мореной

27.08.2019. Разрез С-175-19

Пошехонский район, Ярославская область, заказник «Кученевский»

бывшее хозяйство «Сога» (до 1999 г.)

N 58.43156, E 39.44731

Верхняя часть склона, спуск к долине ручья Иней

В микрорельефе чередование повышений и понижений от бывшего бороздования, узенькая зарастающая канава (близко к прикопке 6), многочисленные следы и порои кабанов, следы лося, медведя, лежки

Угодье: залежь, заказник (площадь ~ 19 га)

Возраст залежи по состоянию растительного покрова — ~ 20 лет

Растительное сообщество: разнотравно (купырь, василек, клевер гибридный, лютик едкий)-злаковый (овсяница луговая, полевица тонкая) луг



Почва

Агродерново-подзолистая глееватая постагрогенная на покровных суглинках, подстилаемых мореной

Описание разрезов Брейтовский района Ярославской области

18.06.2020 Разрез СП-213-20

Ярославская область, Брейтовский район,

Бывший совхоз «Сить Покровское», Покровское на Сити, д. Старое Мерзлеево

N 58.20919°, E 37.81959°

Рельеф:

- Западно-Заволжская озерно-ледниковая равнина
- Пологая слабоволнистая поверхность

Угодье: залежь, 32–34 года

Растительное сообщество: зарастающий серой ольхой, березой и сьлю крупнозлаково (овсяница, мятлик, тимopheевка и др.)-крупнотравный (купырь, борщевик сосновского, василек и др.) луг

Верховодка выступила и установилась на 125 см

Лицевая стенка ориентирована на Ю.



Почва:

Дерново-подзолистая глееватая постагрогенная на карбонатных покровных суглинках

Описание разрезов Угличский район Ярославской области

12.07.2020 Разрез У-113-20

Ярославская область, Угличский район

№ 57.38482°, Е 38.13782°

Рельеф: - Верхневолжская низина, древняя терраса

- Нанорельеф относительно ровный, борозды выражены слабо

Угодье: залежь, 32–33 года

Растительное сообщество: Березняк ивняково-щучковый.

Появляются лесные виды с маленьким обилием, начало превращения в лес. Есть дубки. Смородина красная из деревни. Сохраняются луговые виды. Коренным породам братья не откуда. Заболачивания нет.

Верховодка выступила на 150 см, установилась на 145 см.

Лицевая стенка ориентирована на Ю.



Почва:

Дерново-подзол глееватый постагрогенный на супесчаных отложениях, подстилаемых карбонатной мореной

14.07.2020 Разрез ВП-39-20

Ярославская область, Угличский район, 500 м от д. Вдуля

Бывший совхоз «Вперед»

№ 57.46299°, Е 38.07016°

Рельеф: - Западно-Заволжская озерно-ледниковая равнина

- Плоская вершина блочного повышения, 200 м на С от долины руч. Павловский

- Выражен полигональный микрорельеф

- В нанорельефе неглубокие тонкие борозды

Угодье: пашня, многолетние травы (ранее – пашня под многолетние травы)

Верховодка на 76 см (сочится с 65 см), установилась на 70 см. Разрез заливает водой.

На участке есть линейные понижения, где вода стоит на поверхности, хотя сам участок занимает дренированную позицию и окружен ручьем. Лицевая стенка ориентирована на Ю.



Почва:

Дерново-карбонатная легкосуглинистая на карбонатной морене

15.07.2020 Разрез У-51-20

Ярославская область, Угличский район, н.п. Нефтино

Бывший совхоз «Угличский»

N 57.39421°, E 38.22636°

Рельеф:

- Верхневолжская низина
- Средняя часть очень пологого склона к ручью

Угодье: залежь, 6–8 лет (по древесной растительности).

Растительное сообщество: разнотравно-крупнотрава-купыревый луг.

Яблоня, сосна, рябина в подросте. В растительности отмечена микронеоднородность. Есть тростник, что говорит о питании ГВ.

Валуны по всему профилю. В профиле обилие червей, червороин, выбросов беспозвоночных–вплоть до 70 см.

Обильно мох в напочвенном покрове, много муравейников, дернины нет.

Уровень верховодки–76 см, установилась на 63 см за 4 часа, вода прозрачная.

Граница бурного вскипания мелкозема–50 см, вскипает слабо с 35 см.

Лицевая стенка ориентирована на ЮВ.



Почва:

Темно-гумусовая глееватая постагрогенная среднесуглинистая на карбонатной морене

Описание разрезов Ростовского района Ярославской области

04.07.2021. Разрез 30ПМР-21

Ростовский район, Ярославская область,

Бывший совхоз «Киргизстан»

N 57.13141°, E 39.27466°

Рельеф:- Восточная окраина Центрального района Борисоглебской возвышенности

- Увалистый рельеф, характерный для ополья

Угодье: пашня, кукуруза

Лицевая стенка ориентирована на В-ЮВ.



Почва:

Дерново-глубокоподзолистая среднесуглинистая со вторым гумусовым горизонтом на покровных суглинках

05.07.2021. Разрез К-464-21

Ростовский район, Ярославская область

Бывший совхоз «Киргизстан»

N 57.14544°, E 39.29363°

Рельеф:

- Восточная часть Центрального района Борисоглебской возвышенности
- Нижняя треть пологого слабовыпуклого склона северной экспозиции

Угодье: пашня, кукуруза

Почва слабоэродированная, более всего на архивный разрез похожа прикопка 4.

Разрез находится в пятне, не занятом культурой, но следы разезда техники не заметны.

Лицевая стенка ориентирована на С-С-В.



Почва: Агродерново-подзолистая среднепахотная глубоко оглеенная на покровных суглинках

06.07.2021. Разрез КХ-101-21

Ростовский район, Ярославская область

Бывший совхоз «Красный Холм»

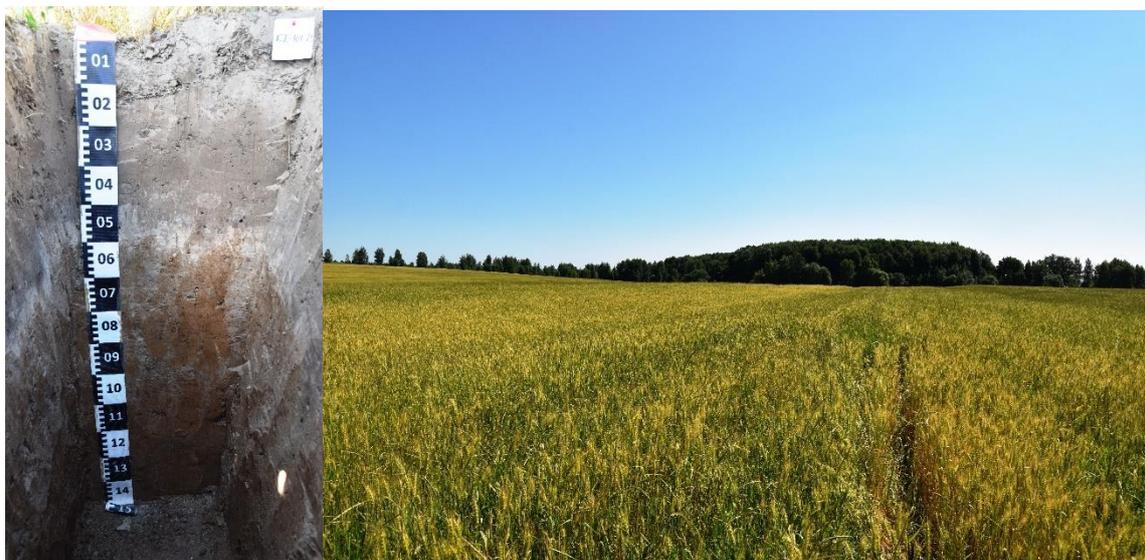
N 57.10369°, E 39.22699°

Рельеф:

- Верхняя ступень Борисоглебской возвышенности, водораздельное пространство, восточная окраина Центрального района Борисоглебской возвышенности
- Пологоволнистая поверхность

Угодье: пашня, пшеница

Лицевая стенка ориентирована на В.



Почва: Агродерново-подзолистая со вторым гумусовым горизонтом глубокопахотная глубоко оглеенная на покровных суглинках

07.07.2021. **Разрез КХ-91-21**

Ростовский район, Ярославская область

N 57.06865°, E 39.28081°

Рельеф:

- II надпойменная террасы р. Сары

- Слабый уклон к уступу I террасы

Угодье: залежь 15–19 лет

Растительное сообщество: луг полевицевый.

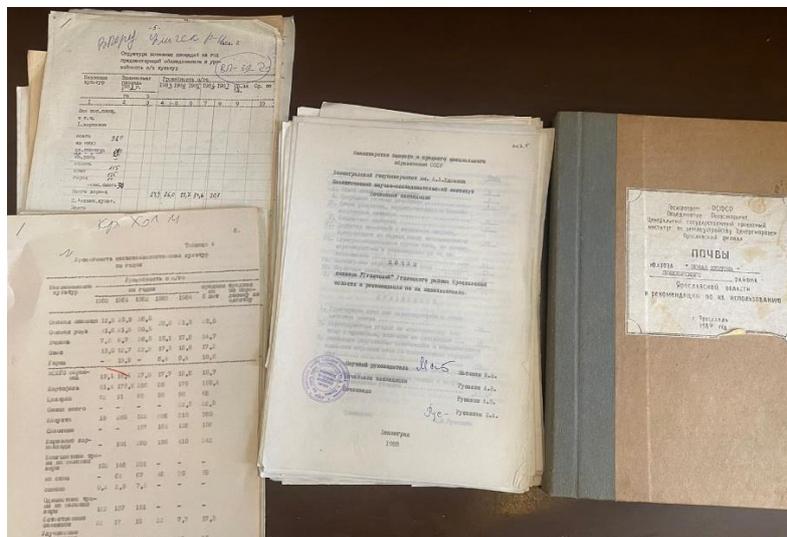
Лицевая стенка ориентирована на Ю-В.



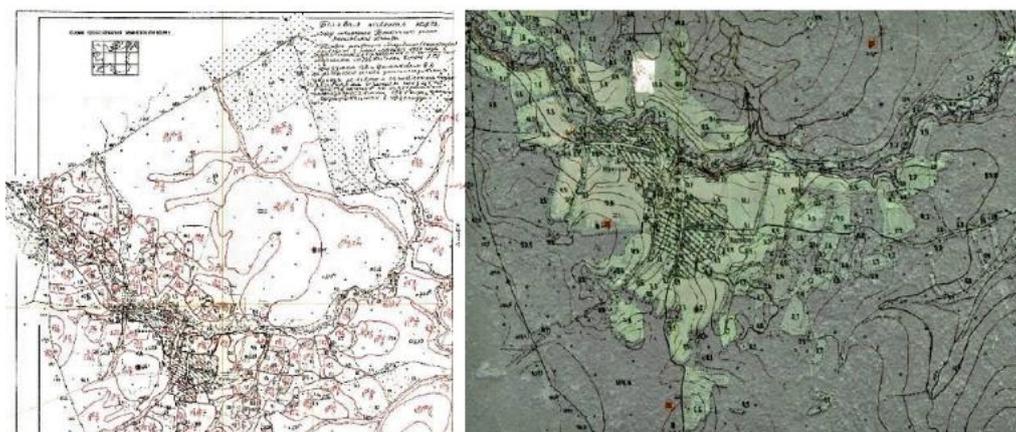
Почва: Агродерново-подзолистая со вторым гумусовым горизонтом постагрогенная глубоко оглеенная на древнем аллювии

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

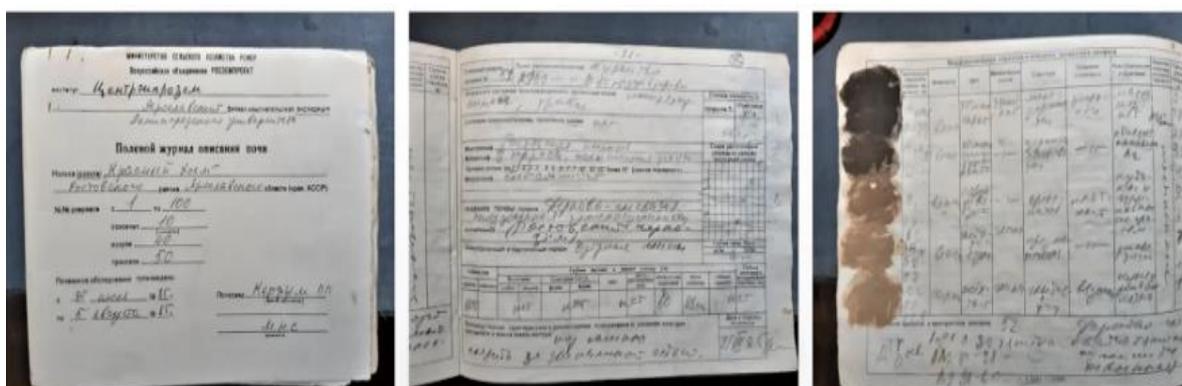
Архивные данные по почвам землепользования хозяйств Ярославской области, хранящиеся на кафедре почвоведения и экологии почв СПбГУ.



Фрагмент отсканированного листа полевой почвенной карты на участок бывшего колхоза им. Калинина (Пошехонский р-н., Ярославская обл.) и его наложение на материалы космической съемки



Полевой журнал описания почв (1985 г.)



ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Поправочные коэффициенты на содержание гумуса для расчета Ун зерновых культур.

Гумус, %	K1								
1,00	0,75	2,40	0,90	3,80	0,99	5,20	1,06	6,60	1,12
1,10	0,76	2,50	0,91	3,90	0,99	5,30	1,07	6,70	1,13
1,20	0,77	2,60	0,91	4,00	1,00	5,40	1,07	6,80	1,13
1,30	0,79	2,70	0,92	4,10	1,01	5,50	1,08	6,90	1,14
1,40	0,80	2,80	0,93	4,20	1,01	5,60	1,08	7,00	1,14
1,50	0,81	2,90	0,93	4,30	1,02	5,70	1,09	7,10	1,14
1,60	0,82	3,00	0,94	4,40	1,02	5,80	1,09	7,20	1,14
1,70	0,83	3,10	0,95	4,50	1,03	5,90	1,10	7,30	1,15
1,80	0,85	3,20	0,95	4,60	1,03	6,00	1,10	7,40	1,15
1,90	0,86	3,30	0,96	4,70	1,04	6,10	1,10	7,50	1,15
2,00	0,87	3,40	0,96	4,80	1,04	6,20	1,11	7,60	1,15
2,10	0,88	3,50	0,97	4,90	1,05	6,30	1,11	7,70	1,15
2,20	0,88	3,60	0,98	5,00	1,05	6,40	1,12	7,80	1,16
2,30	0,89	3,70	0,98	5,10	1,06	6,50	1,12	7,90	1,16

Поправочные коэффициенты на мощность гумусового горизонта для расчета Ун

зерновых культур.

Мощ- ность, см	K2								
6	0,44	24	0,86	41	0,96	58	1,02	75	1,07
7	0,48	25	0,87	42	0,97	59	1,03	76	1,08
8	0,52	26	0,88	43	0,97	60	1,03	77	1,08
9	0,55	27	0,89	44	0,98	61	1,03	78	1,08
10	0,58	28	0,90	45	0,98	62	1,04	79	1,08
11	0,61	29	0,91	46	0,98	63	1,04	80	1,09
12	0,64	30	0,92	47	0,99	64	1,04	81	1,09
13	0,67	31	0,92	48	0,99	65	1,05	82	1,09
14	0,70	32	0,93	49	1,00	66	1,05	83	1,09
15	0,72	33	0,93	50	1,00	67	1,05	84	1,09
16	0,74	34	0,94	51	1,00	68	1,05	85-89	1,10
17	0,76	35	0,94	52	1,01	69	1,06	90-99	1,11
18	0,78	36	0,94	53	1,01	70	1,06	100- 123	1,12
19	0,80	37	0,95	54	1,01	71	1,06	>124	1,13
20	0,82	38	0,95	55	1,02	72	1,07		
21	0,83	39	0,96	56	1,02	73	1,07		
22	0,84	40	0,96	57	1,02	74	1,07		

Поправочные коэффициенты (К3) на содержание физической глины в пахотном горизонте для расчета нормативной урожайности зерновых культур.

Физ. глина, %	К3								
1	0,60	21	0,90	41	0,98	61	1,00	81	0,89
2	0,70	22	0,91	42	0,98	62	0,99	82	0,88
3	0,78	23	0,91	43	0,99	63	0,99	83	0,88
4	0,80	24	0,92	44	0,99	64	0,98	84	0,87
5	0,81	25	0,92	45	0,99	65	0,98	85	0,86
6	0,83	26	0,92	46	0,99	66	0,98	86	0,85
7	0,84	27	0,93	47	0,99	67	0,97	87	0,84
8	0,84	28	0,93	48	1,00	68	0,97	88	0,84
9	0,85	29	0,94	49	1,00	69	0,96	89	0,83
10	0,86	30	0,94	50	1,00	70	0,96	90	0,82
11	0,86	31	0,94	51	1,00	71	0,95	91	0,82
12	0,87	32	0,95	52	1,00	72	0,95	92	0,82
13	0,87	33	0,95	53	1,01	73	0,94	93	0,82
14	0,88	34	0,96	54	1,01	74	0,94	94	0,82
15	0,88	35	0,96	55	1,01	75	0,93	95	0,82
16	0,88	36	0,96	56	1,01	76	0,92	96	0,82
17	0,89	37	0,97	57	1,01	77	0,92	97	0,82
18	0,89	38	0,97	58	1,00	78	0,91	98	0,82
19	0,90	39	0,98	59	1,00	79	0,91	99	0,82
20	0,90	40	0,98	60	1,00	80	0,90	100	0,82

Поправочные коэффициенты для расчета нормативной урожайности зерновых культур для почв с легким гранулометрическим составом (К4.1).

Гранулометрический состав почв	Почвообразующие породы	Коэффициенты
Песчаный	Глубокие (> 1 м) пески и супеси	0,55
Супесчаный	Глубокие (> 1 м) пески и супеси	0,7
Легкосуглинистый	Глубокие (> 1 м) пески и супеси	0,8
Песчаный	Двучленные отложения (пески и супеси, постилаемые суглинками и глинами в пределах верхнего метрового слоя почвы)	0,65
Супесчаный	Двучленные отложения (пески и супеси, постилаемые суглинками и глинами в пределах верхнего метрового слоя почвы)	0,75
Легкосуглинистый	Двучленные отложения (пески и супеси, постилаемые суглинками и глинами в пределах верхнего метрового слоя почвы)	0,82

Поправочные коэффициенты для расчета нормативной урожайности зерновых культур на избыточно увлажненных почвах (К4.2).

Наименование почв	Гранулометрический состав почв и почвообразующих пород	Коэффициенты
Дерново-подзолистые глубокоглеватые, светло-серые и серые лесные глубокоглееватые	Средне- и тяжелосуглинистые на тяжелых суглинках и глинах	0,75
	Легкосуглинистые на суглинках	0,85
	Супесчаные на двучленных отложениях	1,1
Дерново-подзолистые глеватые, светло-серые и серые лесные глееватые	Средне- и тяжелосуглинистые на тяжелых суглинках и глинах	0,55
	Легкосуглинистые на суглинках	0,75
	Супесчаные на двучленных отложениях	0,85
	Песчаные, супесчаные и легкосуглинистые на песках и супесях	1,2

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алябина И.О., Кириллова В.А., Голозубов О.М., Шоба С.А. Расчет нормативной урожайности зерновых культур в Информационной системе ПГБД России // АгроЭкоИнфо. 2017. №4.
2. Антонов В.П., Лойко П.Ф. Оценка земельных ресурсов. М.: Институт оценки природных ресурсов, 1999, 364 с.
3. Анциферова О.А. Динамика показателей плодородия на залежных землях Калининградской области //Агрехимический вестник, 2008. № 2. С. 2–3.
4. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970.
5. Бобринев В.П., Пак Л.Н. Экологические условия возобновления леса на сельскохозяйственных землях в Забайкальском крае // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2015. № 7–1. С. 79–82.
6. Борук, А.Я. Бонитировка и экономическая оценка земель. М.: Колос, 1972, 192 с.
7. Булгаков Д.С., Сорокина Н.П., Карманов И.И. и др. Применение и верификация почвенно-экологического индекса при оценке структур почвенного покрова пахотных угодий // Почвоведение, 2013. № 11.
8. Бурдуковский М.Л., Перепелкина П.А., Киселева И.В. Динамика растительности и свойств почв залежных экосистем // Теоретическая и прикладная экология, 2020. № 3. С. 78–83.
9. Быкова Е.Н., Баникевич Т.Д., Рагузин И.И. Современные особенности кадастровой оценки земель сельскохозяйственного назначения // Инженерный вестник Дона, 2022. №6.
10. Голубев И.Г., Мишуров Н.П., Федоренко В.Ф., Апатенко А.С., Севрюгина Н.С. Инновационные технологии оценки состояния и вовлечения в оборот залежных земель: аналит. обзор. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022, 80 с.
11. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Наблюдаемые и ожидаемые изменения климата России: температура воздуха. Обнинск: ФГБУ "ВНИИГМИ-МЦД", 2012.
12. Данилов Д.А., Зайцев Д.А., Вайман А.А., Иванов А.А. Состояние почвенного комплекса под спелыми древостоями сосны и ели на постагrogenных землях юго-запада Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2022. № 240. С. 84–98.

13. Дмитриев А.В., Леднев А.В. Влияние периода зарастания на ботанический состав и продуктивность залежных земель // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова, 2016. № 2 (43). С. 7–12.
14. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2021 год. М.: 2022.
15. Дубровина И.А. Вариабельность почвенно-экологических индексов в типичных агроландшафтах южной Карелии // Доклады РАСХН, 2015. № 6.
16. Егоров В.В., Фридланд В.М., Иванова Е.Н. и др. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977.
17. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. Коллективная монография. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россельхозакадемии, 2014, 768 с.
18. Захаренко В.А. Тенденции роста бросовых земель, изменения управления фитосанитарным состоянием агроэкосистем // Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота: материалы Всероссийской научной конференции / Под ред. А. Иванова. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2008. С. 97–110.
19. Иванов А.Л. Рациональное использование и охрана земельных (почвенных) ресурсов Российской Федерации // Вестник Российской сельскохозяйственной науки, 2015. № 1. С. 7–10.
20. Иванов А.Л., Куст Г.С., Козлов Д.Н. и др. Глобальный климат и почвенный покров России: оценка рисков и эколого-экономических последствий деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального природопользования (сельское и лесное хозяйство): Национальный доклад. М.: ГЕОС, 2018.
21. Иванов А.Л., Столбовой В.С., Гребенников А.М., Духанин Ю.А. Загрязнение и пригодность почв для выращивания экологически чистой сельскохозяйственной продукции в РФ // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева, 2024. № 118. С. 5-20.
22. Карманов И.И., Булгаков Д.С. Методика почвенно-агроклиматической оценки пахотных земель для кадастра. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2012, 123 с.
23. Карманов И.И., Булгаков Д.С., Карманова Л.А. и др. Современные аспекты оценки земель и плодородия почв // Почвоведение, 2002. № 7.
24. Каштанов А.Н., Сизов О.А. Технология восстановления и использования земель, выбывших из сельскохозяйственного оборота // Агроэкологическое состояние и

- перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота: материалы Всероссийской научной конференции / Под ред. А. Иванова. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2008. С. 174–183.
25. Кузьмина Ж.В., Черноруцкий С.В. Влияние гидротехнических сооружений и климатических изменений на динамику долинных экосистем в зоне южной тайги Европейской России // Современные проблемы гидрометеорологии и устойчивого развития Российской Федерации: сборник тезисов Всероссийской научно-практической конференции, 2019.
 26. Куликова Е.Г., Ефремова С.Ю. Мониторинг земель сельхозназначения выбывших из оборота // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. Серия: Технические науки. Безопасность деятельности человека, 2017. № 01 (35). С. 71–79.
 27. Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О. Запасы органического углерода в почвах Российской Федерации: современные оценки в связи с изменением системы землепользования // Доклады Академии наук, 2009. Т. 426. № 1. С. 132–134.
 28. Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Ермолаев А.И., Кузяков Я.В. Изменение пулов органического углерода при самовосстановлении пахотных черноземов // Агрохимия, 2009. № 5. С. 5–12.
 29. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010, 416 с.
 30. Национальный атлас России. М.: Астрель, 2008. 496 с.
 31. Национальный атлас почв Российской Федерации / Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова, Фак. почвоведения ; О-во почвоведов им. В. В. Докучаева ; под общ. ред. С. А. Шобы ; отв. ред. И. О. Алябина, И. С. Урусевская, О. В. Чернова ; [отв. ред.-картограф Е. Я. Федорова]. М.: Астрель, 2011. 631 с.
 32. Нечаева Т.В. Залежные земли России: распространение, агроэкологическое состояние и перспективы использования (обзор) // Почвы и окружающая среда, 2023, Том 6. № 2.
 33. Почвенный покров Нечерноземья и его рациональное использование / Под ред. В. М. Фридланда. М.: Агропромиздат, 1986, 245 с.
 34. Растворова О.Г. Физика почв (Практическое руководство). Л.: Изд-во Ленингр. ун-та. 1983.
 35. Русаков А.В., Симонова Ю.В. и др. Оценка агроэкологического состояния и тренды эволюционных изменений пахотных почв Ярославского поволжья за 30-летний

- период на основе почвенно-экологического индекса// М.: Вестник Московского университета, сер.17 Почвоведение, 2022. №5.
36. Савостьянов В.К. Консервация земель в аридной зоне // Аграрная наука, 2004. № 1. С. 14–16.
 37. Сапожников П.М., Носов С.И. Государственная кадастровая оценка земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации. М.: ООО «НИПКЦ ВОСХОД–А», 2012, 160 с.
 38. Сапожников П. М., Шехтер К. П. Дифференциация кадастровой стоимости агроландшафтов // Проблемы агрохимии и экологии, 2023. № 4
 39. Свинцов И.П., Кулик К.Н., Чмыр А.Ф. Леса на землях, выбывших из сельскохозяйственного оборота АПК России // Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота: материалы Всероссийской научной конференции / Под ред. акад. А.Л. Иванова. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2008. С. 166–173.
 40. Сорокина Н.П., Авдеева Т.Н., Савицкая Н.В. и др. Почвенно-экологический индекс в системе оценочных показателей структуры почвенного покрова // Ресурсный потенциал почв – основа продовольственной и экологической безопасности России: материалы междунар. науч. конф. СПб.: 2011.
 41. Сорокина О.А. Трансформация серых почв залежей под влиянием соснового леса. К.: КрасГАУ, 2008, 209 с.
 42. Сорокина О.А., Токавчук В.В., Рыбакова А.Н. Постагрогенная трансформация серых почв залежей. К.: КрасГАУ, 2016, 239 с.
 43. Справочник по климату СССР. Выпуск 8. Часть II. Температура воздуха и почвы. Ярославская область. Л.: Гидрометеиздат, 1964, 353 с.
 44. Столбовой, Гребенников, Оглезнев и др. Реестр индикаторов качества почв сельскохозяйственных угодий Российской Федерации. Версия 1.0. Под ред. А. Иванов. Коллективная монография. И.: ФАЦ, 2021, 275 с.
 45. Телеснина В.М. Динамика свойств почв во взаимосвязи с растительностью при естественном постагрогенном зарастании сенокосов (Костромская область) // Вестник Московского государственного университета. Серия 17: Почвоведение, 2021. № 2. С. 18–28.
 46. Телеснина В.М., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Овсепян Л.А., Личко В.И., Ермолаев А.М., Мирин Д.М. Динамика свойств почв и состава растительности в ходе

- постагрогенного развития в разных биоклиматических зонах // Почвоведение, 2017. № 12. С. 1514–1534.
47. Хитров Н.Б., Апарин Б.Ф., Карманов И.И., Булгаков Д.С., Молчанов Э.Н., Рожков В.А., Лойко П.Ф., Столбовой В.С. Сокращение пахотных угодий и посевных площадей в России, агроэкологическая оценка их состояния, перспективы дальнейшего использования, задачи нормативно правового и научного обеспечения рационального использования и охраны земель // Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота: материалы Всероссийской научной конференции / Под ред. А. Иванова. М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 2008. С. 14–29.
 48. Чибилев А.А., Петрищев В.П., Левыкин С.В. и др. Почвенно-экологический индекс как интегральный показатель для оптимизации структуры землепользования // География и природные ресурсы, 2016. № 4.
 49. Шевченко В. А. Вовлечение в оборот неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения // Мелиорация и водное хозяйство, 2022. №. 4. С. 12-16.
 50. Шерстюков Б.Г. Региональные и сезонные закономерности изменений современного климата. Об: ГУ ВНИИГМИ-МЦД, 2008.
 51. Шишов Л.Л., Дурманов Д.Н., Карманов И.И. и др. Теоретические основы и пути регулирования плодородия почв. М.: Агропромиздат, 1991.
 52. Щукин С.В., Голубева А.И., Дорохова В.И., Дугин А.Н. Рекомендации по вовлечению в хозяйственный оборот неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения // Вестник АПК Верхневолжья, 2018. № 1 (41). С. 87–98.
 53. Alcantara C., Kuemmerle T., Prishchepov A.V., Radeloff V.C. Mapping abandoned agriculture with multi-temporal MODOS satellite data // Remote Sensing of Environment, 2012. V. 124. P. 334–347.
 54. Alexander L.V., Zhang, X.; Peterson, T.C. et al. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. // J.Geophys.Res, 2006, V. 111.
 55. Calculation of Monthly and Annual 30-Year Standard Normals. WMO/TD-№341, 1989. WCDP-№10.
 56. Cramer V.A., Hobbs R.J., Standish R.J. What's new about old fields? Land abandonment and ecosystem assembly // Trends in Ecology and Evolution. 2008. Vol. 23. Iss. 2. P. 104–112.
 57. Li S., Li X. Global understanding of farmland abandonment: A review and prospects // Journal of Geographical Sciences. 2017. Vol. 27. Iss. 9. P. 1123–1150.

58. Ramankutty N., Foley J.A. Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. *Global Biogeochemical Cycles*. 1999. Vol. 13. Iss. 14. P. 997–1027.
59. 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*, 77, 5, 2022. P. 343–355.
60. WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals // WMO, 2017. No. 1203.
61. Simonova J.V, Rusakov A.V., Lebedeva M.P. et al. 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. V. 862.

Ресурсы сети Интернет:

1. <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201612010007.pdf> - материалы стратегии научно-технологического развития Российской Федерации, утверждена Указом Президента Российской Федерации № 642 от 1 декабря 2016 г., 26 апреля 2024
2. <https://rosreestr.gov.ru/upload/Doc/16-upr/Doc Nation report 2022 dop.pdf> - материалы Государственного национального доклада, 2023г., 22 апреля 2024
3. <http://gost.gtsever.ru/Data/784/78427.pdf?ysclid=lv6szj9wzz203106461> - ГОСТ Р 70229—2022 Почвы, показатели качества почв, 2022 г., 22 апреля 2024
4. <https://rosstat.gov.ru/> - официальный сайт Федеральной служба государственной статистики, 8 апреля 2024
5. <https://76.rosstat.gov.ru/> - официальный сайт Федеральной служба государственной статистики по Ярославской области, 22 апреля 2024
6. <https://yartpp.ru/about/region/?ysclid=lv6tew11g2771365770> - официальный сайт Торгово-промышленной палаты Ярославской области, 22 апреля 2024
7. <https://76.rosstat.gov.ru/search?q=%D0%B7%D0%B5%D0%BC%D0%BB%D0%B8> - Том 3. Земельные ресурсы и их использование по Ярославской области за 2016г., 22 апреля 2024
8. https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_181810/ - статья 2 Федерального закона от 29 июня 2015 г. №162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации», 06 мая 2024
8. http://gis.soil.msu.ru/soil_db/assessment/. – Расчет нормативной урожайности зерновых культур в Информационной системе ПГБД России, 16.05.2024.