

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА»

ФАКУЛЬТЕТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ

На правах рукописи

Огородников Сергей Сергеевич

**Опыт эталонирования почв сельскохозяйственных угодий при помощи
различных методологических приемов (на примере территории бывшего
совхоза «Тихий Дон» Куркинского района Тульской области)**

Специальность 1.5.19 (03.02.13) – Почвоведение

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Научный руководитель:
Доктор биологических наук,
Профессор Яковлев А.С.

Москва

2022 г.

Содержание

Обозначения и сокращения.....	4
Введение.....	5
Глава 1. Литературный обзор.....	12
1.1. Понятие «эталон почв» в отечественной и зарубежной литературе	12
1.2. Представление об эталоне почв в пространстве и времени	23
1.3. Подходы к установлению эталонов почв на землях сельскохозяйственного назначения и землях ООПТ.....	27
1.4. Эталоны почв на землях ООПТ	35
1.5. Определение оптимальных (эталонных) значений параметров почвенного плодородия.....	42
Глава 2. Объекты и методы исследования.....	47
2.1. Характеристика территории бывшего совхоза “Тихий Дон”	47
2.2. Сведения о мониторинге за состоянием почвенного покрова исследуемой территории	53
2.3. Методы химического анализа.....	61
2.4. Методы установления региональных эталонов почв	63
2.4.1. Картографические методы	63
2.4.2. Метод главных компонент	65
2.4.3. Методы логико-математического моделирования региональных эталонов почв.....	69
2.4.4. Макрокинетическая модель отклика индекса NDVI на оптимальные концентрации элементов питания	73
Глава 3. Эталоны почв для территории бывшего совхоза «Тихий Дон»	79
3.1. Эталоны почв по картограммам обеспеченности элементами питания	79
3.2. Эталоны почв, полученные методом главных компонент	85
3.3. Логико-математические модели почвенных эталонов	88

3.4. Отклик сельскохозяйственных культур на оптимальные значения показателей почвенного плодородия	90
3.5. Исследование изменения показателей почвенного плодородия во временной динамике	98
Заключение	100
Выводы	102
Список опубликованных работ по теме диссертации	104
Литература	107
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	127
Приложение 1. Расположение территории совхоза «Тихий Дон» на карте Тульской области.....	127
Приложение 2. Почвенная карта и легенда к почвенной карте совхоза «Тихий Дон»	128
Приложение 3. Сведения о результатах почвенного обследования 1992 г. .	130
Приложение 4. Сведения о результатах почвенного обследования 2015 г. .	132
Приложение 5. Данные о плодородии почв согласно Агрохимическому паспорту сельхозугодий ООО «Опытное хозяйство», 2014 год	134
Приложение 6. Химические свойства пробных площадок 2019 г.	135
Приложение 7. Основные характеристики пробных площадок.....	140

Обозначения и сокращения

ГК – главная компонента;

ГЛФ – государственный лесной фонд;

ПГБД – почвенно-географическая база данных;

ЕГРПР – единый государственный реестр почвенных ресурсов;

ЕПФ – естественный природный фон почв;

ЕФИС ЗСН – единая федеральная информационная система о землях сельскохозяйственного назначения;

МГК – метод главных компонент;

ООПТ – особо охраняемые природные территории;

ОПС – окружающая природная среда;

ПЭИ – почвенно-экологический индекс;

NDVI – нормализованный вегетационный индекс.

Введение

Разработка эталона почв, который может использоваться для оценки и нормирования её качества, на первый взгляд, прикладная задача. Однако она затрагивает такие фундаментальные вопросы почвоведения, как концепция пространства в почвоведении, концепция эволюции почв, концепции геохимии ландшафта (Богатырев, 2015).

Несмотря на большое обилие разнообразных подходов к выбору эталонных участков, фоновых территорий, разработке эталонов на основе различных уравнений и моделей, данная задача до сих пор окончательно не решена ни в научной среде, ни на законодательном уровне.

Степень разработанности.

Концепция «агроэкологических локальных моделей (региональных эталонов) состояния почвенного плодородия» была создана Д.С. Булгаковым в конце XX века (Булгаков, 1999)

Разработку эталонов почв на землях сельскохозяйственного назначения осуществляли Булгаков Д.С., Славный Ю.А., Воронин Н.Я., Фрид А.С., Шишов Л.Л., Дурманов Д.Н. и др.

Появление персональных компьютеров и развитие информатики привело к тому, что в конце XX века появилось множество исследований, посвященных установлению оптимальных значений показателей почвенного плодородия и эталонов почв методами математического моделирования. Активное участие в этой работе принимали сотрудники Почвенного института В.В. Докучаева, сделавшие серию публикаций в Трудах почвенного института. Различные модели, предлагаемые исследователями, были объединены в общий банк математических моделей «ПЛОМОД».

Разработкой эталонов почв в границах особо охраняемых природных территорий для создания красных книг почв в различных субъектах РФ занимались Добровольский Г.В., Чернова О.В., Семенюк О.В., Богатырев

Л.Г., Безуглова О.С., Севостьянова О.В., Горбунов Р.В., Ергина Е.И., Сикорский И.А., Лебедев Я.О., Хижняк Ю.С., Лисецкий Ф.Н., Замураева М.Е., Половинко В.В., Данильченко М.А., Околелова А.А., Желтобрюхов В.Ф., Егорова Г.С., Плеханова Л.Н. и др.

В настоящее время разработкой логико-математических моделей эталонов почв активно занимаются сотрудники Алтайского государственного аграрного университета: Кононцева Е.В., Хлуденцов Ж.Г. Пивоварова Е.Г., Кононова А.Ю., Федченко Л.А. Вепрынцева К.С., Аверьянова И.П., Попова Е.С., Домникова Е.Ю.

Использованная в работе макрокинетическая модель была предложена и в последствии активно апробировалась на различных объектах Гендуговым В.М., Глазуновым Г.П., Евдокимовой М.В., Шулаковой Е.А., Яковлевым А.С.

Актуальность темы.

Основной массив работ, по установлению почвенных эталонов на землях сельскохозяйственного назначения относится к 80-90 годам XX века. На сегодняшний день существенно расширились возможности использования вычислительной техники. Появились геоинформационные системы, программы статистической обработки массивов почвенных данных, открытые базы, содержащие данные дистанционного зондирования. В связи с этим подходы, использовавшиеся 20-30 лет назад требуют актуализации с учетом новых возможностей для проведения исследований.

Также следует отметить, что с изменением формы собственности на землю, исчезновением колхозов и совхозов, и изменением структуры землеустройства возникает необходимость в актуализации подходов к установлению региональных эталонов почв на землях сельскохозяйственного назначения.

Таким образом, актуальность исследования обусловлена необходимостью корректировки существующих подходов к установлению

эталонов почв и поиском новых методов, отвечающих современному уровню развития науки.

Цель работы: разработка подходов к установлению региональных эталонов почв для оценки и управления плодородием почв с учетом агрохимического и экологического аспектов.

Задачи работы:

1. Обобщить существующие подходы к установлению эталонов почв.
2. Сформировать комплексный банк данных почвенной информации для исследуемой территории, содержащий сведения об отборах проб, результаты химических анализов, ретроспективный анализ архивных материалов, данные дистанционного зондирования и т.д.
3. Определить эталоны почв и оптимальные показатели почвенного плодородия для исследуемой территории применяя: картографические методы, методы численной таксономии (метод главных компонент), макрокинетическую модель, основанную на зависимости «доза-эффект», логико-математическую модель, ретроспективный анализ.
4. Провести сравнительный анализ полученных результатов. Определить применимость полученных эталонов для целей нормирования и оценки почв.

Объектом исследования являются почвы на землях сельскохозяйственного назначения на территории бывшего совхоза «Тихий Дон» в Куркинском районе Тульской области.

Предметом исследования является научная задача по установлению эталонов почв для исследуемого объекта.

Научная новизна. На основе анализа существующих подходов к установлению эталонов почв сформулировано понятие «природно-антропогенный эталон почв».

Для определения эталонов почв на землях сельскохозяйственного назначения впервые предложено использовать макрокинетическую модель отклика растительности в виде NDVI на показатели почвенного плодородия.

На основе построения картограмм обеспеченности почв элементами питания предложен пространственный интегральный индекс, позволяющий определить ареалы, в границах которых располагаются эталонные для данной территории почвы.

Научная и практическая значимость.

Постановлением Правительства Российской Федерации от 13.02.2019 г. № 149 введено в действие «Положение о разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды», которое определило основные принципы разработки нормативов качества окружающей среды. Несмотря на то что для оценки качества почв для категории земель сельскохозяйственного назначения по химическим веществам устанавливаются гигиенические нормативы, для осуществления мониторинга земель сельскохозяйственного назначения нерешенным остается вопрос установления фоновых и оптимальных значений показателей химического состояния почв.

В соответствии с ПП-149 значения (интервал допустимого отклонения от значений) показателей природного фона территорий могут определяться на основании информации и сведений, содержащихся в едином государственном фонде данных о состоянии окружающей среды, ее загрязнении, государственном водном реестре, государственном фонде недр, государственном лесном реестре, Едином государственном реестре недвижимости, фонде данных государственного экологического мониторинга (государственного мониторинга окружающей среды). Представленные в работе результаты могут быть использованы при разработке подзаконных

актов к Постановлению Правительства Российской Федерации от 13.02.2019 г. № 149.

Личное участие автора в получении результатов, изложенных в работе, состоит в подробном анализе и обобщении литературных источников, в планировании экспериментов, в получении фактических данных в ходе полевых и лабораторных работ (отбор проб, пробоподготовка, проведение исследований почвенных образцов, математическая обработка результатов, построение картограмм в ГИС), в написании статей (совместно с соавторами) в подготовке докладов на конференциях, и в составлении текста диссертации.

Сведения о личиночном вкладе автора в публикации в журналах, входящих в Scopus, WoS, RSCI (приведены на стр. 103). Работы [2,4] написаны без соавторов, в работе [3] вклад автора составляет 0,2 п.л. из 0,4 п.л., в работе [1] – 0,25 п.л. из 1,0 п.л.

Диссертационное исследование поддержано грантом Российского фонда фундаментальных исследований (Конкурс на лучшие проекты фундаментальных научных исследований, выполняемые молодыми учеными, обучающимися в аспирантуре («Аспиранты») №20-34-90131 «Подходы к разработке региональных эталонов для экологической оценки и нормирования качества почв и земель сельскохозяйственного назначения (на примере территории бывшего совхоза «Тихий Дон» Куркинского района Тульской области)»).

Апробация работы. В общей сложности сделано 17 научных докладов (в том числе 4 пленарных) на международных и всероссийских конференциях.

Основные результаты работы апробированы на конференциях:

Международной научной конференции XXIV Докучаевские молодежные чтения «Почвоведение в цифровом обществе» (Санкт-Петербург, 2021);

Международной научно-практической конференции «Обеспечение устойчивого развития в контексте сельского хозяйства, зелёной энергетики, экологии и науки о Земле» (Смоленск, 2021);

Международной научной конференции XXIII Докучаевские молодежные чтения «Почва в условиях глобального изменения климата» (Санкт-Петербург, 2020);

XXIII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2020» (Москва, 2020);

21-ой Международной Пущинской школе-конференции молодых ученых (Пущино, 2017);

Международной молодежной научной конференции «Почва и бобовые – симбиоз для жизни» (Москва, 2016);

XXIII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2016» (Москва, 2016);

Международной научной конференции XIX Докучаевские молодежные чтения «Почва – зеркало ландшафта» (Санкт-Петербург, 2016);

20-я Международной Пущинской школ-конференции молодых ученых «Биология – наука XXI века» (Пущино, 2016);

International Congress on "Soil Science in International Year of Soil" (Сочи, 2015).

На данных конференциях работа была отмечена множеством дипломов и грамот: дипломами за лучший доклад на конференциях «Ломоносов» (Москва), дипломами 1 и 2 степени, дипломами пленарного докладчика Международной конференции "Докучаевские чтения" (Санкт-Петербург), дипломом 2-ой степени Международной научной конференции молодых ученых "Почва и бобовые симбиоз для жизни" (Москва).

Публикации. По материалам диссертации опубликовано 18 работ: 4 статьи в рецензируемых научных журналах, включенных в списки Scopus / RSCI, 2 статьи и журналах из перечня ВАК, 2 статьи в журналах РИНЦ, 1

монография и 2 учебных пособия (в соавторстве), 7 тезисов докладов на международных научных конференциях.

Благодарности. Автор выражает признательность научному руководителю, д.б.н., проф. Яковлеву А.С., д.б.н., проф. Глазунову Г.П., к.б.н. Карпухину М.М., к.б.н. Евдокимовой М.В. за ценные консультации; Борзилову К.В. и Колетвинову Д.С. за помощь в организации отбора проб, Огородниковой С.В. и Филипповой Л.М. за поддержку.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Интегральный индекс обеспеченности, позволяющий определить ареалы почв, считающихся эталонными для данной территории. Реализация на практике требования выбора «эталонной площадки» установленного Постановлением Правительства РФ №149.
2. Использование макрокинетического уравнения, основанного на зависимости «доза-эффект», для установления эталонов почв. С его помощью определяются оптимальные (эталонные) показатели плодородия для яровой пшеницы, произрастающей на исследуемой территории.
3. Комплексная оценка и определение эталонов почв возможна только с применением пула методов эталонирования: картографических методов, методов численной таксономии, макрокинетических и логико-математических моделей, ретроспективного анализа.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 3 глав, заключения, выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 152 страницах, содержит 27 рисунков, 11 таблиц, 7 приложений на 26 листах. Список литературы включает 155 источников, в том числе 12 на иностранном языке.

Глава 1. Литературный обзор

1.1. Понятие «эталон почв» в отечественной и зарубежной литературе

Согласно словарю С.И. Ожегова слово «эталон» имеет два значения: «точный образец установленной единицы измерения», или образец, мерило чего-либо (эталон красоты, эталон поведения и т.д.) (Ожегов, 1994).

Таким образом, в широком смысле под эталоном понимается некоторый объект, использующийся для проведения сравнительного анализа с ним других объектов.

В научном сообществе существуют два диаметрально противоположных подхода для выделения эталонных почв. Одни исследователи выделяют эталоны почв исключительно в границах особо охраняемых природных территорий (далее – ООПТ), обосновывая это тем, что почвы на данных территориях в минимальной степени подвержены антропогенному воздействию и могут выступать в качестве природного недеградированного аналога.

Другие исследователи допускают возможность выделения эталонов почв на землях сельскохозяйственного назначения. Они обосновывают данную возможность тем, что почвы, которые на протяжении длительного времени вовлечены в сельскохозяйственный оборот, существенно изменяют свои характеристики в связи со множеством причин:

- Изменением физических свойств (образованием плужной подошвы, переуплотнением и т.д.);
- Изменением химических свойств, обусловленном как внесением минеральных удобрений, так и отчуждением элементов питания с урожаем;
- Появлением деградационных процессов (эрозия, дефляция, засоление и т.д.);

- Изменением растительности и состояния микробного сообщества почв, что, в частности, может быть оценено показателем «эко-эксергии».

Наиболее подробно данную проблему рассматривает А.П. Трубин. Он отмечает, что пахотные и целинные почвы обладают внутренней (имманентной) разницей по множеству свойств. Производство сельскохозяйственной продукции неизбежно связано с обработкой почв, что приводит к возникновению различий между пахотными и целинными почвами. Для оценки состояния пахотных почв им вводится расчетный эталон, представляющий собой разность между свойствами старопахотных и целинных почв. Разница в свойствах этих почв обусловлена как экономическими и технологическими факторами, так и генетическими свойствами почв. Минимальные отличия наблюдаются между целинными почвами и высокоокультуренными почвами, обработка которых осуществлялась с помощью новейших орудий и технологий. Все значения показателей, выходящие за границы этих минимальных отличий, следует рассматривать как проявления деградации почв (Трубин, 2005).

Применение расчётного эталона при исследовании антропогенной динамики показателей состояния почв обеспечивает повышение достоверности результатов оценки (Трубин, 2005).

Эту точку зрения поддерживает и Е.Ю. Домникова. Ее исследования показывают, что за последние десятилетия агрогенные свойства черноземов Алтайского края подверглись настолько мощным изменениям, что классификация почв СССР (1977 г.) не позволяет «адекватно определить некоторые почвенные разности», появившиеся «в результате современных почвообразовательных процессов» (Домникова, 2015).

Таким образом, в связи с тем, что за время сельскохозяйственного освоения состояние почв меняется, для проведения агроэкологического мониторинга, для целей нормирования качества почв и оценки их деградации

разумно использовать именно эталон почв на землях сельскохозяйственного назначения.

Поиск эталона почв – непростая задача. «Строго идентичный по генезису, материнским породам и другим факторам оптимальный зональный эталон отыскать затруднительно» (Фаустова, 2003).

Поэтому ряд исследователей, используя в своих работах понятие «эталон почв», не достаточно полно раскрывают его содержание.

В патенте для оценки почвенного плодородия «выбирают эталонную почву со значением плодородия равному среднему по краю» (Курносов и др., 2020). Очевидно, что выбор такой «усредненной» почвы по субъекту РФ не будет информативен для почвоведов.

С.Ш. Исаева в своей работе для проведения бонитировки выбирает эталонные почвы, однако не приводит подробного обоснования данного выбора (Исаева, 2020).

Т.Ю. Липина отмечает, что «почвы среднего течения р. Десны никогда не использовались в сельскохозяйственном производстве и представляют собой эталон целинных пойменных почв» (Липина, 1997).

В.А. Кравченко принимает за абсолютный эталон несмытой почвы водораздельного плато чернозем выщелоченный, среднегумусный, среднесуглинистый на тяжелом карбонатном лессовидном суглинке палево-бурого цвета (Кравченко, 2003).

В работе В.Н. Куделина (2020) недеградированным аналогом (эталонном почв) выбрана модель высокого плодородия выщелоченного чернозема.

За «эталон» могут быть приняты почвы на водоразделах и приводораздельных участках. С ними сравниваются почвы на склонах (Булгаков, 1973).

В работе К.Р. Гарафутдиновой (2020) в качестве эталона почв использован чернозем выщелоченный среднесуглинистый среднегумусный.

Сравнительная оценка плодородия почв и качества земель проводилась с применением следующих показателей: рН, пахотоемкость (показатель агрономически полезной массы почв в пахотном слое), гранулометрический состав, гумусное состояния почв.

В качестве почвы-эталоны для РФ в ряде работ использовали чернозем слабовыщелоченный сверхмощный среднегумусный тяжелосуглинистый Краснодарского края. Для республики Башкортостан за эталон было предложено выбрать «чернозем выщелоченный среднемощный тучный тяжелосуглинистый Кармаскалинского района» (Миндибаев Р.А., 2005).

С.И. Федеров принимал за эталонную почву чернозем выщелоченный среднемощный тучный тяжелосуглинистый неэродированный, расположенный на территории СПК им. Фрунзе Кармаскалинского района. Данная почва оценивалась значением 100 баллов.

Актуальна проблема поиска эталона почв и среди специалистов в области эрозии. Дискуссия связана с тем, допустимо ли сравнивать почвы разной степени смытости приуроченные к различным элементам рельефа.

В некоторых случаях затруднительно определить «степень смытости почвы при сравнении с эталоном, расположенном на водоразделе, так как на водораздельных участках и склонах развиваются несколько подтипов и даже типов почв» (Федоров И.С., 2006).

Есть и совсем специфические способы выбора эталона, так в одной из работ модельный почвенный эталон представляет собой прошедший специальную обработку речной песок (Наумов, 2014).

Отдельного рассмотрения заслуживает выбор эталонов почв в границах ООПТ.

По образному выражению Л.Н. Плехановой «Почвы заповедников представляют собой эталон истории и современного состояния ландшафтов региона» (Плеханова, 2004).

В качестве эталона сравнения для почв, вовлеченных в сельскохозяйственное использование, были выбраны целинные почвы ООПТ «Персиановская степь», Октябрьского района, Ростовской области. (Булышева, 2004; Даденко, 2004).

Приведенный анализ показывает, что понятие «эталон почв» широко применяется в научной среде, однако однозначного определения у него нет.

Приведем ряд существующих определений понятия «эталон почв».

Понятие «региональный эталон состояния плодородия почв» введено Д.С. Булгаковым. Под ним «понимается локальный территориальный эталон почвы или группы близких по агрогенетическим свойствам почв, характеризующий региональными почвенно-климатическими особенностями и состоящий из системы взаимосвязанных блоков, содержание которых раскрывается набором почвенных параметров состава, свойств и режимов почвы, параметров оценки почвенного плодородия и агроклимата, мероприятиями агромелиоративного комплекса» (Булгаков, 1999).

Эталон почв должен характеризоваться высоким уровнем почвенного плодородия по сравнению с почвами, имеющими средний уровень плодородия.

В.П. Кузьмичев считает, что эталонная почва – это самая продуктивная и распространенная почва, определяемая по показателям урожайности в зерновых эквивалентах (Кузьмичев, 1974).

Территориальный эталон группы почв – региональная модель плодородия почв, «близких по агрономическим свойствам к региональным почвенно-климатическим особенностям» (Богатырев, 2017).

В работе О.А. Макарова для определения эталонных почв муниципального района наряду с Красной книгой почв предлагается использовать монографию «Зонально-провинциальные нормативы изменений агрохимических, физико-химических и физических показателей

основных пахотных почв европейской территории России при антропогенных воздействиях» (Макаров и др., 2021).

Как пишет Макаров О.А. в качестве наиболее распространенного подхода к оценке деградации почв применяется «оценка ущерба/вреда через сравнение деградированных и эталонных почв» (Макаров и др., 2021). Формирование представлений об эталонной (не деградированной) почве осуществляется на основе изучения региональных научных источников.

Региональные модели высокого плодородия почв служат эталоном для сравнения с территориально преобладающими фактическими параметрами свойств почв, которые должны быть оптимизированы до уровня параметров модели. Единая универсальная форма данных моделей – паспорт.

«Эталонные участки устанавливаются в связи с выбором эталонных значений, в том числе для почв (земель), что предполагает необходимость учитывать природную вариабельность их качества» (Яковлев и др., 2020).

Модели плодородия представляют собой «совокупность параметрических характеристик внутреннего состояния системы (почвы)» (Богатырев, 2021).

На рисунке 1 показана схема групп почвенных эталонов, используемых в исследованиях различных авторов.

Несмотря на то, что все приведенные на схеме почвы те или иные авторы называют эталонными, они выделены на основе трех принципиально разных критериев:

- По преобладающей площади распространения;
- По частоте встречаемости;
- По степени окультуренности.

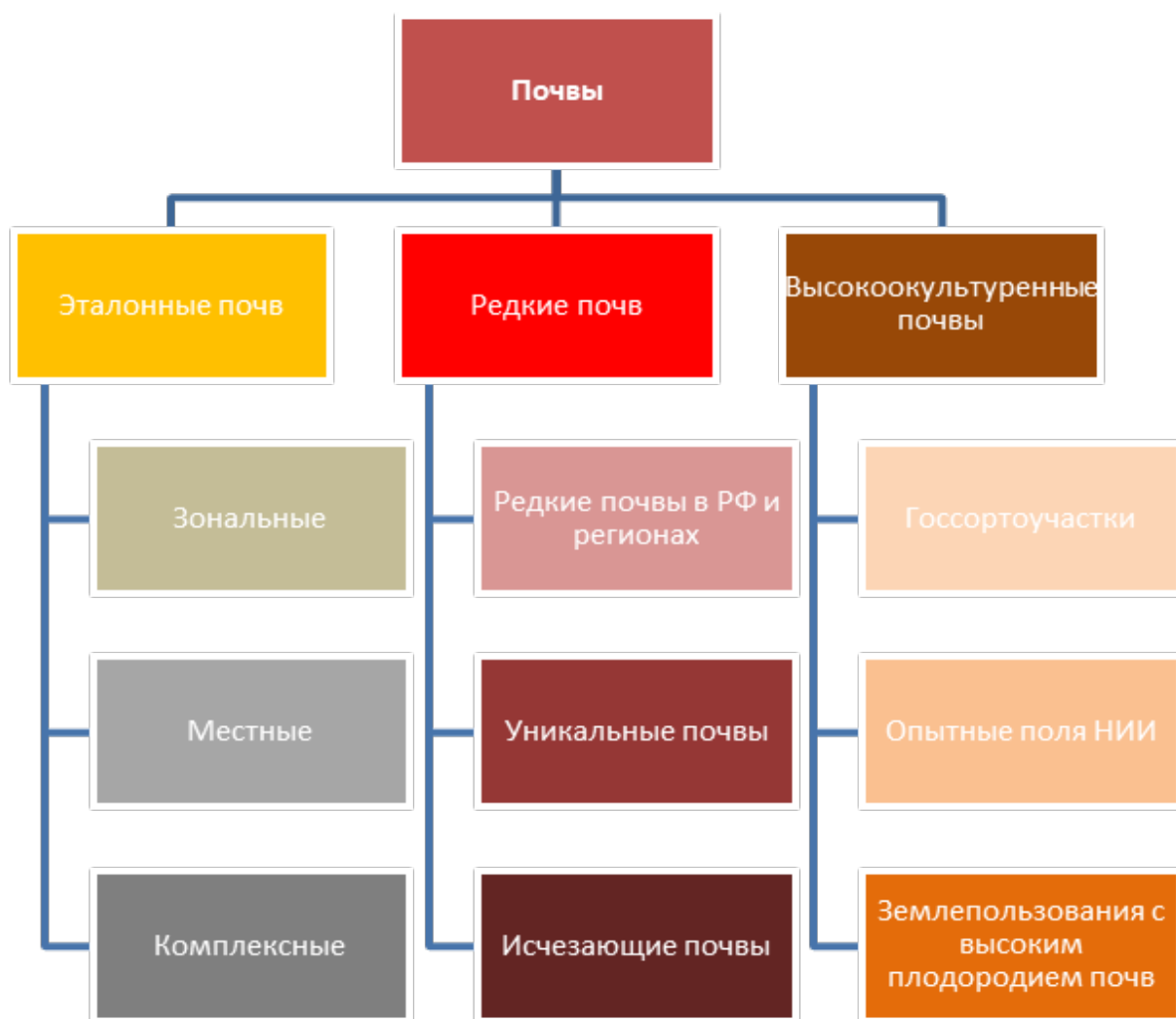


Рисунок 1. Система почвенных эталонов (по данным Соловиченко, 2011)

Группа «Эталонные почвы» – почвы, расположенные в границах земель ООПТ. Включает в себя зональные, местные и комплексные эталоны почв.

Зональные эталоны имеют наибольшую площадь распространения в конкретной природной зоне (например, для лесостепной зоны в качестве зональных эталонов выступают типичные и выщелоченные черноземы различной степени гумусированности).

Местные эталоны – это почвы, распространенные в конкретной области, от зональных эталонов их отличает локальное изменение свойств и строения, связанное со специфическими отличиями в факторах

почвообразования (например, балочные черноземы, карбонатные разновидности черноземов и т.д.).

Комплексные эталоны выделяют в тех случаях, когда на исследуемой территории невозможно строго определить доминирующий тип почв, почвенный покров представлен различными комбинациями (мозаиками, пятнистостями и т.д.).

Группа «эталонные почвы» чаще всего используется авторами при установлении эталонов почв, что логично следует из её названия.

Группа «редкие почвы» – «почвы, сформировавшиеся в уникальных природно-климатических условиях и имеющие особое природоохранное, научное и иное ценное значение» (Модельный закон «Об охране почв», 2007).

Редкие почвы – почвы, редко встречающиеся на территории России или в её конкретном регионе. Если целинные аналоги отсутствуют, допускается исследовать антропогенно-изменённые почвы, которые сохранили специфические природные особенности (<https://soil-db.ru/>).

Уникальные почвы – почвы, обладающие особыми, неповторимыми в данном регионе характеристиками.

Исчезающие почвы – почвы, которые необратимо утрачивают свои свойства или исчезают как естественные природные объекты.

Эта группа почв используется для установления эталонов почв реже всего. Так как у почв этой группы отсутствует принцип представительности, они имеют малые ареалы распространения и нетипичны для исследуемой территории. Однако и среди этих почв могут выбираться эталоны, в случаях, если почвы на других территориях необратимо утратили свои свойства, и в качестве эталона-аналога возможно использование только редких почв.

Группа «высококультурные почвы» – это почвы, которые улучшили свои химические и физические показатели благодаря разумному и эффективному сельскохозяйственному использованию.

Госсортоучастки – создавались в СССР на базе совхозов, колхозов и опытных хозяйств. Сортоучасток, в зависимости от возделываемых культур имел площадь 3-100 га. На участках проводились не только работы по районированию культур, но и исследовались передовые агротехнические приёмы обработки почв.

Опытные поля научно-исследовательских институтов (НИИ) – по аналогии с госсортоучастками могут использоваться в качестве эталонов, так как на них использовались и продолжают применяться наиболее эффективные технологии возделывания сельскохозяйственных культур. Для Тульской области в качестве эталонных почв могут использоваться поля ФГБОУ «Тульский НИИСХ».

Землепользования с высоким плодородием почв – применение почвосберегающих технологий конкретными фермерами и хозяйствами позволяет достигнуть эталонных значений, то есть показателей качества почв, превышающих аналогичные показатели в соседних хозяйствах.

На данную группу опираются авторы, осуществляющие поиск эталонов почв на землях сельскохозяйственного назначения. Данный подход достаточно распространен и использован многими учёными (Булгаков, 1999; Фрид, 2010).

На основе проведенного обобщения можно заключить, что в настоящее время существует три основных подхода к определению значений показателей, с которыми сравниваются результаты (данные) мониторинга.

1. Сравнение с показателями на «фоновых» территориях. В данном случае исследователь каждый раз сталкивается с необходимостью выбора «фоновой» площадки. Однако существует мнение, что за время существования человечества вся территория земли в той или иной мере подверглась антропогенному воздействию и в настоящее время найти «природный фон» не представляется возможным. Несмотря на это, даже на

законодательном уровне закреплена возможность выбора «эталонного участка» для установления нормативов качества почв.

2. Сравнение данных мониторинга с установленными показателями качества почвы как компонента окружающей природной среды: предельно допустимые концентрации (ПДК), ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) и т.д. Данный подход чаще всего применим для решения практических задач предприятий: для целей производственного экологического контроля и мониторинга объектов размещения отходов. Он позволяет оценить степень загрязнения и негативного воздействия на почвы, но не учитывает факторы плодородия и не позволяет выявить и оценить протекающие деградационные процессы.

3. Сравнение результатов мониторинга с «центральной образом» или «региональным эталоном». В данном случае мы сталкиваемся с решением сложной методологической проблемы по определению диапазонов значений различных свойств почв, которыми характеризуется классификационная почвенная единица.

В ФЗ-7 «Об охране окружающей среды» установлены следующие определения:

- природный объект - естественная экологическая система, природный ландшафт и составляющие их элементы, сохранившие свои природные свойства;
- природно-антропогенный объект - природный объект, измененный в результате хозяйственной и иной деятельности, и (или) объект, созданный человеком, обладающий свойствами природного объекта и имеющий рекреационное и защитное значение;
- антропогенный объект - объект, созданный человеком для обеспечения его социальных потребностей и не обладающий свойствами природных объектов.

На основании данных определений предложена концепция выделения «естественного природного фона» почв и «природно-антропогенного фона» почв.

Естественный природный фон почв (ЕПФ) – почвы не подверженные сильному антропогенному воздействию, сохранившие свои природные физические, химические и биологические свойства и способные выполнять в полном объеме свои экологические функции, определяемые природными особенностями территорий, и обусловленные естественно происходящими процессами в окружающей среде.

ЕПФ определяется на основе анализа свойств почв, которые в литературе называются эталонными. Чаще всего для определения ЕПФ применяются почвенные обследования территорий ООПТ. Основные методологические подходы по выделению эталонных объектов были сформулированы при создании Красной книги почв России (Добровольский и др., 2006).

Природно-антропогенный фон почв (ПАФ) – почвы, подверженные длительному антропогенному воздействию (например, сельскохозяйственному использованию), которое привело к изменениям физических, химических и биологических свойств почв, при этом почвы способны выполнять некоторые экологические функции.

Природно-антропогенный фон определяется для «центральных образцов почв». Центральный образец представляет собой обобщенную характеристику почвенных свойств конкретной территории.

В зависимости от целей оценки для определения ПАФ могут использоваться разнообразные методы, подробно рассматриваемые во второй главе данной работы.

1.2. Представление об эталоне почв в пространстве и времени

Рассмотрев определение эталона почв в целом, следует изучить, как различные исследователи понимают понятие эталона почв во времени и пространстве.

Принципиальная схема, содержащая обобщение существующих подходов, представлена на рисунке 2.



Рисунок 2. Схема понятия «эталон почв» в пространстве и времени

В Толковом словаре по почвоведению (1998), приводится следующее определение: эталон – «это почвенный индивидуум, являющийся центральным понятием классификации. Может быть реальным индивидуумом (например, реальной почвой), выбранным внутри изучаемой совокупности почв; модальным индивидуумом (результатом нескольких

приближений), не имеющим реального эквивалента в обследованных почвах; наконец, индивидуумом, относящимся к ранее составленной таксономии (например, почва-понятие)» (цит. по Гучок, 2009).

В качестве эталонов почв могут рассматриваться почвы, реально существующие в пространстве. Данный подход, в частности, реализован в Постановлении правительства РФ №149 от 13.02.2019 г. Предусмотрена необходимость выбора в границах исследуемой территории эталонного участка, на котором не выявлены признаки деградации экосистем. Госсортоучастки и опытные поля тоже являются примером выделения эталона почв, приуроченного к конкретной территории.

При этом существует и другой подход. На основе различных моделей (подробно рассмотренных в параграфе 1.3.) формируется некий целостный «собирательный образ» характеризующий эталон почв исследуемой территории. Данный эталон характеризуется оптимальными значениями диапазонов показателей плодородия (физических, химических, биологических). При этом на исследуемой территории может не встретиться почва, отвечающая всем перечисленным параметрам. В данном случае речь идет о некоем представлении об эталонной почве, её «центральной образе».

Существует концепция эталонирования. Под эталонированием понимается создание количественных рамок и четкое определение различных образов горизонтов или почв сложившееся в коллективном сознании ученых (Прокофьева, 2011; Почвенный справочник, 1995). В частности, для г. Москвы были выполнены работы по созданию эталонированной системы центральных образов городских почв (Прокофьева, 2011).

Как пишет И.А. Соколов «В генетической базовой классификации не обойтись без трех основных понятий: «центральный образ», «классификационные соседи» и «классификационные единицы».

Центральный образ (наша традиционная типичная почва) нужен для изложения генетической концепции, для научного обоснования смысла выделения таксонов.

Поскольку почва континуум – все границы в этом континууме размыты (если вообще существуют) и классификационные рубежи условны – в классификации неизбежно определенное противоречие: соседи всегда ближе друг к другу, чем к своему собственному центральному образу. Генетически различными оказываются центральные образы таксонов, но не весь таксон в целом (Соколов, 2003).

И.А. Соколов отмечал важность разработки «центральных образов», которые приобретают количественные характеристики, обусловленные особенностями регионального почвообразования».

Необходимо иметь обширную базу данных о свойствах почв конкретной территории, объем которой позволяет провести математический и информационный анализ.

Таким образом, если в первом случае мы имеем дело с реально существующей в каком-то хозяйстве почвой в границах одного или нескольких полей, то во-втором случае эталон почв – это результат применения логико-математических моделей.

Концепция эталона почв во времени заключается в том, что результаты текущего мониторинга ретроспективно сравниваются с результатами предыдущих исследований данной территории. Если исследуемые показатели не изменили своих характеристик в худшую сторону, делается вывод об отсутствии снижения качества почв, как компонента окружающей природной среды (ОПС). Таким образом, эталон почв все время оказывается «сдвинутым в прошлое». Для успешной реализации данной концепции необходима подробная база данных, позволяющая оперативно получать достоверные результаты предыдущих почвенных обследований. В качестве

такой базы могут быть использованы ЕГРПР и ПГБД, более подробно рассмотренные в следующем разделе.

Фоновый эталон почв чаще всего используется в работах, по оценке загрязнений почв от объектов промышленности. Критерием выбора фоновой территории является отсутствие негативного воздействия от объекта – источника загрязнения. В данном случае применяется пространственный критерий – удалённость от источника НВОС, но при этом сохранение других почвенных характеристик. Важно чтобы фоновая территория не подвергалась воздействию со стороны других источников НВОС. Чаще всего фоновые территории выбираются на землях ООПТ, а при их отсутствии в районе исследования на землях лесного фонда. При выполнении работ по экологическому мониторингу регулярный отбор проб почв осуществляется как в импактной зоне, так и на фоновых территориях. Соответственно, по мере осуществления мониторинга накапливаются данные о концентрации исследуемых показателей на фоновых территориях и появляется возможность рассматривать фоновые почвы не только в пространственном, но и во временном аспекте.

Для определения эталонов почв может использоваться концепция нейтрального баланса деградации земель. В работе (Огородников, 2021) проведена оценка нейтрального баланса деградации земель для территории Тульской области, включая территорию совхоза «Тихий Дон».

Из-за того, что разные исследователи вкладывают в понятие «эталон почв» разные временные и пространственные концепции, усложняется задача поиска подходов к определению «эталона почв».

1.3. Подходы к установлению эталонов почв на землях сельскохозяйственного назначения и землях ООПТ

Выбор эталона всегда был и остается весьма сложным вопросом методики почвенных исследований, подчёркивая это, М.Н. Заславский (1972) называл его «заколдованным вопросом» (Таллер, 2003).

Как было показано в предыдущих разделах, многие ученые занимались вопросом разработки или установления эталона почв на основе анализа их свойств, с учетом специфики и особенностей почвообразования.

Алгоритм определения эталонов в нормативно-методических документах не приводится (Бондаренко, 2016).

Е.В. Бондаренко предложена специфическая система определения почвенных эталонов в зависимости от категории земель участков, на которых они расположены:

- «Модель высокого плодородия дерново-подзолистой средне- и легкосуглинистой почвы для пахотных земель дерново-подзолистых почв» (Савич и др., 2003).
- Для почв на землях сельскохозяйственного назначения использовались усредненные значения почвенных свойств полученные на основе анализа научной литературы.
- Эталонные естественных ненарушенных лесных почв определяли на основе информации о свойствах почв, содержащихся в системе почвенно-географического районирования.
- Эталонами для почв селитебных зон – выступили показатели, характеризующие сертифицированные почвогрунты (Бондаренко, 2016).

Ниже приведены результаты обобщения существующих в научной среде и нормативно-правовых актах методов установления эталонов почв. Нами была подготовлена обобщённая схема, демонстрирующая различные

группы методов, используемых для определения эталонов почв на землях сельскохозяйственного назначения (рисунок 3).

Логично предположить, что использование различных методов может привести к получению разных диапазонов значений показателей, которыми характеризуется эталон почв. Однако на сегодняшний день в научной литературе отсутствуют работы по сравнительному анализу данных методов.



Рисунок 3. Методы определения эталонов почв

Методы, используемые в практической части исследования и новые методы, предлагаемые диссертантом для определения эталонов почв, будут рассмотрены в соответствующих главах.

Различные подходы к установлению региональных эталонов почв приведены в таблице 1. Следует отметить, что приведенные методы включают в себя оценку только химических и небольшого числа физических показателей качества почв, что не позволяет полностью оценить способность

почв выполнять экосистемные функции и сохранять устойчивость на протяжении долгого времени.

Таблица 1. – Региональные эталоны почвенного плодородия

Метод установления	Характеристика	Автор, год
Региональные эталоны почв на землях сельскохозяйственного назначения		
Экспертный подход		
Региональные эталоны почвенного плодородия	Концептуальная агроэкологическая модель, состоящая из множества блоков характеризующих факторы почвообразования. Блочная структура моделей позволяет создать паспорта плодородия почв.	Булгаков Д.С. 1999
Паспорта моделей почв высокого плодородия	Агроэкологические условия территории распространения модели включают в себя: климатические параметры, условия рельефа, особенности территории, структуру почвенного покрова. Параметры модели: морфологические, агрофизические, био- и физико-химические, агрохимические.	Цит. по Т.И. Павлова, 2014
Эталонный участок	Эталонные почвы приурочены к участку, на котором отсутствуют признаки деградации экосистемы. Методика выбора участка отсутствует.	Постановление правительства №149 от 13.02.2019
Методы численной таксономии		
Модели региональных эталонов	Составляются по данным агрохимических обследований на основе метода логико-математического анализа. Учитывают значения коэффициента передачи информации – характеризующего вклад почвенного показателя в общую характеристику данной таксономической единицы.	Пивоварова Е.Г., 2019

Таблица 1 (продолжение)

Региональные эталоны, определяемые методом главных компонент	Метод позволяет свести все множество исследуемых признаков к двум компонентам и оценить насколько близко исследуемые точки мониторинга будут расположены в получившемся декартовом пространстве. Опытным путем установлено, что «если первые две компоненты описывают около 70% варьирования, разделение объектов на группы будет достаточно выраженным»	В.А. Рожков, 2013
Кластерный анализ	Группировка данных агрохимических обследований в кластеры. На основе результатов кластеризации принимается решение какой кластер считать эталонным.	Скачкова С.А., Харитнова А.Е. 2016 Лисецкий Ф.Н., 2009
ГИС-системы		
ЕГРПР	Материалы фондовых обследований, выполненных в XX веке, систематизированные в ЕГРПР можно использовать в качестве «исторического» фона для проведения мониторинга и оценки текущего состояния почв (Огородников, 2020).	ред. Иванов А.Л., Шоба С.А. 2014
ПГБД	Содержит унифицированные данные архивных региональных почвенных обследований.	О.М.Голозубов, В.А. Рожков и д.р. 2015
ЕФИС ЗСН	Платформа осуществляет агрегацию данных на различных территориальных уровнях от поля до субъекта РФ в отличии от ПГБД и ЕГРПР содержит актуальную информацию о показателях плодородия территории, значения которых можно рассматривать в качестве эталонных.	Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ2021612746, 24.02.2021. Заявка № 2020667188 от 22.12.2020.

Таблица 1 (окончание)

Математические модели		
Банк моделей «Пломод»	Включает в себя 5 типов моделей плодородия: шкала обеспеченности, комплексная обеспеченность, взаимосвязь показателей плодородия, круговорот и баланс, динамическая шкала.	Фрид А.С., Ширшов Р.П. 1987-н.в.
Регрессионные модели	Поиск эмпирических зависимостей между урожайностью и показателями почвенного плодородия позволяют оптимизировать диапазон значений последних. Показатели плодородия, обеспечивающие максимальную продуктивность почв, принимаются за эталонные.	Например Огородников П.И., Усик В. В. 2011
Концептуальные модели	Модели, демонстрирующие различные блоки, которые влияют на плодородие почв.	Например Баходиров З.А. и др. 2018
Региональные эталоны почв на землях ООПТ		
Эталонные почвы	Прежде всего в границах ООПТ выбирается территория, характеризующаяся минимальным антропогенным воздействием, для чего, в частности, используются почвенно-археологический и сравнительно-географический методы. На выбранных эталонных участках проводят полевые работы с последующим лабораторным определением диапазона значений почвенных свойств.	Красные книги почв

Экспертный (экспертно-описательный подход). В его основе лежит экспертная оценка результатов исследования свойств почв, динамики почвенного плодородия и продуктивности растений в длительных стационарных опытах.

Аналоговая оценка строится на сопоставлении состояния объекта и эталона-аналога. «В качестве эталона-аналога используют другой реальный

объект (почву или почвенный покров), который по каким-либо условиям своего существования и собственным свойствам не подвержен деградации» (Нгуен, 2003).

«Поиск и описание реально существующих в сельскохозяйственной практике эталонов агропочв различного уровня плодородия позволяют отразить его региональные особенности. Основы этого подхода были заложены ещё в XX веке (Курилов, 1908, Черный 1908, Лебедянцеv, 1933, Опыты в СССР 1969)» (Почвообразовательные процессы, 2006).

Оригинальную методику определения расчетного эталона предложил А.П. Трубин. Им сравнивались целинные обыкновенные черноземы и черноземы, которые более полувека подвергались антропогенному воздействию, расположенные на госсортоучастке. Обработка почв осуществлялась с использованием передовых технологий того времени. По расположению в рельефе и климатическим характеристикам участки были типичными для Предуралья, что позволяло провести их сравнительную оценку.

Проводился расчет (в %) снижения исследуемых показателей в пахотных почвах по сравнению с целинными. Результаты показали снижение мощности горизонтов А + АВ, снижение содержания гумуса в пахотных почвах. Изменение его фракционного состава: увеличение доли негидролизуемого остатка в пахотных почвах.

Методы численной таксономии.

Вероятностно-статистическое распределение представляет собой наиболее точный и полный статистический эталон изучаемого свойства объекта. (Михеева, 2018) Соответственно, применение статистических методов обработки информации позволяет осуществить группировку почв и выбрать среди получившихся групп, множеств, кластеров тот, который будет принят за эталон почв.

ГИС-системы. ГИС системы такие как ЕГРПР и ПГБД, содержащие в себе сведения о почвенных обследованиях территории России во временной динамике могут быть использованы для мониторинга отклонения текущего состояния почв от результатов предыдущих почвенных исследований. Таким образом, содержащиеся в них данные могут применяться как эталон почв «во времени».

Однако применение этих баз имеет и свои недостатки. Ж.Г. Хлуденцов и Е.В. Кононцева отмечают, что, дерново-подзолистые преимущественно сверхглубокоподзолистые почвы Алтайского края в ЕГРПР характеризуются по данным свойств почв Кировской области. Это связано с «отсутствием литературных источников, обобщающих современное состояние почв исследуемой территории». Далее авторами приводится исследование эталонных образцов, отобранных на территории Алтайского края, которое показывает расхождение между реальными химическими и физическими свойствами почв данной территории и их эталонной характеристикой в ЕГРПР (Хлуденцов, Кононцева, 2015).

Активно развивающаяся в последнее время платформа ЕФИС ЗСН должна содержать более детальные результаты почвенных обследований, однако, в настоящее время доступ пользователей, являющихся физическими лицами, к данным содержащимся в платформе закрыт. Автору удалось получить ограниченный доступ к платформе через систему Госуслуги. В этом режиме доступа можно познакомиться с интерфейсом платформы, но данные о показателях, характеризующих свойства почв недоступны.

Математические модели. Почвенным институтом им. В.В. Докучаева, на основе 15-и летнего полевого опыта разработана модель почв Типичного мощного чернозема.

Порядок обработки массива почвенных данных следующий:

1. Рассчитать коэффициенты множественной корреляции и детерминации.

2. Имеющиеся корреляционные связи должны быть причинно обусловлены. Методика составления уравнений регрессии описана в работе (Дмитриев, 1972).

3. Построить логико-математическую модель.

Банк «Пломод» решает три типа функциональных задач: ввод и корректировка моделей, справочные, прогнозные расчеты для моделей в виде формулы.

Аннотации содержат:

- Номер модели в банке.
- Тип информационной модели плодородия: шкала обеспеченности, комплексная модель обеспеченности, модель круговорота (стационарного), модель равновесных взаимосвязей почвенных свойств, динамическая модель.
- Административную и природно-сельскохозяйственную привязку модели название типа и подтипа почвы.
- Тип земледелия и вид севооборота.
- Временные рамки модели: долгосрочная (многолетняя), среднесрочная (сельскохозяйственный сезон, год) краткосрочная (этапы развития растений).
- Культуры.
- Разработчик, составитель.
- Основной диагностический показатель модели.
- Список блоков показателей куда относятся диагностические показатели (ПЛОМОД, 1995).

С.З. Мамедова при разработке «концептуальной модели плодородия почв выделила следующие основные блоки: блок агроэкологии; почвенного состава; почвенных свойств, почвенных режимов, фауны беспозвоночных животных, оценки, биометрии, агромелиорации» (Мамедова, 2002).

1.4. Эталоны почв на землях ООПТ

В практической части данной работы эталоны почв на землях ООПТ не рассматриваются. Однако в связи с тем, что данный подход достаточно распространен в научном сообществе необходимо дать его краткую характеристику.

В качестве эталона почв должны выбираться почвы, широко распространенные на исследуемой, однородной по природным характеристикам, территории.

Чтобы стать почвенным эталоном, почва должна соответствовать следующим критериям:

- Формироваться в естественных условиях с минимальным антропогенным воздействием (Целинная почва);
- Иметь широкое распространение, занимать существенную долю площади исследуемой территории (Типичная почва);
- Максимально отражать почвенное разнообразие региона (Репрезентативная почва);
- Морфологическое строение и свойства эталонной почвы должны соответствовать «центральному образу» (Добровольский и др., 2006).

В Красной книге почв для территории Тульской области приведены паспорта почвенных разрезов:

Чернозём выщелоченный среднесуглинистый на карбонатных лёссовидных суглинках. (Куркинский район, урочище Рыхотка, землепользователь совхоз «Победа»);

Чернозём оподзоленный мощный среднесуглинистый на карбонатных лёссовидных суглинках (Кимовский район, урочище Зеленая дубрава, землепользователь СПК «Юбилейный»);

Чернозем выщелоченный маломощный среднесуглинистый на карбонатных лёссовидных суглинках (Кимовский район «Татинки»);

Чернозем выщелоченный среднесуглинистый на карбонатных лёссовидных суглинках (ООПТ «Водяное поле»);

Дерновая карбонатная типичная известковая среднесуглинистая почва на двучленных отложениях делювия лёссовидных суглинков на элювии известняков (Куркинский район с/х «Победа»).

Как отмечает О.М. Голодная «В составе почвенного покрова существующих заповедников отсутствуют бурые отбеленные и лугово-бурые почвы, характерные для сельскохозяйственных районов края. Это затрудняет внесение их в перечень эталонов почв». Между тем для целей агро-экологического мониторинга необходимо выработать эталон сравнения.

Помимо оценки почвенных свойств, требуется оценка загрязнения почв. Законодательно установленные значения ПДК должны разрабатываться с учетом способности почв к самоочищению.

«ПДК химического вещества в почве – это то максимальное количество химического вещества (исчисляемого в мг/кг пахотного слоя абсолютно сухой почвы), которое не вызывает прямого или опосредованного отрицательного влияния на здоровье человека и **самоочищающую способность почвы**» (Методические рекомендации, 1982). На наш взгляд, установление предельно допустимых концентраций должно учитывать не только тип почвы, но и вид разрешенного использования земель. Ранжирование допустимых уровней содержания химических веществ в почве в зависимости от отдельных групп функциональных зон представлено в работе (Крятов и др., 2015).

1.5. Эталонные почвы: состояние биоты и оценка токсичности

Нормативные документы, регламентирующие процесс определения острой токсичности, рекомендуют использовать в качестве контроля тест с искусственной почвой (ГОСТ 33036-2014).

Между тем в международном сообществе биологические тесты рекомендуется проводить с определенными репрезентативными естественными полевыми почвами вместо искусственных почвоподобных субстратов (https://ec.europa.eu/health/archive/ph_risk/committees/sct/documents/out83_en.pdf).

В качестве эталона рекомендуется использовать незагрязненную почву, которая обладает физическими и химическими свойствами, аналогичными исследуемой почве. В противном случае результат полученных наблюдений будет не объективен. (Environment Canada, 2007)

За рубежом существует ряд банков данных эталонных почв.

Проект "Евро-почвы" был направлен на получение набора эталонных почв, представляющих наиболее распространенные почвы в Европейском Союзе. Результатом этого проекта стал сбор, описание и химическая характеристика семи евро-почв. (Gawlik BM, Muntau H, eds. 1999)

Однако другие проекты, такие как почва Люфа-Шпейера (<http://www.lufa-speyer.de/soil>) показывают, что семь евро-почв не представляют разнообразия почв в Европе. Кроме того, эталонная почва, взятая с одного конкретного участка (как и евро-почвы), является конечным ресурсом. Чтобы преодолеть эту проблему Roßmbke J, Amorim M. (2004) предложили, чтобы все почвы, имеющие свойства (текстура, pH, органическое вещество и соотношение C/N), аналогичные свойствам европейских почв, можно было бы использовать в качестве эталонных почв.

Таким образом, на лицо проблема определения природного эталона почв. При этом ряд работ показывает, что степень токсичности веществ зависит от гумусного состояния почв. С утратой более 30%

биоорганического потенциала почв наступает катастрофическое нарушение устойчивого функционирования экосистемы (Экологическое нормирование, 2013).

Таким образом, для определения токсического воздействия на различные эталонные почвы необходимы эксперименты по установлению величины их биоорганического потенциала.

Эко-эксергия – это метод оценки состояния почвенной биоты. Структура микробного пула является важным фактором, характеризующим «здоровье почвы». Между тем при определении эталонов почв данный фактор не учитывается.

Микробные системы, как и множество других экологических систем, представляют собой открытую неравновесную термодинамическую систему. Проходящий через систему поток энергии поддерживает выполнение глобального гомеостаза и функционирование экосистемы на неравновесном стационарном уровне (Kozhevin, 2017).

Экологическая эксергия (эко-эксергия) – термодинамический показатель, обобщающий информацию о микробных сообществах. Данный показатель отражает работу по созданию экосистемы из неорганических компонентов и необходимую для этого информацию. Таким образом, эко-эксергия представляет собой меру отклонения системы от равновесного состояния.

Показатель позволяет найти взаимосвязь между биологической организацией организмов и потоками энергии, проходящими через них.

Общая эксергия экосистемы складывается из химической энергии органического вещества биомассы и информации, заключенной в живых организмах.

Упрощенная система расчета эко-эксергии микробной системы проводится по формуле:

$$E = \sum B_i \cdot C_i \quad (1)$$

C_i – биомасса компонента;

B_i – коэффициент, характеризующий количество информации в данном организме по его геному.

Концентрация при термодинамическом равновесии может быть найдена как вероятность возникновения организма в данных условиях. Размер генома определен по данным проекта геномного картирования, а для ряда организмов можно найти значения B проводя сравнения по сложности организмов. (Jørgensen, 2006)

В отечественной литературе публикаций посвященных эко-эксергии сравнительно немного.

В работе Н.Р. Эмер и др. (2019) проводится расчет эко-эксергии для почвенных образцов – черноземов Тульской области, отобранных на пашни (обрабатывалась более 20 лет при ежегодном внесении удобрений NPR) и залежи (фоновая территория).

В работе прокариотные клетки не разделялись на бактерий ($B = 8,5$) и архей ($B = 13,8$), поэтому для расчета эко-эксергии использовано значение близкое к среднему для этих объектов — $B = 10$. Для грибов показатель существенно выше: $B = 61$.

Величина эко-эксергии для прокариотного сообщества за месяц в 1 т почвы, подверженной длительному антропогенному воздействию, составляет 1,7 МДж. Аналогичная величина показателя, полученная в «фоновом образце» составляет = 45 МДж. При проведении пересчета полученных значений на 1 га величина эко-эксергия на фоновой территории составила 134,6 ГДж, а на территории подверженной длительному интенсивному антропогенному воздействию – 5,2 ГДж. Налицо снижение экосистемных услуг снизилась почти в 26 раз.

Для характеристики динамики микробного сообщества чернозема использовался структурный эко-сергетический индекс, являющийся параметром интенсивности (Ex str).

Предварительно высушенный образец почв был увлажнен, величина Ex str рассчитывалась через каждые 4 дня.

Минимальные значения индекса наблюдаются в сухом образце почвы. После увлажнения идет резкое увеличение значений, максимум достигается на 16-е сутки. Микробная система переходит на К стратегию, достигает максимальной сложности системы, который обеспечивает высокий уровень энергоэффективности (Kozhevina, 2017). На 20-й день, когда вероятно основное количество ресурсов уже было поглощено биомассой, наблюдается небольшое снижение индекса, однако, он остается на достаточно высоком уровне.

Таким образом, расчет эко-эксергии позволяет провести количественную оценку состояния экосистем. Важным аспектом является возможность использовать значения данного показателя при оценке экосистемных услуг, поскольку энергия и эксергия измеряются в одинаковых единицах – джоулях. Зная стоимость энергии, можно перейти от рыночных оценок земель, обусловленных текущей конъюнктурой рынка, к объективной стоимости почвы, выполняющей важнейшие экосистемные функции.

Таким образом, для установления природно-антропогенного фона необходим учет комплекса показателей: химических и физических свойств почв, её способности нейтрализовывать негативное действие токсикантов и состояние почвенной микробиоты. Только учет всех перечисленных показателей позволяет объективно оценить состояние почв и их близость к «эталону». Группы свойств почв, используемые для оценки природно-антропогенного фона почв представлены на рисунке 4.

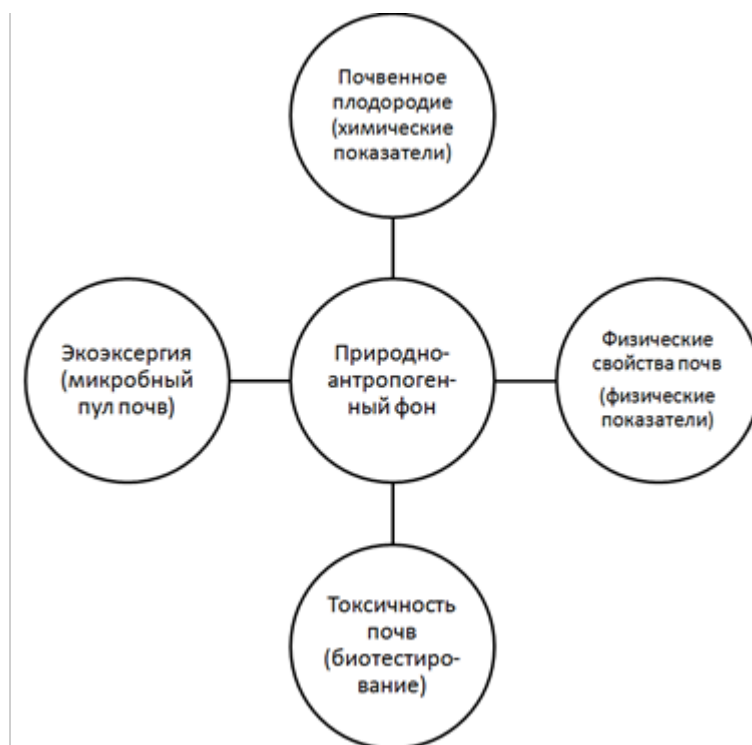


Рисунок 4. Группы свойства почв, используемые для оценки природно-антропогенного фона почв.

1.5. Определение оптимальных (эталонных) значений параметров почвенного плодородия

Прежде всего при формировании представлений об эталоне почв необходимо определить критерии отбора показателей почвенного плодородия. Комплекс исследуемых показателей должен быть небольшими, но при этом позволять максимально полно оценить соответствие значений показателей уровню потребностей растений в элементах питания.

Отобранные показатели должны быть интегральными и характеризоваться наибольшим числом высоко достоверных коррелятивных связей с множеством почвенных свойств.

Оптимальные параметры эталонных почв – это значения параметров свойств почв, обеспечивающие максимально полное усвоение элементов питания растениями во время всего вегетационного периода.

Для того, чтобы оценить сложность определения показателей эталонов почв, достаточно привести следующие данные: «В опыте с озимой пшеницей на дерново-подзолистой почве только по 3-м элементам при постоянстве других факторов было выявлено 26 комбинаций доз удобрения, соответствующих одному и тому же урожаю 40-45 ц/га.» (Труды почвенного института, 1982).

Разрабатывая модели плодородия и критерии оптимальных свойств в первую очередь следует исходить из значений свойств почв для жизни растений. Факторы плодородия создают условия для осуществления минерального питания растений по фазам вегетации, обеспечения их водой и воздухом.

«Критерием оптимальности свойств почв и систем регулирования их плодородия должны быть не только конечный выход растительной продукции и её качество, но и уровни содержания питательных веществ в почве, необходимые для получения высокого урожая» (Панкова, 2002).

При разных комбинациях свойств почв, дающих один и тот же урожай к оптимуму рациональнее отнести ту почву, которая в меньшей степени отклоняется от естественного уровня, типичного для исследуемого типа почвы, обеспечивает получение высокого урожая с хорошим качеством при минимальном содержании подвижных форм питательных веществ в пахотном слое. Модель разработана на основе экспертной оценки результатов многолетних исследований (Ефремов, 1982).

Модель плодородия почвы не может быть абстрактной. Она должна быть конкретизирована по 2-м аспектам: по виду культуры и по величине урожая (Семенов, 1982).

Оптимальные значения показателей свойств и режимов почв, отражающие разную степень их окультуренности и уровень плодородия, следует устанавливать на основании достоверных экспериментальных данных.

При этом должен быть обеспечен сопряженный учет комплекса свойств и режимов почв, урожайности и его качества.

Для определения оптимальных и критических уровней содержания в почве того или иного питательного элемента необходимо собрать, систематизировать, математически обработать и проанализировать обширный экспериментальный материал об уровне их содержания в почве в связи с продуктивностью сельскохозяйственных культур.

Оптимальное содержание элементов питания – это такой уровень, который позволяет получить наибольший урожай без потери качества продукции.

Для содержания фосфора, калия и некоторых других агрохимических показателей установлены 6 уровней: очень низкий (нижний критический уровень), низкий, средний, повышенный, высокий, очень высокий (верхний критический уровень). Ни один из этих уровней не назван оптимальным.

Под «высоким» уровнем следует понимать такое высокое содержание, которое и не повышает, но ещё и не снижает урожай, а интервалы оптимального уровня обозначаются нижней границей четвёртого и верхней границей пятого. Таким образом, оптимальный – это не средний уровень, а сдвинутый в сторону верхней критической точки уровень.

«Модель плодородия почв – совокупность агрономически значимых свойств и почвенных режимов, отвечающих определённому уровню продуктивности растений» (Мамедов, 2010).

Наряду с агрохимическими показателями, должны привлекаться данные о морфолого-генетических особенностях, физическом строении, минералогических свойствах (Теоретические основы, 1982).

Оптимальные свойства почв – величины показателей, которые на долгие годы (60-80 лет) полностью обеспечивают потребности данной культуры в соответствующем ресурсе или условии при величинах урожайности, определяемых потенциальными возможностями климата (Мамедова 2002).

Рассмотрены модели плодородия почв с учетом требований древесных культур. Существуют модели и для конкретных садовых деревьев (Никиточкин и др., 2015).

Агролесомелиоративный эталон защиты почв от эрозии создан на агроэкологической станции, на которой расположены уникальные объекты – противозерозионные эталоны лесомелиорации, являющиеся примером эффективного регулирования стока и снижения смыва почв (Кулик и др., 2018).

Изучая генезис и эволюцию почвенного покрова конкретной территории необходимо иметь представление об истории землепользования данной местности. При этом нужно стремиться установить местоположение целинных участков или «условно коренного» леса. «Их можно принять за эталон и сравнивать с ними пахотные почвы, почвы вторичных лесов,

исследовать агро- и постагрогенные изменения почвенного покрова» (Ахмалишев, 2007).

В работе И.В. Дудкина (2018) эталоном почв назван русский чернозем.

Рассмотрим эталоны почв в оценке Почвенно-экологического индекса.

В работе С.А Ганиевой (2020) предложена бонитировочная шкала. В качестве эталона (100 баллов) автором выбраны тяжелосуглинистые мощные серо-бурые почвы.

З.С. Жуков отмечает, что Краснодарский чернозем является эталоном почвенного плодородия, используемым для расчета почвенно-экологического индекса (ПЭИ). Далее им выделяются минимальные и максимальные значения ПЭИ, а по их средним величинам выполняется расчеты эталона максимума и эталона минимума (Жуков, 2015).

«Для расчета ПЭИ в качестве эталона со значением 100 баллов использовались показатели условий окружающей среды зоны лесостепных черноземов центральной части Южного Предуралья с наиболее плодородными почвами. За эталон почв РФ взят чернозем выщелоченный мощный среднегумусный в Краснодарском крае, оцениваемый 100 баллами и урожайностью культур 50 ц/га в кормовых единицах» (Чанышев, 2009).

А.Н. Хасанов проводил расчет ПЭИ для республики Башкортостан. По его данным, значение ПЭИ составляет 53 балла, что в 2 раза меньше ПЭИ Краснодарского края, оцениваемого в 100 баллов. Автор подчеркивает, что агроклиматические условия Южной лесостепи являются эталоном для Республики Башкортостана (Хасанов, 2019).

В целях проведения бонитировки, В.П. Кузьмичев (1974) оценивает эталонную почву почвенной провинции значением 100 баллов. Другие почвы, в том числе аналоги эталонной почвы получают более низкие оценки.

Особняком стоят работы, в которых эталон почвы определялся по суммарному энергетическому потенциалу плодородия почв.

В этих работах суммарный энергетический потенциал плодородия почв исследуемой территории переводится на баллы по энергии плодородия относительно эталонной почвы (Мурзабулатов, 2009; Бадамшина, 2009).

Выводы по главе 1.

1. В литературе отсутствует однозначное определение почвенного эталона. Одни исследователи допускают возможность выделения эталонов почв исключительно в границах ООПТ, другие напротив считают, что эталонные почвы можно определять на землях сельскохозяйственного назначения.

2. Обобщение и критическая оценка литературных источников по установлению эталонов почв показывает, что в настоящее время применяются следующие подходы: экспертный подход, методы численной таксономии, ГИС-системы, математические модели. В качестве критерия почвенного эталона используются: почвы с преобладающей площадью, редкие почвы, степень окультуренности почв.

3. Для целей экологической оценки и нормирования качества почв и земель целесообразно ввести определения «естественного природного эталона почв» и «природно-антропогенного эталона почв».

Глава 2. Объекты и методы исследования*

2.1 Характеристика территории бывшего совхоза «Тихий Дон»

Совхоз «Тихий Дон» расположен в северо-восточной части Куркинского района Тульской области. Карта Тульской области, с выделенной территорией совхоза представлена в Приложении 1. Расположение совхоза, выполненное в программе Google.Earth приведено на рисунке 5.

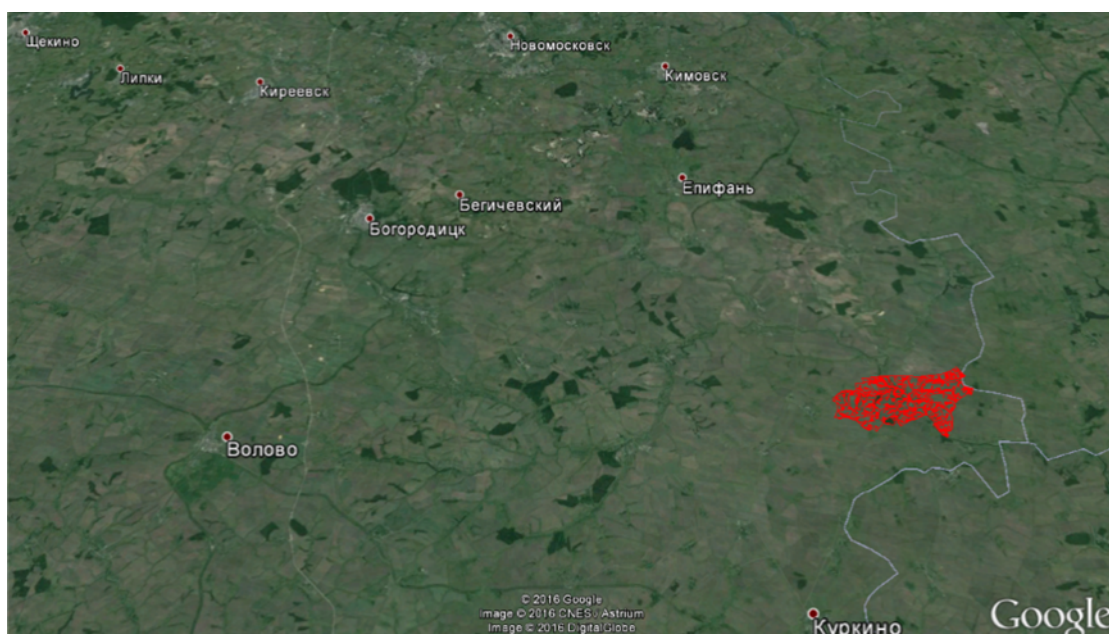


Рисунок 5. Расположение совхоза «Тихий Дон»

Площадь исследуемой территории – 3650 га.

По шкале оценки пашен Тульской области по валовой продукции Куркинский район занимает первое место (99 баллов) (Экология Тульской области, 2014).

* Подходы, изложенные в данной главе, опубликованы в следующих научных статьях автора:

1. Яковлев А.С., Макаров О.А., Евдокимова М.В., **Огородников С.С.** Дegradация земель и проблемы устойчивого развития // Почвоведение. – № 9. – 2018. – с. 1167-1174. DOI: 10.1134/S0032180X18090149
2. **Ogorodnikov S.S.** Land degradation neutrality in the Tula region // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2021. — no. 723. — P. 1–5. DOI: 10.1088/1755-1315/723/4/042053

Климат. Для исследуемой территории характерны умеренно холодная зима и теплое лето. Совхоз «Тихий Дон» находится во втором климатическом районе Тульской области.

Периоды весны и осени имеют меньшую продолжительность, но хорошо выражены.

Диапазон колебания среднегодовой температуры составляет от 3,6 до 4,2 тепла.

Самый холодный месяц – январь, самый теплый – июль. Абсолютный температурный минимум составлял - 45°C, а максимум 38°C. Продолжительность периода со среднесуточной температурой выше 0 в среднем 211 – 215 дней: с 3-5 апреля по 3-5 ноября, при сумме положительных температур 2500-2600°C; период активной вегетации (с температурой выше 10 градусов (137-140 дней)). (Очерк почвы совхоза «Тихий Дон», 1992).

Со 2-4 мая по 19-20 сентября сумма положительных температур составляет 2100-2200°C, что достаточно для развития районированных культур.

Безморозный период длится 142-147 дней, с 5-6 мая по 26-30 сентября. Гидрометрический коэффициент 1,2 – 1,3 свидетельствует о достаточном увлажнении. В год выпадает 525 – 630 мм. осадков.

Снеготаяние начинается в среднем 17-19 марта и продолжается 17-18 дней. После схода снега начинается оттаивание почвы, длительность которого составляет приблизительно 20 дней.

Оптимальное время начала полевых работ наступает после оттаивания и длится около трех-четырех недель. В это время почва находится в мягкопластинчатом состоянии.

Заморозки прекращаются 5-8 мая. Запасы влаги в почве в начале вегетации составляют около полной полевой влагоемкости.

В XX веке засухи отмечались раз в 20 лет. Вероятность суховеев средней интенсивности – 75%, но за всё лето бывает только 3-4 дня с суховеями.

Зима умеренно холодная. Первый снег обычно тает, а устойчивый снежный покров появляется в декабре. Наибольшая высота снежного покрова достигается в конце февраля – начале марта.

Число дней со снежным покровом колеблется от 60 до 190 (в среднем 115-130).

Рельеф. Территория совхоза расположена на восточных склонах Среднерусской возвышенности в северной части Птаньско—Шиловского геоморфологического района. Расчлененность поверхности в средней степени, формы мезорельефа мягкие, склоны водоразделов вытянутые, пологие. Водоразделы имеют абсолютные высоты над уровнем моря 200-260 м.

Общий уклон местности на восток и юго-восток, рельеф равнинный, среднерасчлененный.

Местным базисом линейной эрозии является река Дон, куда впадают все балки. По днищам балок протекают ручьи, в северо-западной части протекает р. Курцы.

Балки имеют задернованные склоны и днища в тех местах где склоны выположены, а днища широкие. На крутых и покатых склонах встречаются промоины. Склоны местных водоразделов пологие и очень пологие, иногда с некоторой выпуклостью, протяженность склонов значительная, до 3-х км и более.

Большинство склонов кончается обрывами к Дону. Степень эрозии средняя. По лощинам стока формируются эрозионно-опасные гидроморфные и полугидроморфные почвы.

В блюдцеобразных понижениях сформировался чернозем осолоделый лугово-болотная и влажно-луговая почвы.

Рельеф исследуемой территории позволяет осуществлять механизированную обработку почв, но из-за овражно-балочной сети возникают дополнительные затраты. Карты углов уклона, полученные на основе различных моделей рельефа представлены на рисунках 6 и 7.

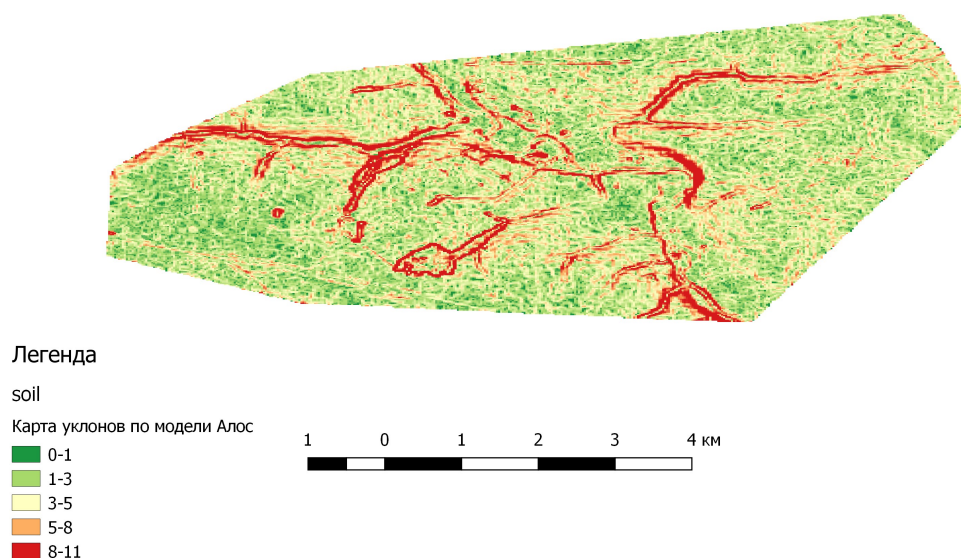


Рисунок 6. Карта углов уклона территории полученная по ЦМР Алос

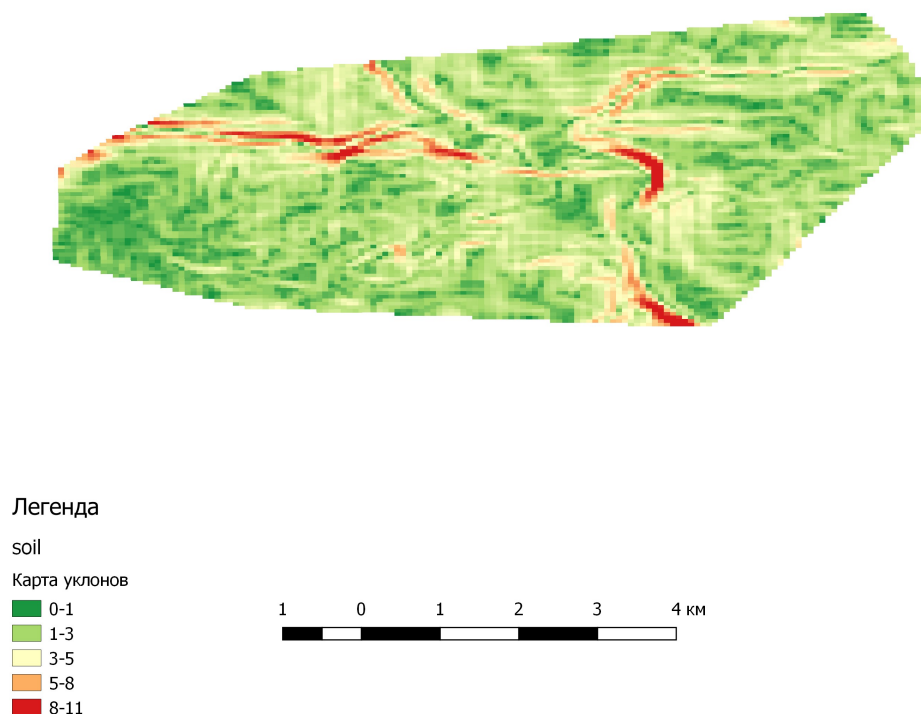


Рисунок 7. Карта углов уклона территории полученная по ЦМР с сайта Gislabs.ru

Гидрология и гидрография. На территории хозяйства проходят русла рек Дон и Курцы. Река Дон на исследуемой площади имеет в верхнем течении ширину 40-70 м, а глубину 2-5 м.

Пойма р. Дон развита незначительно, наибольшая ширина составляет 300 м. Продолжительность разлива составляет 5-9 дней.

У реки Курцы пойма слаборазвитая. Кроме реки Курцы в р. Дон впадают ручьи, пересыхающие летом. В пойме р. Дон расположены пруды. Зеркало вод занимает 38 га – около 1% площади исследуемой территории.

Воды среднеминерализованные, пригодны для орошения. Грунтовые воды на водоразделах расположены на глубине 3-5 м, в ложинах выше на глубине 1,5-3 м. Наличие близко залегающих грунтовых вод способствует формированию полугидроморфных и гидроморфных почв.

Артезианские воды залегают на глубине 25-30 м.

Растительность. По характеру естественной растительности территории хозяйства относится к зоне лесостепи.

Леса занимают 1,5% от общей площади хозяйства (43 га).

Основными насаждениями являются клён татарский, дуб, береза. Подлесок представлен черемухой, ракитником, терном. Под пологом леса из травянистой растительности произрастают вероника, овсяница луговая, шалфей, земляника, медуница.

Луга представлены сенокосами и пастбищами. Они подразделяются на суходольные пойменные и низинные.

Суходольные луга находятся на склонах балок и оврагах, участках неудобных для распашки. Их видовой состав однообразен и представлен злаково-разнотравной и злаково-бобовой ассоциациями. Из злаковых преобладают полевица обыкновенная, овсяница луговая, ежа сборная. Разнотравье представлено подмаренником желтым, лапчаткой прямостоячей, земляникой, подорожником ланцетовидным. Встречаются бобовые растения: клевер красный, мышиный горошек, донник. Высота травостоя суходольных

лугов колеблется от 15-20 до 60 см, проективное покрытие составляет 70-80%.

Низинные луга расположены по хорошо увлажненным днищам балок. Из злаковых преобладают тонкокустовые злаки. Из разнотравья чаще всего встречается щавель кислый, лютик едкий, лапчатка гусиная, герань луговая. Проективное покрытие 80-90%. Состояние лугов ухудшается произрастающим здесь щавелем конским.

Заливные луга расположены в пойме Дона. Представлены сорно-разнотравной растительностью. Незначительную площадь занимают разнотравно-щучковые и злаково-осоковые типы. Травостой пойменных лугов низкого качества, плохо поедаемый.

Почвообразующие породы:

Исследуемая территория входит в северную часть Ефремово-Воловского почвенного района.

На кристаллическом фундаменте докембрийских отложений Московской синеклизы залегают девонские отложения мощностью 300-400 м. На территории хозяйства коренные породы выходят на левом крутом берегу р. Дон. Мощность известняков значительная, коренные породы перекрыты четвертичными отложениями в виде лессовидных карбонатных суглинков, в зависимости от степени увлажнения карбонаты наблюдаются на различной глубине. По днищам балок почвообразующей породой являются делювиальные отложения.

Основную территорию занимают лессовидные суглинки, также присутствуют аллювиальные и делювиальные отложения.

Почвы. На исследуемой территории находятся преимущественно черноземы выщелоченные и черноземы оподзоленные (так же присутствуют аллювиальные, дерново-карбонатные малокаменистые, лугово-чернозёмные почвы). Исследуемые черноземы имеют разную мощность, гумусность,

(некоторые слабосмыты). Механический состав средне и тяжелосуглинистый.

Почвенная карта и легенда к ней представлены в Приложении 2.

Ниже приведён список почв, ареалы которых занимают наибольшую площадь.

- Чернозем выщелоченный среднесуглинистый среднесуглинистый на лессовидном карбонатном суглинке. 29,5%
- Чернозем выщелоченный среднесуглинистый малогумусный слабосмытый тяжелосуглинистый на лессовидном карбонатном суглинке. 20,3%
- Чернозем выщелоченный среднесуглинистый среднесуглинистый на лессовидном карбонатном суглинке. 12,6%
- Чернозем оподзоленный среднесуглинистый среднесуглинистый на лессовидном карбонатном суглинке 8,6%

Так же выделяется ряд почв, для которых подстиляющей породой служит лессовидный суглинок, но ареалы этих почв невелики.

Чернозем осолоделый тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке 0,1%

Лугово-черноземная среднесуглинистая на лессовидном суглинке 0,8%

Лугово-черноземная среднесуглинистая на лессовидном суглинке 6,9%

2.2. Сведения о мониторинге за состоянием почвенного покрова исследуемой территории

В работе использованы данные предыдущих почвенных обследований, полученные из архивных источников и результаты проведенных автором работ в 2015 и 2019 году. Сведения об имеющихся данных характеризующих почвенный покров исследуемой территории в разные годы приведены в Таблице 2. Результаты химических испытаний проб отобранных в 1992, 2014, 2015, 2019 годах представлены в Приложениях 3-6.

Таблица 2. Сведения о почвенных обследованиях, проводившихся на исследуемой территории за последние 30 лет

Год отбора проб	Число проб	Определяемые показатели	Источник данных	Примечания
1992	35	Мех. состав, pH, гидролитическая кислотность, подвижный фосфор, обменный калий, гумус по Тюрину, сумма поглощенных оснований	Очерк Почвы совхоза «Тихий Дон»	Всего отборно 135 образцов из 38 разрезов, но результаты испытаний приведены не по всем пробам
2014	13	Содержание гумуса, гидролитическая кислотность, сумма поглощенных оснований, сера, подвижный фосфор, обменный калий	Агрохимический паспорт сельхозугодий ООО «Опытное хозяйство»	Площадь 1504 га отобрано около 150 проб; измерения проводились в 20% проб, данные приведены как среднее по полю (13 шт.)
2015	22	Содержание гумуса, pH, обменный фосфор, подвижный калий, Cu, Zn, Cd, Pb	Отобрано и проанализировано автором	Пробы отбирались в тех же точках, что и в 1992 году согласно почвенной карте
2019	106	pH, Содержание гумуса, обменный фосфор, подвижный калий, Mn, Co, Cu, Zn, Mo, B, Ca, Mg, Al, N-NH ₄ , N-NO ₃	Отобрано и проанализировано автором	Наиболее подробное обследование за исследуемый период.

Характеристика архивных данных.

В диссертационной работе используются данные о показателях плодородия пахотного горизонта ($A_{\text{пах}}$). В очерке почвы совхоза «Тихий Дон» за 1992 год указано, что пробы отбирались из 38 разрезов. Фактически в отчете содержатся данные о результатах химических анализов в 35 точках отбора проб. Положение разрезов, сделанных в ходе обследования 1992 года, показано на рисунке 8.

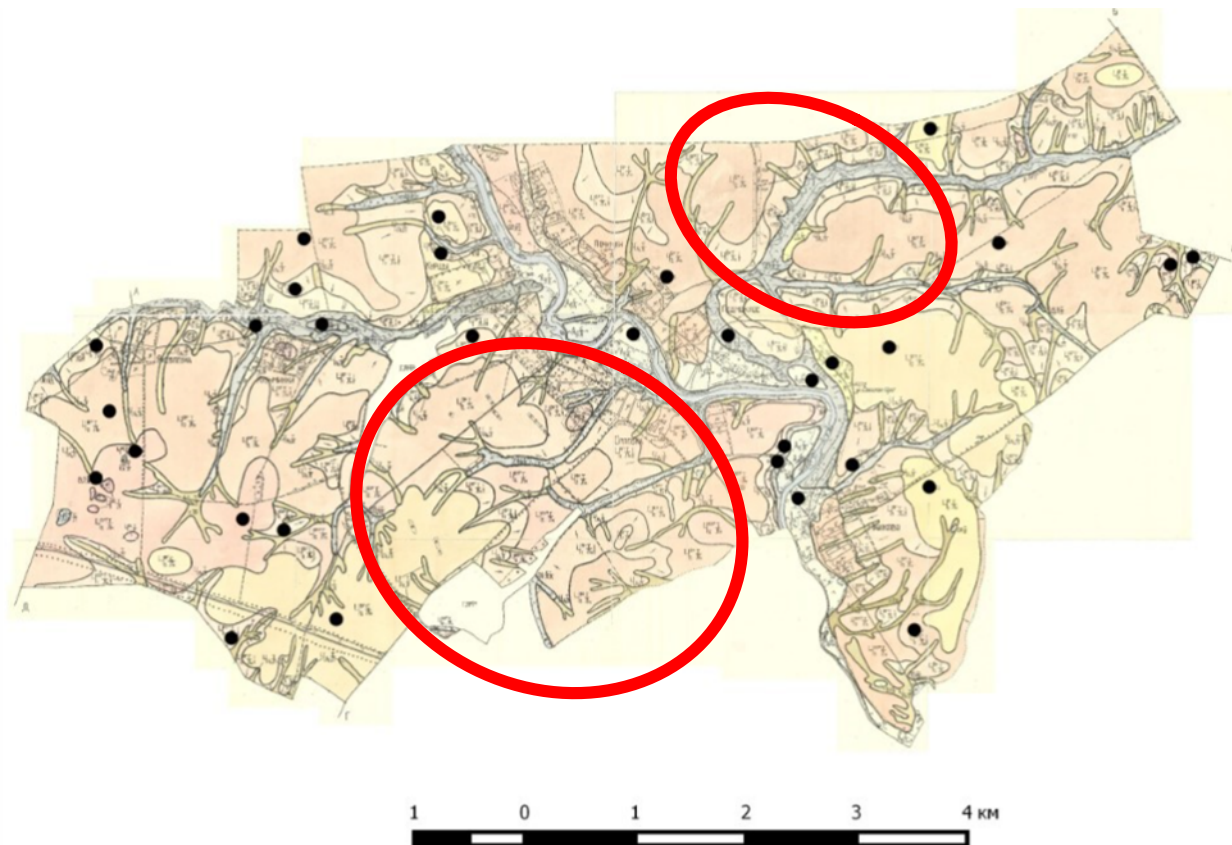


Рисунок 8. Положение разрезов, сделанных в 1992 году на почвенной карте

Видно, что сетка отбора закрывает территорию хозяйства неравномерно. На карте видны большие площади необследованной территории (выделено красным). Точки пробоотбора располагаются достаточно «кучно», что не позволяет охарактеризовать всю исследуемую территорию.

В отделе сельского хозяйства Администрации МО Куркинский район был получен Агрохимический паспорт сельхозугодий ООО «Опытное хозяйство» за 2014 год и агрохимическая характеристика почв подготовленная Центром химизации и с/х радиологии «Плавский». Согласно данным из агрохимического паспорта, в границах исследуемой территории была обследована площадь 1504 га, отобрано около 150 проб, при этом измерения проводились в 20% проб, а данные в агрохимическом паспорте приведены как среднее по полю (13 шт.).

Таким образом, нетрудно рассчитать, что на территории 1504 га был выполнен химический анализ только 30-и образцов, которые затем были усреднены до 13 значений (одно значение характеризует одно поле).

Очевидно, что 35 образцов и 13 усредненных на каждое поле значений, недостаточный массив данных для выполнения работ по установлению эталонов почв исследуемой территории. В связи с этим в 2015 и 2019 годах автором диссертации были проведены обследования территории и осуществлён отбор проб.

Характеристика отбора проб в 2015 году.

По оцифрованной почвенной карте были определены координаты местоположения разрезов, сделанных в 1992 году. При этом обязательным условием было наличие результатов химических анализов (в отчёте они присутствовали далеко не для всех точек). Одним из первых, подобный способ отбора образцов использовал Г.Я. Чесняк, который спустя 100 лет, после исследований В.В. Докучаева отобрал пробы в тех же местах, где и его предшественник (Чесняк, 1983).

В 2015 году был организован полевой маршрут по точкам, отмеченным на почвенной карте 1992 г. находящимся в наиболее представительных контурах. На каждой точке закладывалась площадка 1м*1м и методом конверта отбиралась смешанная проба почвы (по ГОСТ 17.4.4.02-84).

Целью данной работы было проведение ретроспективного анализа и оценка изменения плодородия почв за 23-х летний промежуток.

Характеристика отбора проб в 2019 году.

Для получения массива данных позволяющих установить диапазоны значений эталонов почв исследуемой территории в 2019 году был осуществлен отбор 104 проб почв. Отбор проводился на элементарных участках в соответствии с законодательно утвержденными методами. (Методические указания, 2003).

Элементарный участок – это наименьшая площадь, которую можно охарактеризовать одной объединённой пробой почвы (ГОСТ 28168-89).

Для получения достоверных данных об агрохимическом состоянии почв, при отборе объединенных почвенных проб рекомендуется метод маршрутных ходов.

Согласно «Методическим указаниям по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения» (2003) при установлении пространственной частоты отбора объединенных проб учитывают пестроту почвенного покрова и количество вносимых удобрений.

Количество вносимых удобрений можно оценить только по данным официальной статистики. При планировании полевого отбора проб в 2019 году использовались данные за 2018 год для Куркинского района Тульской области. Согласно базе данных муниципальных образований, в 2018 году внесение минеральных удобрений (в пересчете на 100% питательных веществ) под посевы сельскохозяйственных культур в сельскохозяйственных организациях составило 53042 центнера.

Посевная площадь сельскохозяйственных культур в сельскохозяйственных организациях составляет на 2018 год 44021 га. Таким образом, в среднем по Куркинскому району удобрения вносятся в количестве 1,2 ц/га.

С учетом средних данных по внесению удобрений и того, что на исследуемой территории преобладают выщелоченные черноземы, максимально допустимые размеры элементарных участков составляют 15 га.

К отбору почвенных проб на каждом конкретном земельном участке (поле севооборота) нужно подходить индивидуально, так как каждый участок обладает своими особенностями: размером, конфигурацией, почвенными контурами и т.д.

Как отмечает А.С. Бирин для закладки маршрутного хода и получения достоверной оценки состояния плодородия земель целесообразно применять дифференцированный подход. «На элементарных участках с однородным рельефом использовать стандартный маршрутный ход, а на территориях с пересеченным рельефом – зигзагообразный» (Бирин, 2009).

При закладке сетки отбора проб была предусмотрена возможность построения картограмм обеспеченности почв элементами питания на всю территорию исследования, анализ зависимости значений NDVI и урожайности от показателей плодородия для конкретных полей.

На каждом элементарном участке производился отбор одной объединенной пробы с прямоугольной квадратной площадки со стороной один метр методом конверта. Работы были выполнены в соответствии с ГОСТ 17.4.4.02-84. Масса каждой объединенной пробы составляла не менее 2 кг.

Точки отбора проб 2019 года, нанесенные на карту почв и карту полей исследуемой территории показаны на рисунках 5 и 6. Видно, что сетка отбора проб распределена по территории достаточно равномерно. На рисунке 5 почвенная карта разбита на равные квадраты, видно, что абсолютное большинство квадратов содержит от 1 до 4 точек отбора. Отсутствие точек отбора в некоторых квадратах обусловлено тем, что отбор проб не производился на землях лесного фонда (отмечены на почвенной карте как ГЛФ) и на землях поселений (Яковлевка, Кузьминки, Курцы, Орловка,

Пашково). Также следует учитывать, что на момент отбора проб поля были заняты сельскохозяйственной растительностью и при отборе нужно было минимизировать ущерб, причиняемый посевам как в ходе непосредственно отбора, так и при движении экспедиционной группы между точками.

Всего было отобрано 104 почвенных образца, что с учетом достаточно высокой однородности исследуемой территории позволяет выполнить работу по установлению эталонов почв на землях сельскохозяйственного назначения. Количество отобранных и проанализированных проб (как в абсолютных значениях, так и на 1 га) превышает число проб, отобранных во всех предыдущих обследованиях, проводившихся на данной территории и доступных диссертанту. Схемы точек пробоотбора на почвенной карте и карте полей исследуемой территории приведены на рисунках 9 и 10.

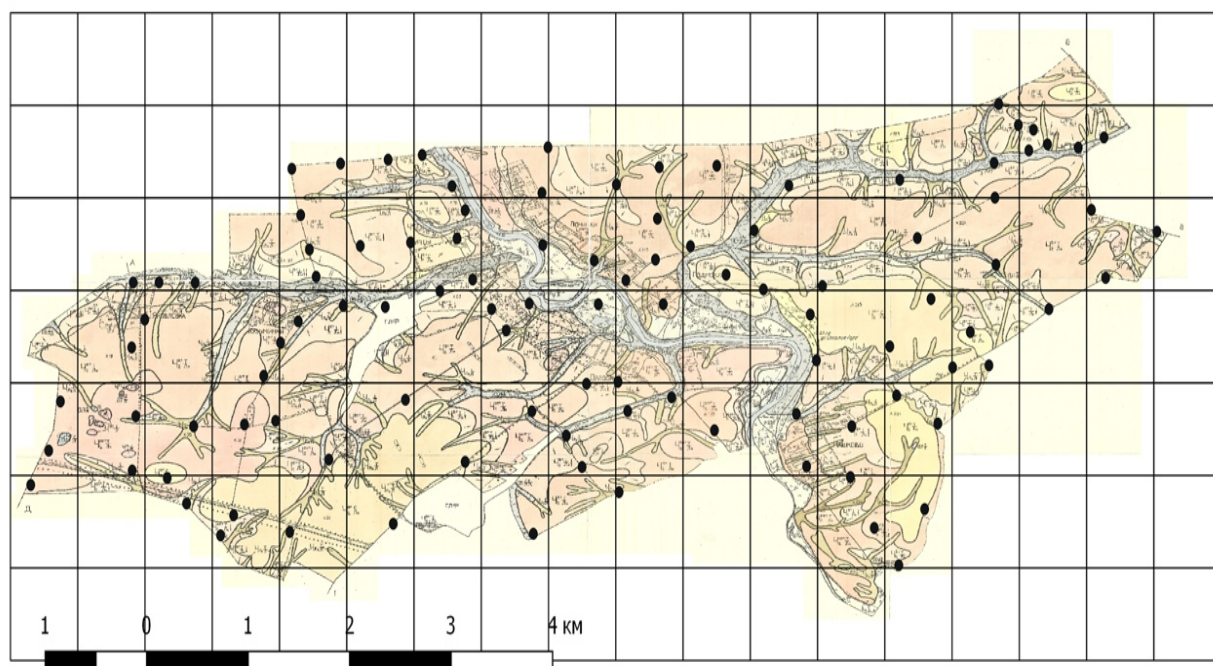


Рисунок 9. Схема точек пробоотбора на почвенной карте совхоза «Тихий Дон»

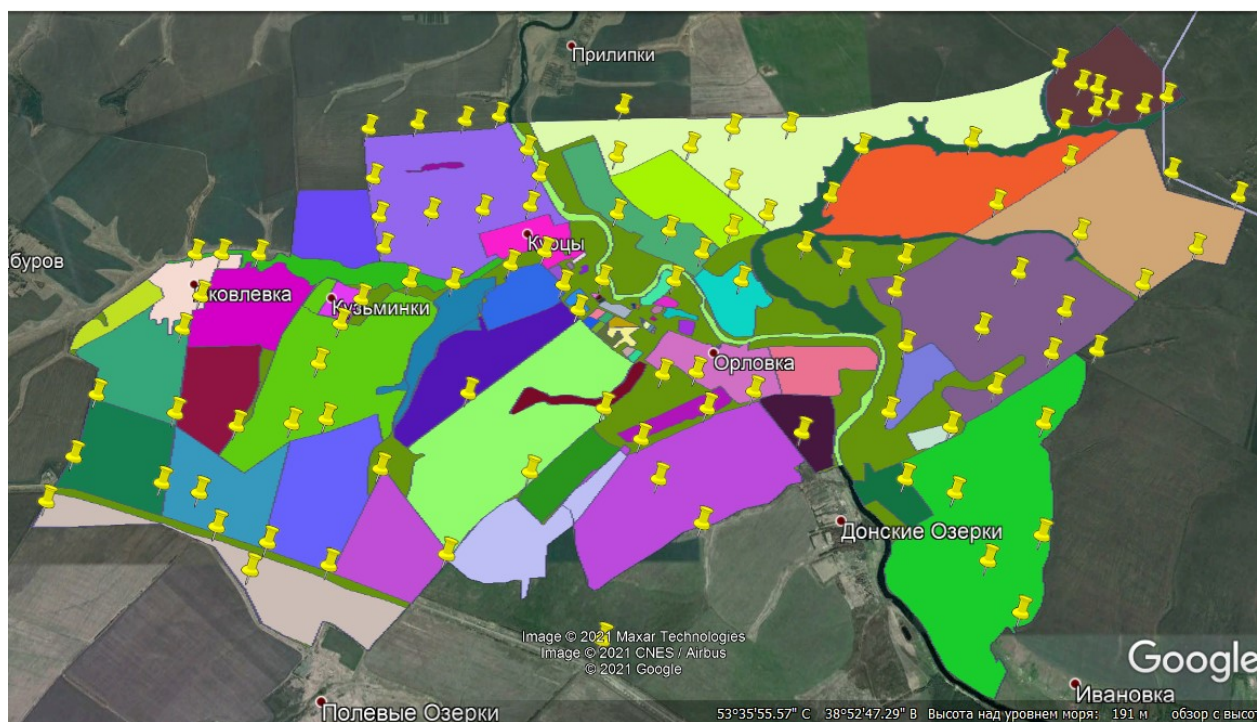


Рисунок 10. Схема точек пробоотбора на карте полей территории бывшего совхоза «Тихий Дон»

2.3. Методы химического анализа

Выбор показателей для проведения химических испытаний образцов обусловлен «Порядком государственного учета показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения», утвержденном Приказом Минсельхоза от 04.05.2010 №150 (с учетом редакции введенной в действие с 5 января 2021 года приказом Минсельхоза России от 2 декабря 2020 года N 729).

К основным химическим показателям относятся:

- содержание органического вещества в пахотном горизонте, %;
- кислотность-щелочность (pH);
- гидролитическая кислотность, мг.экв./100 г почвы, для почв с $pH < 5,5$;
- содержание подвижного фосфора, мг/кг почвы;
- содержание обменного калия, мг/кг почвы;
- содержание минеральных форм азота, мг/кг почвы;
- содержание макро- и микроэлементов (Ca, Mg, Zn, Cu, Mo, S, B, Mn, Co), мг/кг почвы;

Определение значений pH в солевой вытяжке (ГОСТ 26483-85) проводились на потенциометре Hanna pH 211. На аналитических весах брали навеску почвы массой 4 г. и пересыпали в коническую колбу на 250 мл. Приливали цилиндром 100 мл экстрагирующего раствора – 1 н. раствора хлористого кальция. Почвы с раствором перемешивали в течение 1 мин. на ротаторе и затем производили измерение pH.

Содержание органического углерода по методу Тюрина в модификации Никитина (ГОСТ 26213-91). Данный метод основан на окислении органического вещества раствором двуххромовокислого калия в серной кислоте и последующем определении трехвалентного хрома,

эквивалентного содержанию органического вещества, на фотоэлектроколориметре.

Определение валового содержания тяжелых металлов проводилось в аккредитованной лаборатории методом атомно-адсорбционной спектрометрии («Руководство по санитарно-химическому исследованию почвы», 1993).

Пробы разлагались в смеси хлористоводородной и азотной кислот в соотношении 1:3 («царская водка»). Для разложения использовалась микроволновая печь Milestone Ethos D.96. Определение концентрации тяжёлых металлов проводилось на масс-спектрометре с индуктивно-связанной плазмой Agilent ICP-MS 7500 (ФР.1.29.2006.02149).

Химические испытания, проведенные в 2015 и 2019 годах, выполнялись идентичными методами.

Согласно архивным данным, в 2014 году лабораторные анализы проводились методами, рекомендуемыми для Нечернозёмной зоны (перечень методов не приводится). В 1992 году использовались следующие методы: pH электрометрически, гидролитическая кислотность по Каппену, сумма поглощенных оснований (S) по Каппену, подвижный фосфор по Кирсанову, обменный калий по Бровкиной, гумус по Тюрину.

2.4. Методы установления региональных эталонов почв

2.4.1. Картографические методы

Построение картограмм различных свойств почв проводилось с использованием программ QGis 3.10.14, Google EarthPro, SASplaneta. Исходными данными послужили оцифрованная почвенная карта совхоза «Тихий Дон» 1992 года и синтезы на основе космических снимков.

Для определения ареалов распространения почв, которые могут рассматриваться в качестве эталонных, в программе QGis3.10.14 была создана таблица атрибутов, содержащая информацию о координатах точек пробоотбора и результатах химических испытаний, характеризующих исследованные образцы. Сначала методом обратно взвешенных расстояний строилась растровая поверхность, характеризующая то или иное почвенное свойство. Затем строилось псевдоцветное изображение, цвета на котором соответствовали разной степени обеспеченности почв. Растровое изображение переводилось в векторную форму с помощью инструментов оцифровки.

Далее была определена площадь ареалов с различной степенью обеспеченности. Ареалам на картограммах в соответствии с таблицей 3 были присвоены баллы от 1 до 6, чем выше обеспеченность, тем выше балл.

5 картограмм (значений pH, содержания гумуса, содержания азота, подвижного фосфора и обменного калия) были объединены в одну общую картограмму. Были получены контура, характеризующиеся различными оценками степени обеспеченности. Все оценки степени обеспеченности были суммированы, получен общий балл обеспеченности, на основе которого проводилась интегральная оценка обеспеченности почв.

По содержанию гумуса почвы были разделены на малогумусные (3-5%), среднегумусные (5-7%), многогумусные (7-9%), тучные (более 9%).

Таблица 3. Классификация почв по обеспеченности питательными элементами (мг/кг) и кислотности

№	Степень обеспеченности	Подвижный фосфор	Обменный калий	Азот	pH
1	Очень низкая	<25	40	<30	–
2	Низкая	25-50	41-80	31-40	–
3*	Средняя	51-100	81-120	41-60	4,6-5,0
4**	Повышенная	101-150	121-170	61-80	5,1-5,5
5***	Высокая	151-250	171-250	81-120	5,6-6,0
6	Очень высокая	251-400	>250	>120	>6

* Средняя обеспеченность для зерновых, зернобобовых, однолетних и многолетних трав.

** Средняя обеспеченность для пропашных культур.

*** Средняя обеспеченность для овощных, а по фосфору и для технических культур.

Разбиение значений интегрального индекса обеспеченности на три группы проводится следующим образом: если все исследуемые показатели имеют степень обеспеченности от средней и ниже, но суммарное значение интегрального индекса не может превышать 15 баллов.

Повышенная степень обеспеченности для 5-и исследуемых показателей дает степень обеспеченности в 20 баллов. Дальнейшее увеличение значений интегрального показателя возможно только за счет наличия высокой и очень высокой степени обеспеченности почв элементами питания. Максимально возможное значение интегрального индекса – 26 баллов.

Таким образом, предложенный индекс позволяет перейти от обеспеченности конкретными элементами питания, содержания гумуса и значения pH к интегральному индексу обеспеченности, имеющему следующие диапазоны: Низкая обеспеченность (9-15 баллов); Средняя обеспеченность (15-20 баллов); Высокая обеспеченность (20-26 баллов).

2.4.2. Метод главных компонент

Для наглядности рассмотрим применением метода главных компонент на примере данных почвенного обследования 1992 года.

По своей математической сути метод главных компонент (ГК) позволяет уменьшить число переменных, выбрав самые изменчивые из них, и перейти к новым переменным. Метод позволяет перейти от реальной системы координат (например, a_1, a_2, \dots, a_i) к новой системе координат (b_1, b_2, \dots, b_i). Новые координаты называются главными компонентами. Новые координаты выбираются так, чтобы главная компонента имела максимальную дисперсию. Следующая главная компонента выбирается так, чтобы она имела максимальную дисперсию из всех оставшихся компонент и т.д. (Мешалкина, Самсонова, 2008).

Сумма квадратов весов любой ГК должна равняться единице.

Особенность метода заключается в том, что новые переменные не коррелированы между собой (хотя исходные переменные могут быть коррелированы).

По мнению В.А. Рожкова данный метод может использоваться для целей классификации почв. Опытным путем установлено, что «если первые две компоненты описывают около 70% варьирования, разделение объектов на группы будет достаточно выраженным» (Рожков, 2013).

Рассмотрим возможность применения метода главных компонент на конкретном примере.

Исходные данные о почвенных свойствах взяты из очерка почвы совхоза «Тихий Дон» Куркинского района, Тульской области.

На данной территории выделяются дерновые почвы, черноземы оподзоленные, черноземы выщелоченные, аллювиальные и луговые почвы.

Группирующей переменной являлось название почвы, а признаками, по которым проводился анализ, были: реакция среды (pH), гидролитическая

кислотность (Н), сумма поглощенных оснований, степень насыщенности оснований (V), подвижный фосфор (P_2O_5), обменный калий (K_2O), гумус. Поскольку мониторинг почв чаще всего проводится только для толщи глубиной 0-20 см были взяты результаты, характеризующие поверхностный горизонт А или $A_{пах}$.

Несмотря на то что степень насыщенности оснований рассчитывается по данным значений гидролитической кислотности и суммы поглощённых оснований мы можем использовать её как отдельную переменную поскольку метод позволяет работать с коррелируемыми переменными.

Первые две компоненты описывают 67% варьирования. Для того, чтобы определить число главных компонент, необходимо построить «График каменистой осыпи» (рисунок 11). Искомое число главных компонент определятся по точке, в которой график теряет свою кривизну и выходит на примерно постоянный уровень. В рассматриваемом случае максимальное различие наблюдается между первой и второй главной компонентой.

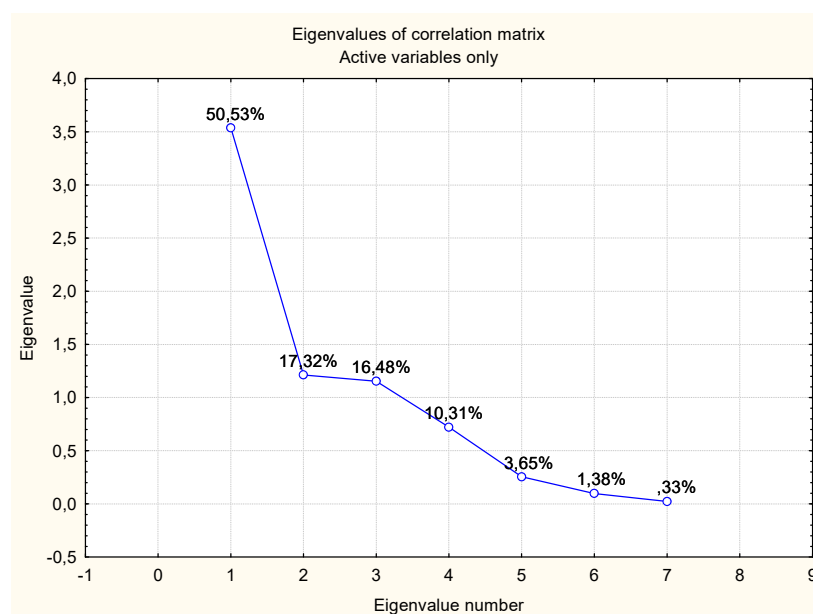


Рисунок 11. График каменистой осыпи

На рисунке 12 показана проекция переменных на ось главных компонент. Чем ближе переменная расположена к красной окружности, тем лучше она воспроизводится в данной системе координат. Видно, что хуже

система координат учитывает содержание подвижного фосфора и обменного калия.

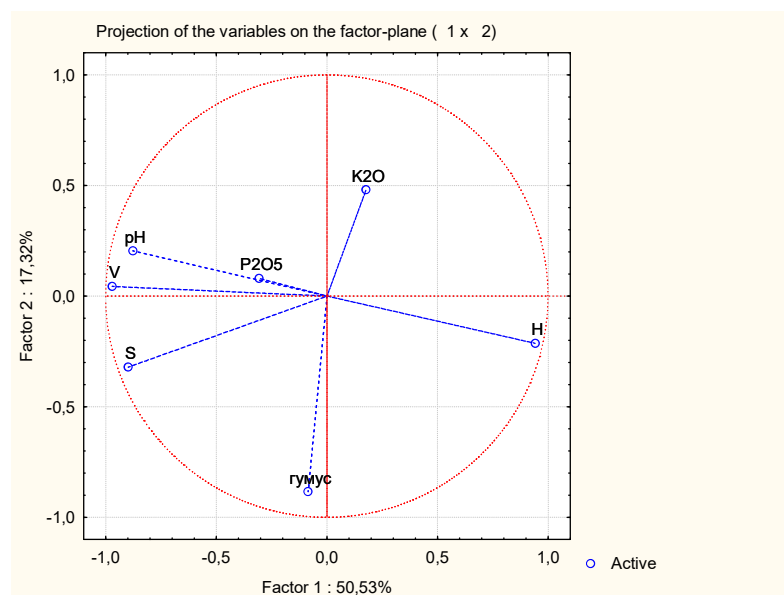


Рисунок 12. Проекция переменных на факторную плоскость

На рисунке 13 показана проекция наблюдений на факторную плоскость.

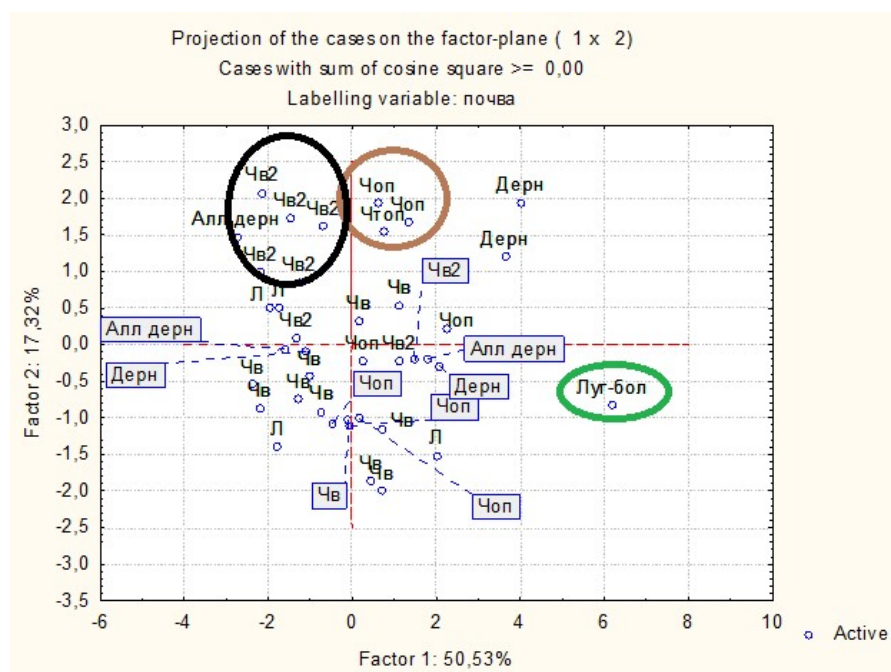


Рисунок 13. Проекция изучаемых почв на факторную плоскость

Видно, что лугово-болотная (Луг-бол) почва находится на некотором удалении от остальных почв. Черноземы, выщелоченные малогумусные

(Чв2) и черноземы оподзоленные (Чоп) расположены в верхней части графика, а черноземы выщелоченные ЧВ, тяготеют к центру графика.

Для практической реализации данного подхода требуется намного большее количество данных. В данном случае показана возможность применения метода главных компонент для решения задачи выбора эталонов сравнения в почвенном мониторинге.

2.4.3 Методы логико-математического моделирования региональных эталонов почв

Выделение центральных образов в качестве эталонов для анализа результатов мониторинга почв заключается в определении специфичных состояний свойств почв для каждой исследуемой таксономической группы. Их совокупность является виртуальным (центральным) образом определенного таксономического типа (подтипа) для данного региона (региональный эталон).

В основе этого подхода лежит утверждение, что «специфичные состояния свойств почв определяют классификационные границы между подтипами» (Пивоварова, Вепрынцева, 2018).

Для того чтобы определить, как классификационные границы связаны с тем или иным почвенным свойством «необходимо рассчитать коэффициент передачи информации (Кэфф), отражающий степень связи между фактором и явлением. По величине Кэфф можно установить таксономический вес каждого признака. Для каждого центрального образа (таксона) можно рассчитать специфичные (наиболее вероятные) состояния признаков (генетически обусловленных свойств почв). По набору этих параметров дается количественная характеристика таксона (типа, подтипа, рода) почв исследуемой территории» (Кононцева и др., 2018).

Методологическая основа применения Кэфф в почвоведении заложена в работе Ю.Г Пузаченко (1970). Кэфф вычисляется по формуле (1)

$$\text{Кэфф}(A,B) = \frac{T(A,B)}{H(B)} \quad (1)$$

где:

В – передатчик информации (свойство почвы);

А – приемник информации (таксономическая характеристика);

$T(A, B)$ – сумма произведений вероятности ранга v_j на количество информации, содержащееся в этом ранге;

$H(B)$ – количественная оценка величины неопределенности.

$T(A, B)$ должно отвечать условию 2:

$$T(A, B) \leq (H(A) + H(B)) (2)$$

$T(A, B)$ находится по формуле 3:

$$T(A, B) = \sum p(v_i) I(A/v_i) (3)$$

Где:

$p(v_i)$ – вероятность ранга v_j

$I(A/v_i)$ – количество информации, содержащееся в этом ранге

$I(A/v_i)$ находится по формуле 4

$$I\left(\frac{A}{b_i}\right) = H(A) - H\left(\frac{A}{b_i}\right) (4)$$

где:

$H(A)$, $H\left(\frac{A}{b_i}\right)$ – количественная оценка величины неопределенности

$H(A)$ рассчитывается по формуле (5), аналогично $H\left(\frac{A}{b_i}\right)$ рассчитывается по формуле (6)

$$H(A) = \sum p(a_i) \log_2 p(a_i) (5)$$

$$H\left(\frac{A}{b_i}\right) = \sum p(a_i/b_j) \log_2 p(a_i/b_j) (6)$$

где:

$p\left(\frac{a_i}{b_j}\right)$ – вероятность ранга $a_1 a_2 a_3 \dots a_i$ в каждом ранге B

и $p(a_i)$ – вероятность наступления события a_i

Таким образом, неопределенность появления разных значений признака равна сумме произведений вероятности появления каждого ранга $p(a_i)$ на двоичный логарифм этой вероятности. В случае если состояния данного свойства равновероятны, достигается максимальное значение неопределенности.

В зависимости от своей информативности показатели агрегируются в модель почвенного плодородия для конкретного таксона.

В работе Е.В. Кононцевой и др. (2018) приведены значения Кэфф различных почвенных свойств для 4-го почвенного района черноземов южных малогумусных маломощных с солонцовыми комплексами по ложинам и логом. Значения приведены в таблице 4.

Таблица 4. – Коэффициент эффективности передачи информации между свойствами почв и таксономическими единицами классификации почв

Свойство	Мощность, А+АВ, см	Гумус, %	рНв	S	Ca	Mg	P2O5	K2O	Азот вал., %
				мг-экв/100 г					
(Кэфф)	0,2542	0,1174	0,1106	0,0503	0,0731	0,0841	0,1274	0,160	0,0888

Наиболее высокий коэффициент передачи информации имеет мощность гумусовых горизонтов и содержание гумуса, оксидов фосфора и калия. У концентраций других химических веществ Кэфф значительно ниже.

Нелинейное произведение $A=B \boxtimes C$ характеризует значение функции как среднеарифметическое из суммы аргументов. При решении данной функции есть неопределенность в области средних значений.

В работе Е.Г. Пивоваровой, К.С. Вепрынцевой (2018) представлены следующие модели различных почв:

Модель типичных и выщелоченных тучных чернозёмы подгорных равнин 30-й почвенный район

$$ТП^{1977} = Ил^A \boxtimes ФГ^A \boxtimes K_2O^{AB} \boxtimes (ФГ^{AB} \boxtimes ИЛ^{AB} \boxtimes P_2O_5^A \boxtimes (Г^A S^{AB} M))$$

Модель карбонатных черноземов выщелоченных, горных черноземов и слаборазвитых почв низкогорий 33-й почвенный район

$$ТП^{1977} = pH^{AB} \boxtimes pH^A \boxtimes (ФГ^{AB} \boxtimes ИЛ^{AB} \boxtimes ФГ^A \boxtimes ИЛ^A (S^{AB} \boxtimes K_2O^{AB} \boxtimes M))$$

Модель типичных тучных мощных черноземов увалисто-сопочных предгорий 31-й почвенный район:

$$ТП^{1977} = K_2O^{AB} \boxtimes M \boxtimes (P_2O_5^{AB} \boxtimes K_2O^A \boxtimes Г^{AB} \boxtimes P_2O_5^A)$$

В работе Е.В. Кононцевой, Ж.Г. Хлуденцова (2018) представлена модель агрочернозема текстурно-карбонатного средне и сильно гумусированного мало и среднемощного

$$ТП = M \boxtimes (pH^{PU} P_2O_5^{AU} S^{AU} \vee (P_2O_5^{AU} \boxtimes K_2O^{AU} \boxtimes N_B^{AU}))$$

«Примечание. ТП – ранг типа почвы по классификации; S, Г, pH_в, M, K₂O, P₂O₅, N_в, Ил, ФГ, Нг – ранг типа (подтипа) почвы в зависимости от содержания суммы поглощенных оснований, содержания гумуса, реакции водной вытяжки, мощности гумусового горизонта, подвижного калия, подвижного фосфора, валового азота, илистой фракции, физической глины, гидролитической кислотности, соответственно; A, AB – наименование горизонта по классификации 1977 г. PU, AU – наименование горизонта по классификации 2004 г.; \boxtimes – знак логической функции нелинейного произведения» (Пивоварова и др., 2019).

Согласно литературным данным, прогностическая способность моделей составляет от 40 до 80%, а с ошибкой в 1 ранг от 70 до 100%.

Таким образом, предложенные подходы могут эффективно применяться для установления «центральных образов», нахождение которых позволит количественно описать свойства эталонной почвы.

2.4.4 Макрокинетическая модель отклика индекса NDVI на оптимальные концентрации элементов питания

В прошлом данные дистанционного зондирования практически не использовались для установления почвенных эталонов. Исследователи отмечали возможность применения космических снимков при изучении и картографировании на основе системы каталогов почвенных эталонов (Намозов и др., 2015), но эта задача не была решена на практике.

В 80-х – 90-х годах XX века модели эталонов почв строили на поисках зависимости между урожайностью и свойствами почв контрольной площадки. Современные технологии позволяют оценивать оптимальность значений показателей плодородия по отклику NDVI.

Среди преимуществ такого подхода следует отметить большую точность, лучшее разрешение снимков. Более высокую точность координат, полученную с помощью GPS приёмников. В конце прошлого века постановка точек отбора на карты при проведении почвенного обследования проводилась без использования геодезической аппаратуры.

Также современные методы дают возможность поиска взаимосвязей на разных фазах вегетации растений, а не только после уборки урожая.

Для оценки степени деградации почв применяют «сравнительный или относительный показатель, характеризующий отличия свойства относительно некоторого оптимального «эталонного» состояния, соответствующего нулевому уровню потери природно-хозяйственной значимости земель» (Методические рекомендации, 1996).

Ранее в работе было рассмотрено сложившееся в почвоведении и агрохимии понятие об оптимальных концентрациях элементов питания, обеспечивающих наибольший урожай.

Чаще всего в качестве отклика растений на различные элементы питания используют урожай или биомассу. Это характерно для вегетационных и мелкоделяночных опытов.

В данном исследовании помимо отклика растений в виде урожайности предложено оценивать отклик растений, выражающийся в значениях индекса NDVI.

Методической проблемой такого подхода является возможное засорение полей, при котором откликом NDVI становится не отклик культурных растений, а совокупность отклика культурных растений и сорной растительности.

Как показывают результаты работ, в которых применялась данная модель, она успешно описывает отклик как естественной растительности биоценоза, так и отклик природных сообществ подверженных антропогенному воздействию, и содержащих в том числе сорную растительность.

Согласно данным полевых обследований, содержащихся в карточке муниципального района Куркинский подготовленной Плавским ЦХСР доля засоренных полей в районе, составляет 2,97% от общей площади. При визуальном осмотре полей засоренности, способной исказить результаты оценки, выявлено не было.

Следующей методологической проблемой является то, что разные сельскохозяйственные культуры имеют разную потребность в элементах питания, поэтому установление эталона почв по отклику растительности становится затруднительным.

Для решения этой проблемы необходимо рассмотреть структуру посевных площадей территории, для которой устанавливается почвенный эталон.

В таблицах 5 и 6 приведены данные о посевных площадях сельскохозяйственных культур в Куркинском районе за последние 9 лет.

Таблица 5. Посевные площади сельскохозяйственных культур в Куркинском районе Тульской области, гектар

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Вся посевная площадь	36410	32762	36805	59579	38117	42293	44021,6	46803,6	48569
Зерновые и зернобобовые культуры (всего)	30079	26949	25109	49249	29848	31524	32675,6	35092	38541
Пшеница озимая	15489	14927	10339	22652	15663	14145	16750,6	17342	21014
Рожь озимая	220	—	—	—	—	—	—	—	—
Пшеница яровая	1490	1694	1799	8389	3044	3794	3160	4968	7208
Ячмень яровой	11735	9592	11756	14938	8771	9404	10934	10733	8362
Овес	600	538	545	381	377	650	362	559	459
Кукуруза на зерно	—	—	50	—	—	—	—	—	—
Просо	—	—	—	100	150	120	120	—	—
Гречиха	545	—	290	1083	405	2079	409	—	—
Горох	—	198	295	1306	1438	1332	720	777	700
Технические культуры - всего	3160	2951	9439	7624	6351	9078	9741	10524,6	8597
Подсолнечник на зерно	397	300	500	652	191	1307	711	1959	683
Соя	1006	50	816	2013	3600	3086	4393	4327	3739
Горчица	—	—	128	—	—	10	85	130	—
Рапс яровой (кольза)	1757	2601	7365	3956	2222	4216	3645	3183,6	3163
Сахарная свекла	—	—	630	1003	338	459	907	925	1012
Кормовые культуры - всего	3171	2862	2257	2706	1918	1691	1605	1187	1431
Кукуруза на корм (силос, зеленый корм и сенаж)	467	378	356	606	400	391	314	447	319
Однолетние травы	1594	1374	1177	974	962	821	912	321	583
Многолетние беспокровные травы посева текущего года			44		67	133	100	40	150

Таблица 6. Посевные площади сельскохозяйственных культур в Куркинском районе Тульской области, %

	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Зерновые и зернобобовые культуры (всего)	82,6%	82,3%	68,2%	82,7%	78,3%	74,5%	74,2%	75,0%	79,4%
Пшеница озимая	42,5%	45,6%	28,1%	38,0%	41,1%	33,4%	38,1%	37,1%	43,3%
Рожь озимая	0,6%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Пшеница яровая	4,1%	5,2%	4,9%	14,1%	8,0%	9,0%	7,2%	10,6%	14,8%
Ячмень яровой	32,2%	29,3%	31,9%	25,1%	23,0%	22,2%	24,8%	22,9%	17,2%
Овес	1,6%	1,6%	1,5%	0,6%	1,0%	1,5%	0,8%	1,2%	0,9%
Кукуруза на зерно	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%
Просо	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,4%	0,3%	0,3%	0,0%	0,0%
Гречиха	1,5%	0,0%	0,8%	1,8%	1,1%	4,9%	0,9%	0,0%	0,0%
Горох	0,0%	0,6%	0,8%	2,2%	3,8%	3,1%	1,6%	1,7%	1,4%
Технические культуры - всего	8,7%	9,0%	25,6%	12,8%	16,7%	21,5%	22,1%	22,5%	17,7%
Подсолнечник на зерно	1,1%	0,9%	1,4%	1,1%	0,5%	3,1%	1,6%	4,2%	1,4%
Соя	2,8%	0,2%	2,2%	3,4%	9,4%	7,3%	10,0%	9,2%	7,7%
Горчица	0,0%	0,0%	0,3%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,3%	0,0%
Рапс яровой (кольза)	4,8%	7,9%	20,0%	6,6%	5,8%	10,0%	8,3%	6,8%	6,5%
Сахарная свекла	0,0%	0,0%	1,7%	1,7%	0,9%	1,1%	2,1%	2,0%	2,1%
Кормовые культуры - всего	8,7%	8,7%	6,1%	4,5%	5,0%	4,0%	3,6%	2,5%	2,9%
Кукуруза на корм (силос, зеленый корм и сенаж)	1,3%	1,2%	1,0%	1,0%	1,0%	0,9%	0,7%	1,0%	0,7%
Однолетние травы	4,4%	4,2%	3,2%	1,6%	2,5%	1,9%	2,1%	0,7%	1,2%
Многолетние беспокровные травы посева текущего года	0,0%	0,0%	0,1%	0,0%	0,2%	0,3%	0,2%	0,1%	0,3%

В среднем 50% пашни ежегодно занято под пшеницу (озимую и яровую). 77% площади в среднем ежегодно занимают зерновые культуры.

Таким образом, с учетом сложившейся в районе системы землепользования, обоснованным является установление эталонов почв для преобладающих культур – зерновых.

На момент проведения обследования на полях исследуемой территории бывшего совхоза «Тихий Дон» произрастали: озимая пшеница, яровая пшеница, соя, подсолнечник.

Материалы дистанционного зондирования в форме NDVI для однородных во всех отношениях (кроме химического состава почвы) площадок пробоотбора, анализировали с использованием макрокинетической модели:

$$q = \Lambda c^{-B} \exp\left(\frac{K}{c}\right). \quad (1)$$

где:

Λ – масштабирующий коэффициент;

K – коэффициент, характеризующий интенсивность возрастания фотосинтетически активной биомассы (NDVI) в ответ на рост показателя концентрации, c (мг/кг),

B – коэффициент, характеризующий интенсивность убывания фотосинтетически активной биомассы.

В качестве оценки расчетного максимума NDVI использовали максимальные за вегетационный сезон наблюдаемые значения по материалам Sentinel-2 от 13.06.2019 г. из источника BEGA-Science.

Для нахождения значений коэффициентов уравнения был применен метод наименьших квадратов. Практически он реализуется с помощью специального алгоритма, написанного на языке программирования Python 3, с применением библиотек SciPy, NumPy, Pyeq3 и Matplotlib.

Чтобы продемонстрировать точность модели, на каждом рисунке приведены пунктирные линии, характеризующие область значений 95% доверительных интервалов.

С использованием пакета программ компьютерной алгебры Maxima и полученных указанным способом коэффициентов моделей и анализом производных первого, второго и третьего порядка по z и c для модели (1). Особые точки модели, которые разделяют кривые отклика на интервалы, характеризующиеся сходством макроскопической кинетики были найдены при помощи анализа коэффициентов модели, производных первого, второго и третьего порядка по z и c для модели. Для работы применялся пакет программ компьютерной алгебры Maxima. Цифровую модель рельефа построили по материалам радарной съемки SRTM с использованием QGIS 3.18.1.

Найдя константы и особые точки уравнения (1), определили оптимальные значения показателей плодородия почв, а также диапазоны их фоновых значений. Точке максимума модели c_4 соответствуют оптимальные значения показателей, а в диапазоне от c_3 до c_4 лежат фоновые значения показателей.

Глава 3. Эталонные почвы для территории бывшего совхоза «Тихий Дон»*

3.1. Эталонные почвы по картограммам обеспеченности элементами питания

В соответствии с методическими подходами, изложенными в разделе 2.4.1, для исследуемой территории были построены картограммы обеспеченности элементами питания, а также картограммы содержания гумуса и значений pH.

Картограмма содержания гумуса представлена на рисунке 14.

По содержанию гумуса на исследуемой территории преобладают среднегумусные черноземы. Ареалы малогумусных и тучных черноземов имеют очень маленькую площадь.

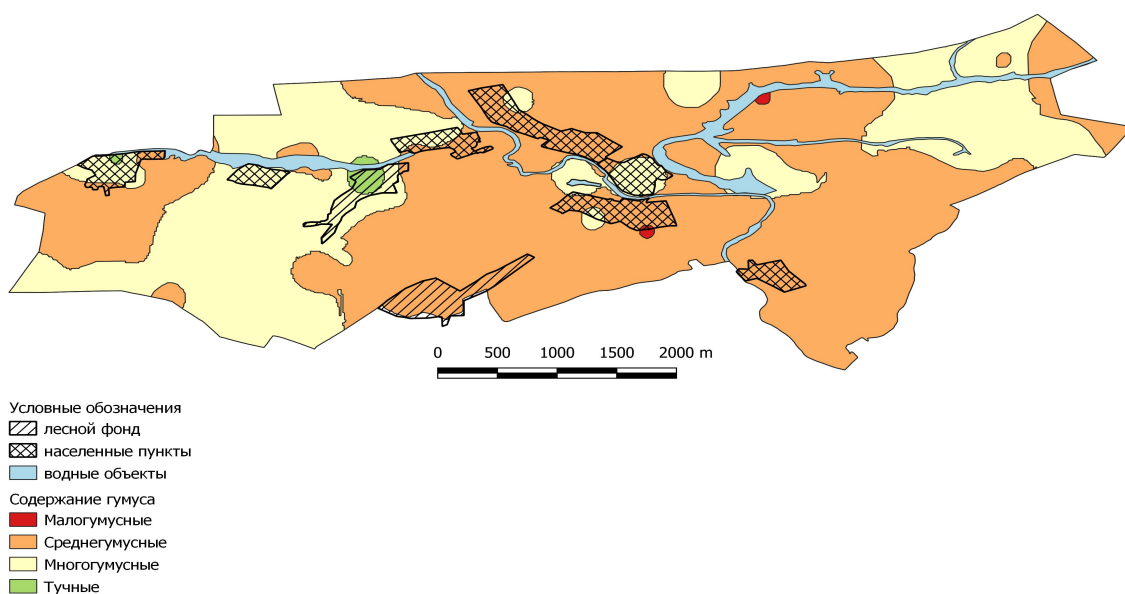


Рисунок 14. Картограмма содержания гумуса

* Основные результаты, изложенные в данной главе, опубликованы в следующих научных статьях автора:

3. **Огородников С.С.** Определение эталонных участков на землях сельскохозяйственного назначения // Агрохимический вестник. – № 6. – 2021. – с. 90-92. DOI: 10.24412/1029-2551-2021-6-018 (Двухлетний импакт-фактор РИНЦ 2020: 0,475. 0,3 п.л.)

4. **Огородников С.С.** Яковлев А.С., Евдокимова М.В. Определение эталонных значений показателей почвенного плодородия на основе зависимости «доза-эффект» // Плодородие. – № 6. – 2021. – с. 6-9. DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.02 (Двухлетний импакт-фактор РИНЦ 2020: 0,688. 0,4 п.л.)

На западе исследуемой территории выделен крупный участок с содержанием гумуса 7-9%. Большая часть территории характеризуется содержанием гумуса 5-7%.

Картограмма распределения показателей рН представлена на рисунке 15. Более половины исследуемой территории (51%) характеризуется значением рН больше 6. Примерно одинаковую площадь занимают почвы со значением рН в интервалах 5.1 – 5.5 и 5.5 – 6.0 (по 24%).

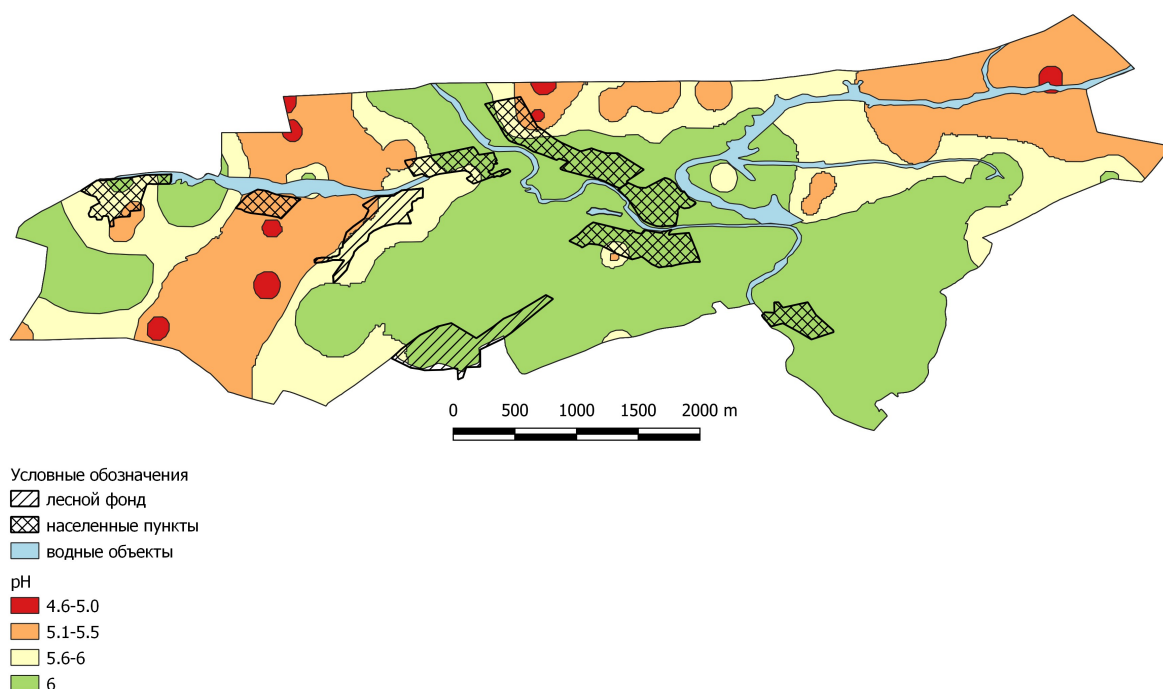


Рисунок 15. Картограмма распределения показателей рН

Видна закономерность, что в ареалах, почвы которых характеризуются как многогумусные (ареалы в западной и северо-восточной частях картограммы, содержание гумуса 7-9%) значения рН (4,6-5,5) ниже, чем на большей части исследуемой территории (6,0).

Данная закономерность может быть объяснена тем, что почвы со значительным содержанием гумуса являются более кислыми, поскольку хуже связывают кальций.

Картограмма обеспеченности исследуемой территории азотом представлена на рисунке 16.

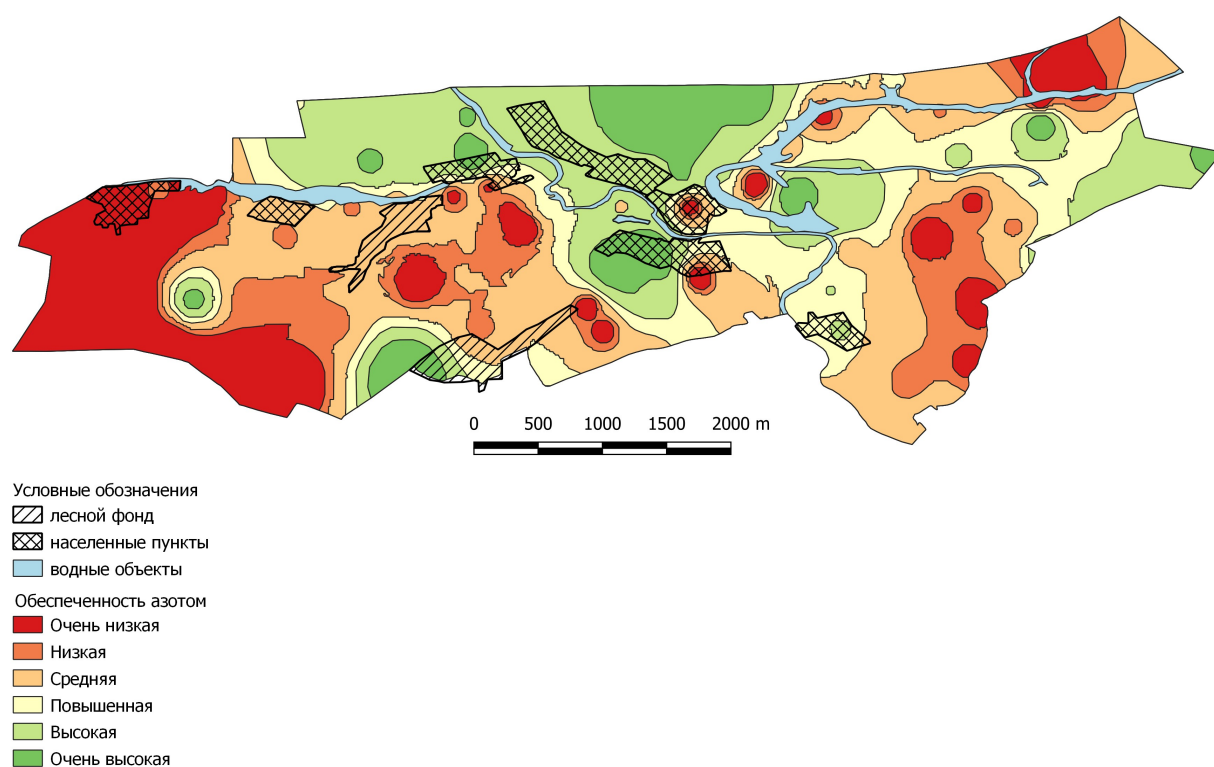


Рисунок 16. Картограмма обеспеченности исследуемой территории азотом

Наблюдается высокая неоднородность исследуемой территории по содержанию азота. Наибольшую площадь занимают территории со средним (25%) и высоким (21%) содержанием азота. Примерно одинаковую площадь занимают территории с очень низким и повышенным содержанием азота (16% и 17% соответственно). Очень низким содержанием азота характеризуется 15% исследуемой территории, а очень высоким всего 6%.

Ареал с самым низким содержанием азота расположен на западе исследуемой территории. Участки с высоким содержанием азота сосредоточены в центре картограммы ближе к пойме реки Дон.

Картограмма обеспеченности исследуемой территории доступными формами фосфора представлена на рисунке 17.

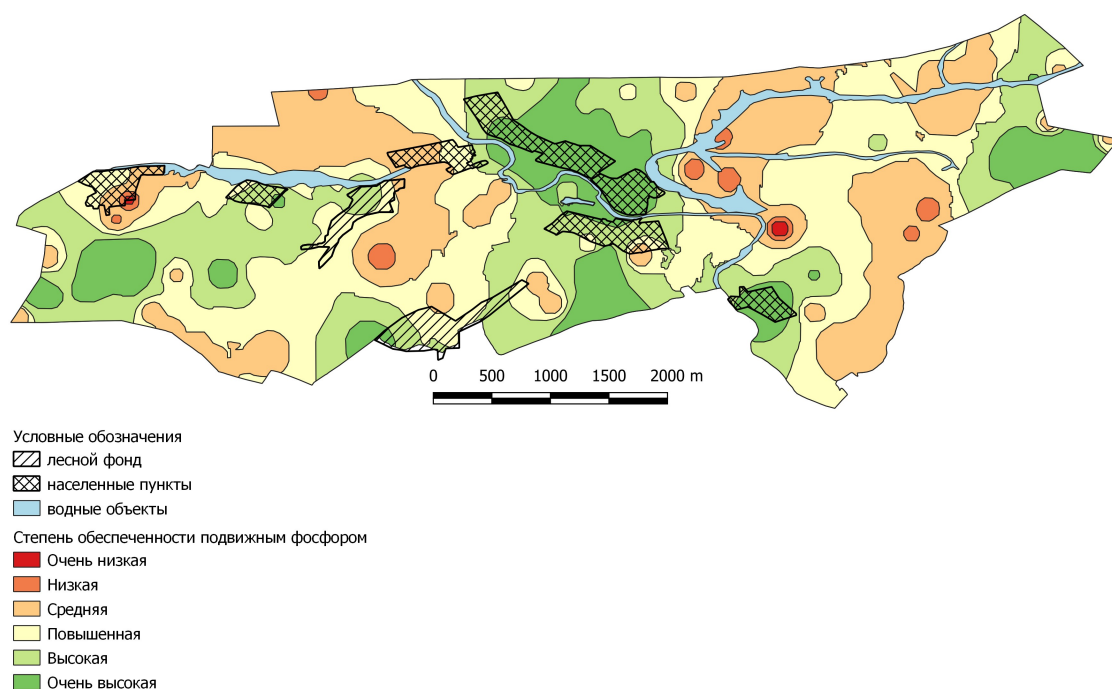


Рисунок 17. Картограмма обеспеченности исследуемой территории доступными формами фосфора

Территория бывшего совхоза «Тихий Дон» характеризуется повышенной (42%) и средней (35%) степенями обеспеченности. На ареалы с низкой и высокой степенью обеспеченности приходится 2-3% от площади.

При этом очень высокой степенью обеспеченности характеризуется 18% территории, что может говорить о нерациональном применении удобрений и зафосфачивании отдельных территорий.

Самые высокие концентрации зафиксированы в центре исследуемой территории.

Картограмма обеспеченности исследуемой территории обменным калием представлена на рисунке 18.

Исследуемая территория имеет хорошую обеспеченность калием.

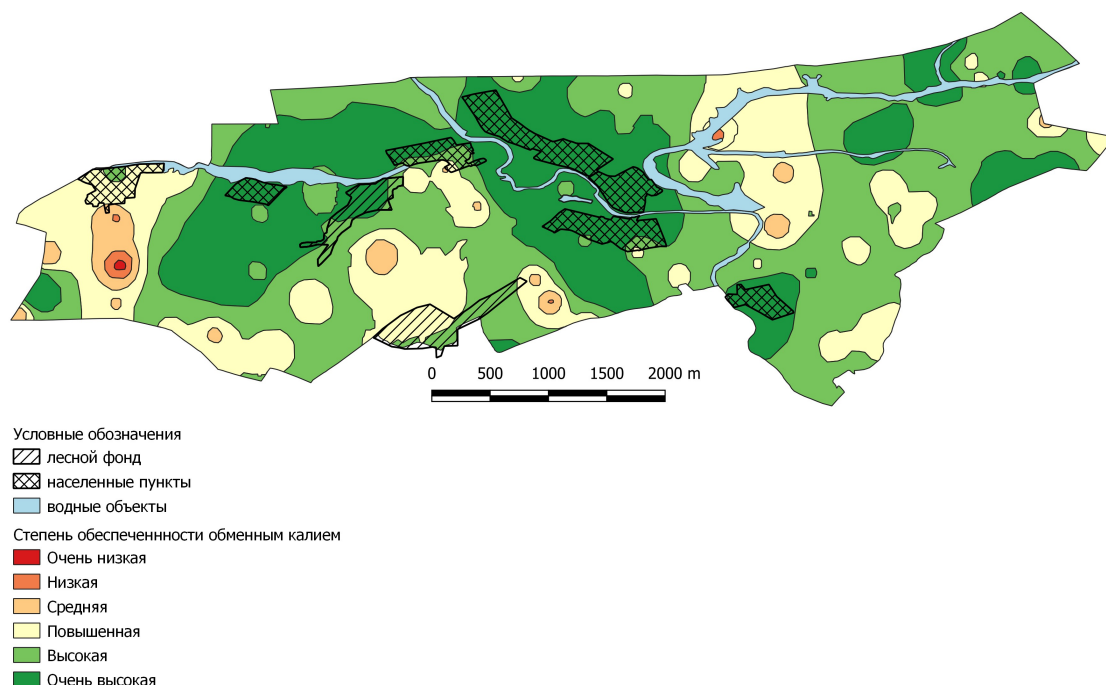


Рисунок 5.Картограмма обеспеченности исследуемой территории обменным калием

32% территории имеют очень высокую степень обеспеченности, 42% – высокую, 24% – повышенную. На остальные градации шкалы обеспеченности приходится всего 2%.

Картограмма интегрального индекса обеспеченности почв, полученная путем пересечения представленных выше картограмм, представлена на рисунке 19.

63,9% территории имеют среднюю обеспеченность по исследуемым показателям. Низкой обеспеченностью характеризуется 15,8% территории, на данных участках можно рекомендовать применение агротехнических приёмов для повышения плодородия почв. 20,3% исследуемой территории имеет высокую степень обеспеченности элементами питания и является локальным эталоном почв.

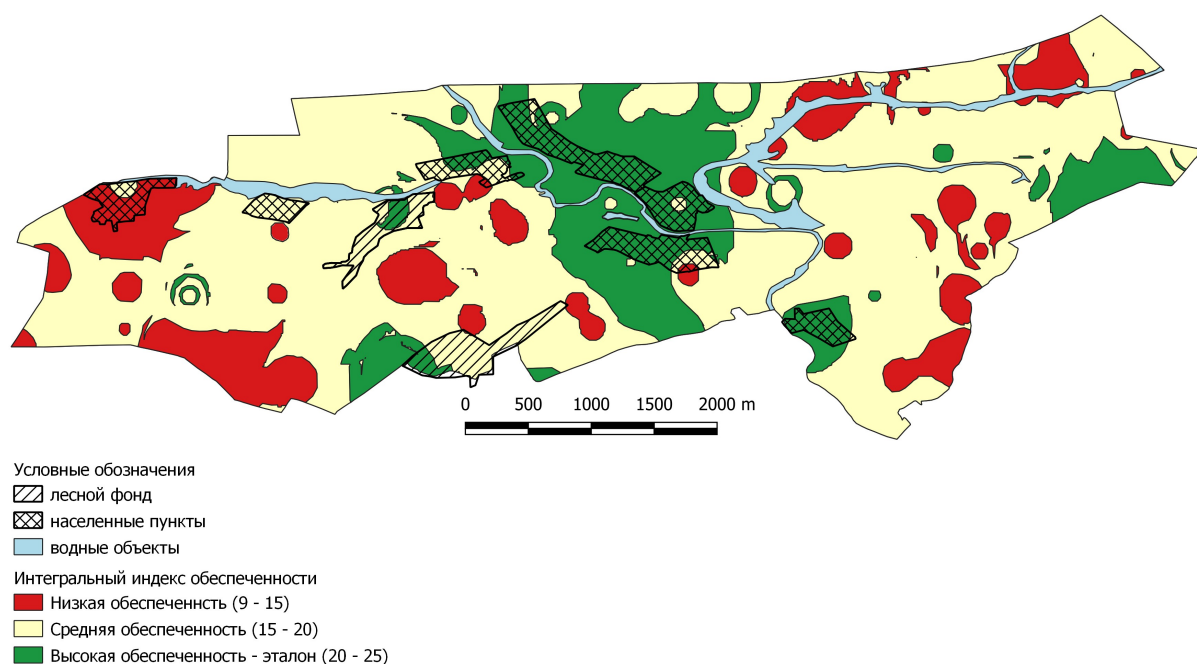


Рисунок 19. Картограмма интегрального индекса обеспеченности почв

На диаграмме распределения площади почв по баллам плодородия (рисунок 20) видно, что более 10% площади почв занимают ареалы с оценками 16-20 баллов.



Рисунок 20. Распределение площади почв по баллам плодородия

Таким образом, представленный подход позволил определить пространственное расположение почв, которые для исследуемой территории могут быть приняты в качестве эталонных.

3.2. Эталоны почв, полученные методом главных компонент

Метод главных компонент был применён к результатам обследования почв проведённом в 2019 году. Проекция переменных на факторную плоскость представлена на рисунке 21. Видно, что новая система координат учитывает все используемые переменные примерно одинаково (несколько хуже значение pH).

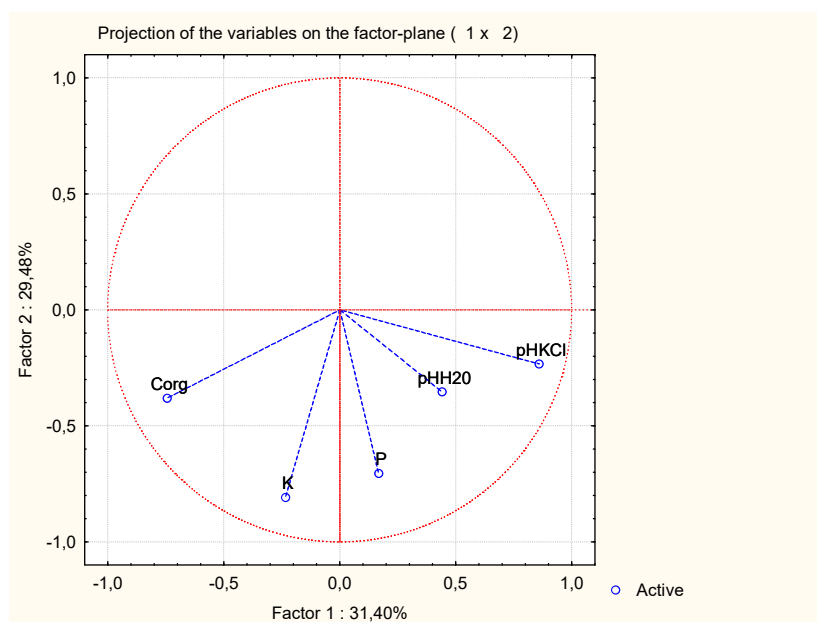


Рисунок 21. Проекция переменных на факторную плоскость

Проекция точек пробоотбора на факторную плоскость представлена на рисунке 22. Два фактора описывают 61% дисперсии. Точки на графике обозначают пробы почв, относящиеся к различным почвенным разностям. Видно, что по сравнению с данными 1992 года облако точек не дифференцировано. Восемьдесят восемь точек попали в одно общее облако на факторной плоскости (выделено красным). Двадцать две точки находятся за границами основного «облака», но при этом расположены достаточно хаотично и не образуют каких-либо малых групп. Полученные результаты показывают, что верхний горизонт почв исследуемой территории достаточно однороден по своему химическому составу.

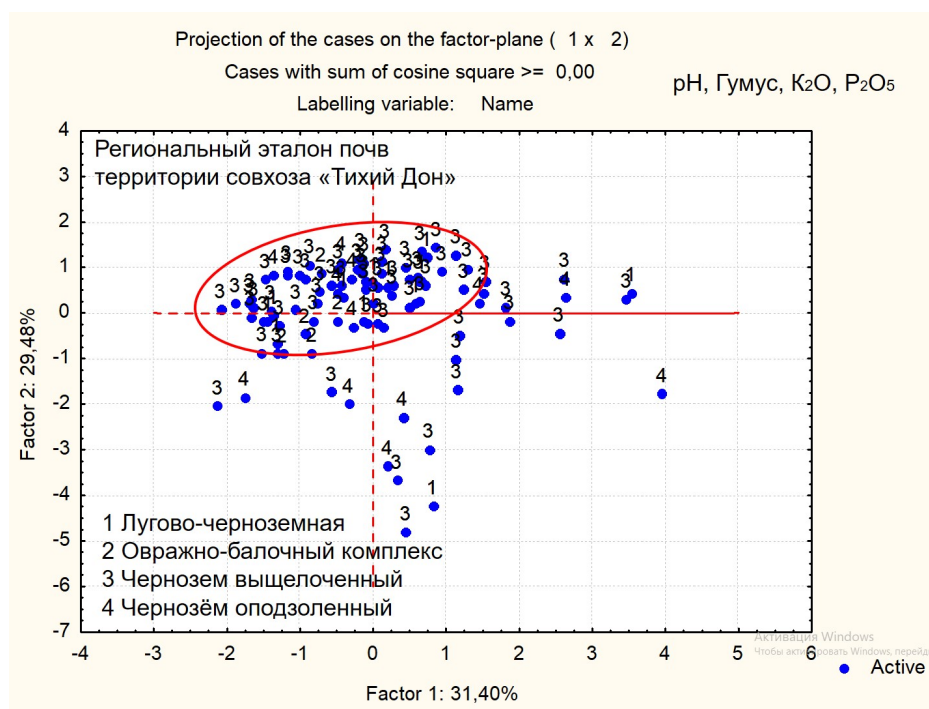


Рисунок 22. Проекция изучаемых почв на факторную плоскость

Таким образом, для целей мониторинга метод главных компонент может использоваться 2-мя способами.

1. Если по результатам измеренных характеристик новые мониторинговые точки не попадают в «облако точек» характерной для них таксономической группы, можно говорить об отклонении данной почвы от эталона.
2. Значения физических и химических характеристик почв, составляющих «облако точек» могут являться граничными значениями, с которыми должны сравниваться новые результаты мониторинга.

3.3. Логико-математические модели почвенных эталонов

Применение подходов, изложенных в разделе 2.4.3, позволило получить обобщённую формулу эталона почв исследуемой территории. Значение $K_{эфф}$ различных почвенных свойств приведены в таблице 7.

Таблица 7. Значения коэффициента передачи информации ($K_{эфф}$) и суммы произведений вероятности ранга v_j на количество информации, содержащееся в этом ранге (T)

Показатели	T	$K_{эфф}$
Рельеф	1,9028	0,8903
Cu кг/кг	0,3246	0,1803
Ca кг/кг	0,3096	0,1748
P ₂ O ₅ кг/кг	0,2923	0,1672
Mg кг/кг	0,3024	0,1598
N-NH ₄ кг/кг	0,2602	0,1563
K ₂ O кг/кг	0,2740	0,1550
Mn кг/кг	0,2693	0,1496
B кг/кг	0,2530	0,1290
гумус кг/кг	0,1895	0,1101
Zn кг/кг	0,1867	0,1070

Содержание гумуса имеет одно из самых низких значений $K_{эфф}$. Это объясняется тем, что с одной стороны, в пределах одной классификационной почвенной единицы выделяются почвы разной степени гумусированности. С другой стороны, многолетнее сельскохозяйственное освоение территории приводит к тому, что верхний почвенный горизонт ($A_{пах}$) различных почв перемешивается при распашке полей. В пределах одного поля, на котором присутствуют разные почвы он гомогенизируется.

Этот вывод подтверждается результатами полученными Е.Г. Пивоваровой, К.С. Вепрынцева (2018).

Наибольший информационный вклад в классификационные единицы почв вносит рельеф.

Вклад других показателей, по сравнению с рельефом значительно меньше. В целом показатели химического состояния почв исследуемой территории имеют невысокий таксономический вес. Мы связываем это с тем, что верхний горизонт почв исследуемой территории слабо дифференцирован по химическим свойствам.

На наш взгляд, именно об этом говорил И.А. Соколов (1993), отмечая, что соседи всегда ближе друг к другу, чем к своему собственному центральному образу.

На основе значений $K_{эфф}$ была разработана качественная модель диагностики почв:

$$\text{Эталон} = Rv(Cu \wedge (P \wedge Ca(K \wedge Mg \wedge N(Mn \wedge (Bv(Hum \wedge Zn))))$$

Примечание. R, Cu, P, Ca, K, Mg, N, Mn, B, Hum, Zn – ранг почвенного эталона в зависимости от положения в рельефе, концентрации меди, подвижного фосфора, кальция, обменного калия, магния, азота, марганца, бора, содержания гумуса, концентрации цинка, соответственно;

\wedge – знак дизъюнкции;

v – знак конъюнкции;

\wedge – знак логической функции нелинейного произведения.

Чтобы диагностировать реальные почвы, требуется фактические значения показателей характеризующих почвы, перевести в ранговые. Предложенная информационно-логическая модель может использоваться для целей агроэкологического мониторинга.

3.4. Отклик сельскохозяйственных культур на оптимальные значения показателей почвенного плодородия

Руководствуясь подходами, изложенными в разделе 2.4.4., были построены зависимости значений индекса NDVI от различных показателей почвенного плодородия.

Были построены зависимости для почв, расположенных на отдельных полях, для совокупности полей, обладающих сходными признаками и для типов почв, без учета приуроченности к полям. Расположение точек пробоотбора для совокупности полей (37, 42, 43, 44) представлено на рисунке 23. Как видно из таблицы, приведённой в приложении 7, условиям однородности соответствуют точки пробоотбора под номерами 3-6, 9, 30, 87-90.

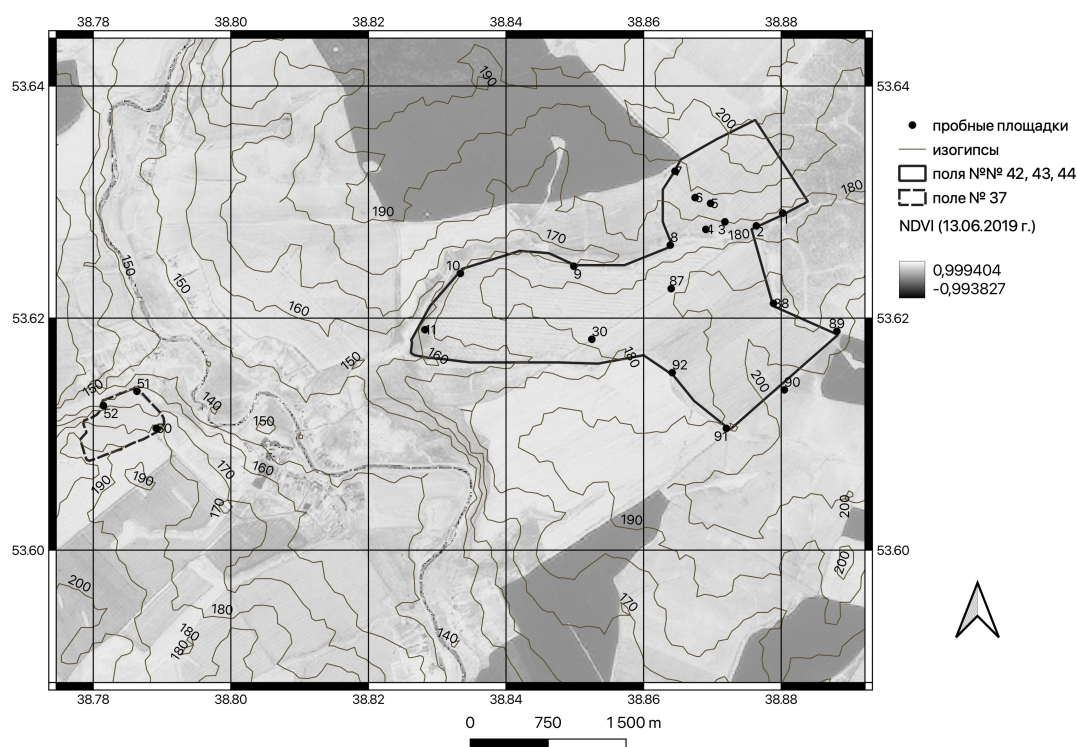
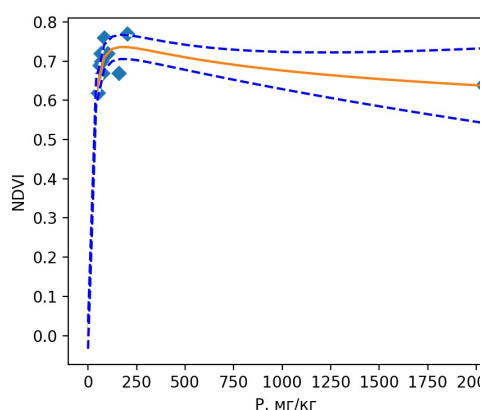


Рисунок 23. Расположение пробных площадок в рельефе

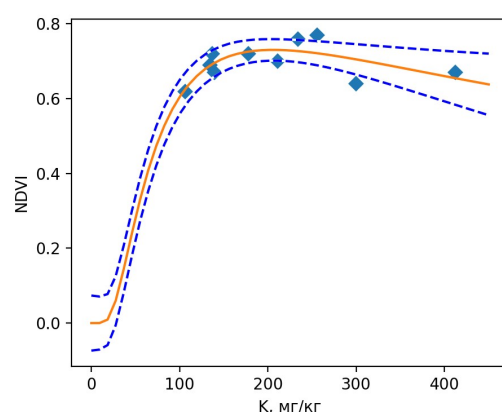
Зависимость вегетационного индекса NDVI, рассчитанного по материалам Sentinel-2 (13.06.2019 г.), от концентрации в почве N, P, K и всех

исследованных элементов (средневзвешенное значение Z) представлено на рисунке 24.



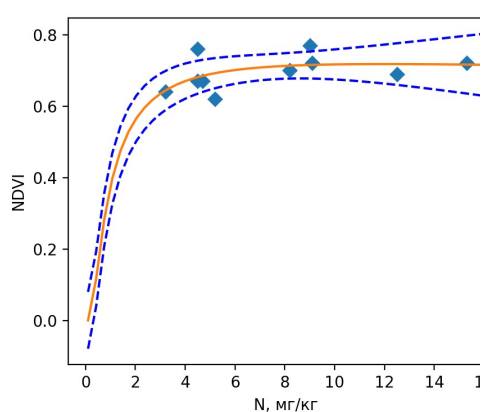
RMSE=0,03

$R^2 = 0,46$



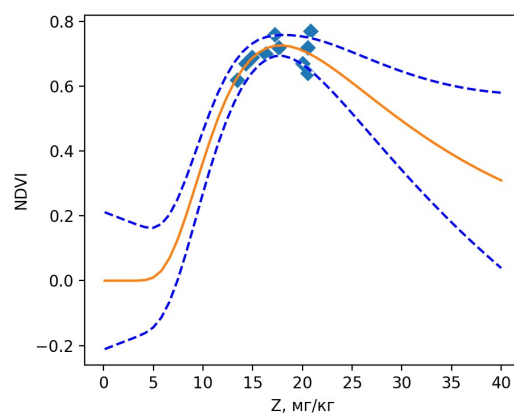
RMSE=0,03

$R^2 = 0,51$



RMSE=0,04

$R^2 = 0,25$



RMSE=0,04

$R^2 = 0,40.$

Рисунок 24. Зависимость вегетационного индекса NDVI, рассчитанного по материалам Sentinel-2 (13.06.2019 г.), от концентрации в почве N, P, K и всех исследованных элементов (точки соответствуют пробным площадкам, сплошные линии – уравнению (1), пунктирные линии – доверительным интервалам для модели, RMSE –среднеквадратическая ошибка).

В таблице 8 приведены константы и абсциссы особых точек модели.

Таблица 8. Константы и абсциссы особых точек модели (1) (мг/кг)

Вариант	A	B	K	c₁	c₂	c₃	c₄	c₅	c₆
z	319099,20	3,35	59,62	6,17	9,26	12,78	17,79	26,32	34,42
N	0,94	0,08	0,91	0,19	0,43	0,68	12,04	23,65	35,25
P	1,32	0,09	16,92	3,46	7,89	12,37	178,46	349,02	519,55
K	25,85	0,56	116,01	20,62	41,21	62,70	205,67	370,13	533,70

Выполнив поиск констант и особых точек уравнения макрокинетической зависимости, определили оптимальные значения показателей плодородия исследуемых почв и диапазоны их фоновых значений. Точке максимума модели **c₄** (выделена в таблице 8 шрифтом) соответствуют оптимальные значения показателей.

Полученные результаты специфичны для исследуемой территории, однако, в целом согласуются с оптимальными концентрациями элементов питания для яровой пшеницы, приведенными в различных литературных источниках.

В работе О.А. Олесина (2016) предложена модель чернозема обыкновенного и определены оптимальные концентрации для яровой пшеницы в лесостепи Заволжья. По данной модели для подвижного фосфора они составляют 90-150 мг/кг почвы, а для обменного калия 180-250 мг/кг почвы.

По данным В.А. Микулич (2011), максимальное содержание общего и белкового азота в зерне яровой пшеницы было зафиксировано при диапазонах концентрации подвижного фосфора в почве в интервале 189-211 мг/кг.

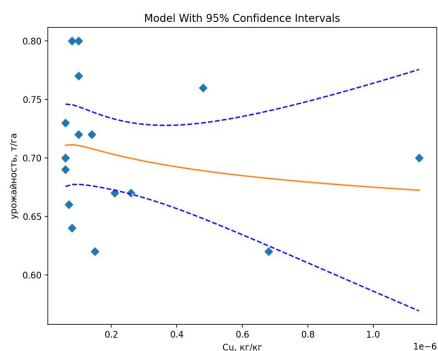
Сложнее всего оценить степень оптимальности содержания нитратного азота. По данным В.М. Филонова (2018), в его опыте содержание нитратного азота перед посевом яровой пшеницы по чистому пару составляло 9,0 мг/кг (средняя обеспеченность) или 40,5 кг/га. Однако вынос азота из почвы составил 96 кг/га. Таким образом, ведущую роль в обеспеченности почв нитратным азотом играет минерализация органического вещества, происходящая во время вегетации.

Следует понимать, что полученные с помощью применяемой нами модели оптимальные значения элементов питания определены для конкретной группы полей с учетом их климатических и почвенных особенностей. Оптимальные значения, полученные на других массивах данных, могут отличаться от представленных в работе.

Для выборки полей 42, 43, 44 были построены зависимости отклика значений NDVI на концентрацию ионов металлов, представленные на рисунке 25.

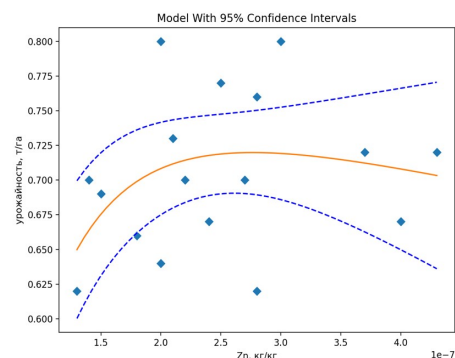
Видно, что отклик значений NDVI на концентрации меди, цинка и марганца в почве выражен гораздо слабее, чем отклик на концентрации элементов питания.

Это может быть объяснено тем, что исследуемая территория не подвержена антропогенному загрязнению от объектов промышленности. Поэтому исследуемые показатели выступают скорее в роле микроэлементов, а не загрязняющих веществ. Продуктивность растений по результатам данного исследования в большей степени зависит от наличия элементов питания, а не от содержания катионов металлов в почве.



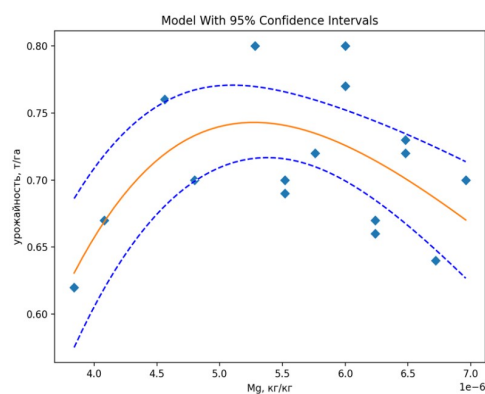
RMSE=0,05

$R^2=0,04$



RMSE=0,05

$R^2=0,14$



RMSE=0,04

$R^2=0,25$

Металл	концентрация мг/кг
Cu	0,08
Zn	0,28
Mg	5,27

Рисунок 25. Зависимость вегетационного индекса NDVI, рассчитанного по материалам Sentinel-2 (13.06.2019 г.), от концентрации в почве Cu, Zn, Mg (точки соответствуют пробным площадкам, сплошные линии – уравнению (1), пунктирные линии – доверительным интервалам для модели, RMSE – среднеквадратическая ошибка).

Аналогичные построения были выполнены для данных полей, но вместо значений NDVI в качестве отклика была выбрана урожайность.

Оптимальные концентрации полученные по отклику урожайности приведены в таблице 9, а графики показаны на рисунке 26.

Таблица 9. Оптимальные концентрации элементов питания в почве для
яровой пшеницы

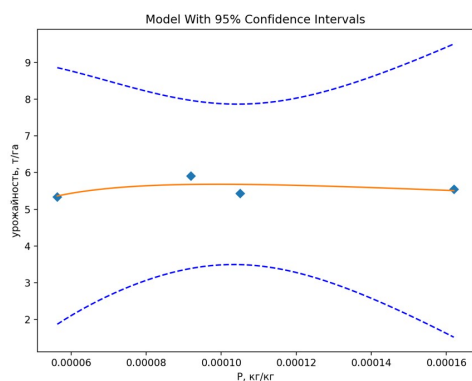
Показатель	Значение показателя
Z, мг/кг	278,9
Сорг, %	6,1
N, мг/кг	не установлено по модели
P, мг/кг	99,0
K, мг/кг	155,7

Видно, что полученные оптимальные концентрации подвижного калия и обменного фосфора ниже, чем при построении зависимости от NDVI. Это объясняется тем, что при применении модели к урожайности сокращается число точек, по которым строится кривая модели. Также используются усредненные данные по полям, что в совокупности приводит к снижению общей точности оценки.

Как и при построении картограмм обеспеченности, интерес представляет возможность получить интегральную оценку показателей плодородия. В качестве такого интегрального показателя может выступить средневзвешенное значение исследуемых почвенных параметров (Z).

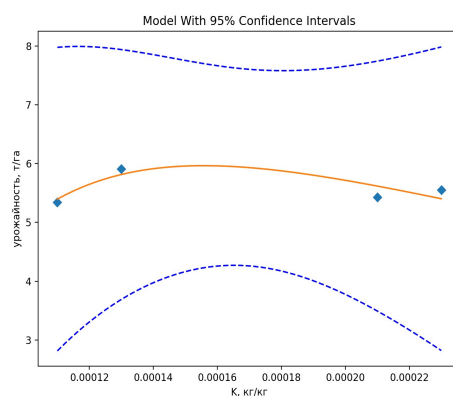
На рисунке 27 приведены зависимости отклика значений NDVI на значения интегрального показателя Z, как для отдельных полей (поле 6-7 и поле 4), так и для почв исследуемой территории (черноземы оподзоленные и лугово-черноземные почвы).

Несмотря на то что в последнем случае требовать соблюдения однородности пробных площадок трудно, модель описывает эмпирические данные достаточно хорошо, большинство точек не выходят за границы доверительного интервала.



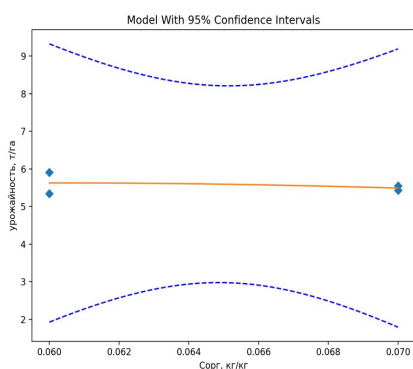
$$\text{RMSE}=0,17$$

$$R^2= 0,37$$



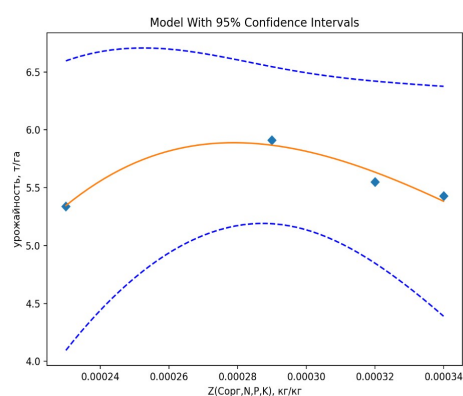
$$\text{RMSE}=0,13$$

$$R^2= 0,63$$



$$\text{RMSE}=0,2$$

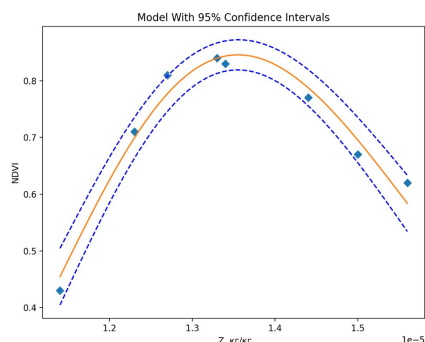
$$R^2= 0,1$$



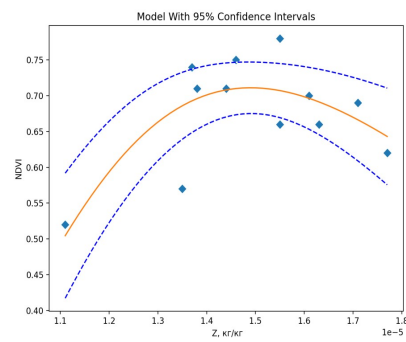
$$\text{RMSE}=0,05$$

$$R^2= 0,94.$$

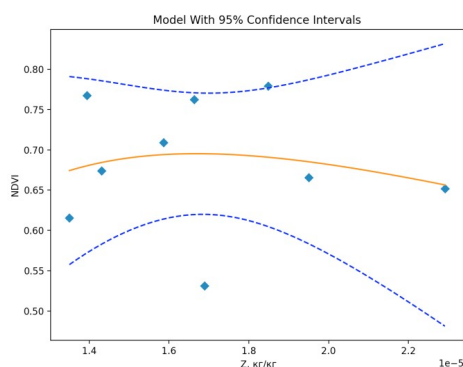
Рисунок 26. Зависимость урожайности, полученной на полях от концентрации в почве фосфора, калия содержания гумуса и всех исследованных элементов (точки соответствуют усредненным значениям по полям 37, 42, 43, 44 сплошные линии – уравнению (1), пунктирные линии – доверительным интервалам для модели, RMSE – среднеквадратическая ошибка).



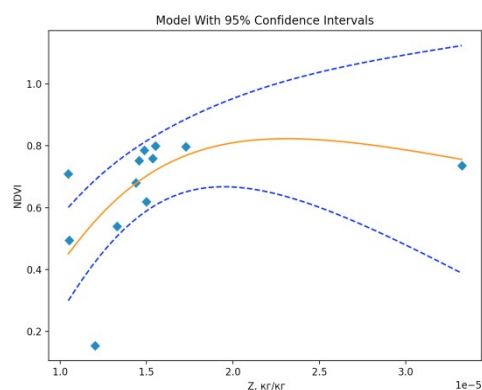
Поле 6-7
 RMSE=0,02
 $R^2 = 0,97$



Поле 4
 RMSE=0,05
 $R^2 = 0,56$



Чернозем оподзоленный
 RMSE=0,08
 $R^2 = 0,02$



Лугово-черноземная почва
 RMSE=0,15
 $R^2 = 0,30$

Рисунок 27. Зависимость вегетационного индекса NDVI, рассчитанного по материалам Sentinel-2 (13.06.2019 г.), от средневзвешенной концентрации исследуемых показателей (Z) (точки соответствуют пробным площадкам, сплошные линии – уравнению (1), пунктирные линии – доверительным интервалам для модели, RMSE –среднеквадратическая ошибка).

Проведенный анализ показывает, что данный метод может применяться при установлении эталонов почв и оптимальных значений показателей почвенного плодородия. Наиболее перспективным является поиск зависимостей от интегрального показателя Z .

3.5. Исследование изменения показателей почвенного плодородия во временной динамике

Проводить сравнительный анализ результатов почвенного обследования, проведённого в 2019 году с данными содержащимися в ЕГРП и ПГБД, на наш взгляд не целесообразно. С учетом масштаба исследования разумнее обратиться к данным предыдущих почвенных обследований.

В таблицах 10 и 11 приведены средние значения и разброс значений параметров почвенного плодородия, сведения о которых имеются во всех почвенных обследованиях начиная с 1992 г.

Таблица 10. Диапазон разброса концентраций исследуемых параметров в почвах территории бывшего совхоза «Тихий Дон»

Год	Число образцов	Гумус, %	pH	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
1992	34	3,9-8	4,6-7	13-350	60-270
2015	22	4,2-8,5	5-6,6	80-360	43-290
2019	104	4,8-11,5	4,7-8,1	1,4-2035	31-884

Таблица 11. Средние значения концентраций исследуемых параметров в почвах территории бывшего совхоза «Тихий Дон»

Год	Число образцов	Гумус, %	pH	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
1992	34	6,2 ±1,1	5,5±0,6	104±79	103±44
2015	22	6,6±0,3	5,4±0,2	114±51	139±40
2019	104	6,9±1,1	5,9±0,8	154±163	233±151

Содержание гумуса и значения pH имеют наименьший диапазон варьирования. В среднем 5,5-6,9% по содержанию гумуса, 5,6-5,9 по значению pH. В последние годы наблюдается увеличение содержания

подвижного фосфора (172-188 мг/кг), что может объясняться интенсивным сельскохозяйственным использованием и внесением фосфорных удобрений.

В 2019 году по сравнению с предыдущими обследованиями существенно возросло содержание обменного калия, что также можно объяснить активным внесением минеральных удобрений.

При этом агрогенное воздействие оказывает существенное влияние на почвы исследуемой территории. Применение методов, использованных в предыдущих разделах, показывало однородность территории по исследуемым показателям. Однако ретроспективный анализ напротив показывает, что с течением времени разброс значений исследуемых показателей существенно увеличивается. Возможно это связано с нерациональным использованием удобрений. Зафиксированы отдельные крайне высокие концентрации обменного фосфора, свидетельствующие о зафосфаченности территории.

Результаты последнего обследования 2019 года показывают, что на исследуемой территории зафиксированы аномально низкие и аномально высокие значения концентрации элементов питания. В настоящее время зафиксированные отклонения носят локальный характер, однако необходимо не допустить как истощения и деградации почвы, так и внесения удобрений в дозах токсичных для растительности.

Недостатком ретроспективного анализа является то, что архивные обследования содержат значительно меньше показателей, чем обследование, выполненное автором. Поэтому сравнительный анализ можно провести только по ограниченному числу факторов.

В целом ретроспективный анализ показывает, что, если принять за эталон состояние почв, зафиксированное в 1992 году, произошло существенное расширение диапазонов подвижного фосфора и обменного калия. Существенных отклонений в содержании гумуса и значений pH не наблюдается.

Заключение

Результатом проведённой работы является исследование различных подходов к установлению эталонов почв на примере территории бывшего совхоза «Тихий Дон» Куркинского района Тульской области.

Обоснована необходимость выбора почвенных эталонов не только в границах ООПТ, но и на землях сельскохозяйственного назначения.

Проанализированы существующие в литературе определения почвенного эталона, различные концепции почвенных эталонов, и методы их установления. Выявлено, что в настоящее время для определения эталонов почв применяются: экспертный подход, методы численной таксономии, ГИС-системы, математические модели.

Предложено следующее определение природно-антропогенного фона (эталона) почв – почвы, подверженные длительному антропогенному воздействию (например, сельскохозяйственному использованию), которое привело к изменениям физических, химических и биологических свойств почв, при этом почвы способны выполнять некоторые экологические функции.

Дана подробная и всесторонняя характеристика объекта исследования.

В работе проанализированы следующие подходы к установлению региональных эталонов: методы численной таксономии (метод главных компонент) логико-математическое моделирование, исследование архивных данных о результатах почвенных обследований, и ретроспективный анализ.

Автором предложено два новых подхода к установлению эталонов почв. Территориальное расположение почв, которые могут считаться эталонными для данной территории, устанавливается с помощью представленного в данной работе интегрального индекса обеспеченности.

Оптимальные значения показателей почвенного плодородия устанавливаются с использованием макрокинетической модели, основанной

на отклике растительности через значения индекса NDVI на значения показателей почвенного плодородия.

Проведенное исследование показывает, что при выборе того или иного подхода для установления эталонов почв исследуемой территории необходимо учитывать, для каких целей данный эталон будет использоваться.

Для оценки изменчивости почв во времени необходимо использовать в качестве эталона данные предыдущих почвенных обследований.

Для определения фундаментальных свойств почвенного покрова, оценки влияния различных факторов на почвообразовательный процесс, разумно применять логико-математическое моделирование.

Для определения численных значений показателей почвенного плодородия разумно использовать макрокинетическую модель, поскольку именно она учитывает реальную потребность растений в элементах питания, а не некоторый «абстрактный» эталон.

Для отнесения конкретного образца к эталонным почвам применяется метод главных компонент. Если точка, показывающая исследуемую пробу в факторном пространстве, попадает в «облако точек» эталонных почв она также может быть принята за эталонную.

Для определения пространственного расположения эталонных почв, в том числе в рамках реализации Постановления правительства РФ №149 требуется использовать картографические методы: построить картограммы обеспеченности почв исследуемой территории элементами питания и рассчитать интегральный индекс обеспеченности.

Комплексное применение различных подходов для определения эталонов почв исследуемой территории позволит принимать более обоснованные управленческие решения при оценке и нормировании качества почв.

Выводы

1. Сформулировано определение эталона почв на землях сельскохозяйственного назначения.

Эталон почв – это пространственная или математическая модель, отражающая совокупность почвенных свойств, характеризующихся оптимальными значениями для исследуемой территории или для преобладающих сельскохозяйственных культур, установленная специфическими методами эталонирования.

2. Оптимальные показатели плодородия для яровой пшеницы, произрастающей на исследуемой территории, установленные с помощью макрокинетической модели, составляют: 12,0 мг/кг азота, 178 мг/кг подвижного фосфора, 205 мг/кг обменного калия.
3. Метод главных компонент показывает, что относящиеся к разным типам и подтипам пробы почв отобранные в 2019 году образуют на факторной плоскости общее «облако точек» включающее 85% исследованных образцов. По сравнению с 1992 годом, пахотный горизонт исследуемой территории характеризуется меньшей пространственной неоднородностью.
4. Ретроспективный анализ показывает, что за исследуемый промежуток времени существенно расширились диапазоны значений показателей почвенного плодородия, что связано с усилением сельскохозяйственной нагрузки на исследуемую территорию. Пробы с самыми высокими и низкими значениями исследуемых показателей не попали в общее «облако точек», полученное методом главных компонент.
5. Для практической реализации норм установленных Постановлением правительства №149 эффективнее всего применять интегральную

оценку обеспеченности территории элементами питания. Установлено, что эталонные почвы находятся в центре исследуемой территории.

6. Логико-математический анализ показывает, что для исследуемых почв ключевым фактором дифференциации почвенных разностей является рельеф. Показатели плодородия вносят значительно меньший вклад в коэффициент передачи информации, поскольку пахотный горизонт территории бывшего совхоза «Тихий Дон» в высокой мере гомогенизирован.
7. Для комплексной оценки и определения эталонов почв исследуемой территории необходимо использовать весь пул представленных методов: картографические методы, методы численной таксономии (метод главных компонент), макрокинетическую модель, основанную на зависимости «доза-эффект», логико-математическую модель, ретроспективный анализ. Выбор методов установления эталонов почв исследуемой территории должен быть обусловлен целями и задачами проводимых работ по оценке и нормированию. В зависимости от цели работ набор методов может различаться.

Список опубликованных работ по теме диссертации

Статьи в журналах:

1. Яковлев А.С., Макаров О.А., Евдокимова М.В., **Огородников С.С.** Деградация земель и проблемы устойчивого развития // Почвоведение. – № 9. – 2018. – с. 1167-1174. DOI: 10.1134/S0032180X18090149 (Двухлетний импакт-фактор РИНЦ 2018: 1,007. 1 п.л.)
2. **Огородников С.С.** Определение эталонных участков на землях сельскохозяйственного назначения // Агрохимический вестник. – № 6. – 2021. – с. 90-92. DOI: 10.24412/1029-2551-2021-6-018 (Двухлетний импакт-фактор РИНЦ 2020: 0,475. 0,3 п.л.)
3. **Огородников С.С.** Яковлев А.С., Евдокимова М.В. Определение эталонных значений показателей почвенного плодородия на основе зависимости «доза-эффект» // Плодородие. – № 6. – 2021. – с. 6-9. DOI: 10.25680/S19948603.2021.123.02 (Двухлетний импакт-фактор РИНЦ 2020: 0,688. 0,4 п.л.)
4. **Ogorodnikov S.S.** Land degradation neutrality in the Tula region // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. — 2021. — no. 723. — P. 1–5. DOI: 10.1088/1755-1315/723/4/042053 (SJР 2020*: 0,18. 0,37 п.л.)
5. **Огородников С.С.,** Яковлев А.С., Сизов А.П. Формирование комплексного банка данных в целях экологизации землепользования и экспертизы материалов землеустройства // Использование и охрана природных ресурсов в России. – № 1. – 2020. – с. 37-40.
6. Яковлев А.С., Горленко А.С., Сизов А.П., **Огородников С.С.** Современные проблемы землеустройства и эколого-землеустроительной экспертизы в Российской Федерации // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – № 2 (181). – 2020. – с. 15-21.
7. **Огородников С.С.** Оценка деградации почв, с применением геоинформационных технологий, на примере совхоза «Тихий Дон»

Куркинского района Тульской области // Материалы по изучению русских почв. – № 9(36). – 2017. – с. 233-236.

8. **Огородников С.С.** Методические подходы к установлению нормативов качества почв на примере Тульской области // Материалы по изучению русских почв. – № 13(40). – с.55-59.

Иные публикации:

1. Эколого-экономическая оценка деградации земель: Монография // Под редакцией Яковлева А.С., Макарова О.А., Киселева С.В. Молчанова Э.Н. – М.: МАКС Пресс, 2016. – 256 с.
2. **Огородников С.С.** Подходы к разработке региональных эталонов для оценки качества почв и земель сельскохозяйственного назначения // Материалы Международной научной конференции XXIV Докучаевские молодежные чтения «Почвоведение в цифровом обществе» / Под ред. Б.Ф. Апарина. – СПб., 2021. – 258 Санкт-Петербург, тезисы, 2021 с. 141-142.
3. **Огородников С.С.** Методические подходы к установлению нормативов качества почв на примере Тульской области // Материалы Международной научной конференции XXIII Докучаевские молодежные чтения, Санкт-Петербург, тезисы, 2020, с. 267-268.
4. **Огородников С.С.** Динамика почвенного плодородия и оценка ущерба от деградации почв на территории совхоза "Тихий Дон" в Тульской области // Сборник трудов Международной молодежной научной конференции "Почва и бобовые симбиоз для жизни", Москва, тезисы, 2016 с. 125-129.
5. **Огородников С.С.** Ландшафтное планирование и оптимизация землепользования на территории совхоза «Тихий Дон» Куркинского района Тульской области // Сборник XXIII Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов-2016», серия Почвоведение, МАКС Пресс Москва, тезисы, 2016 с. 93-94.

6. **Огородников С.С.** Оценка деградации почв, с применением геоинформационных технологий, на примере совхоза «Тихий Дон» Куркинского района Тульской области // Материалы Международной научной конференции XIX Докучаевские молодежные чтения «Почва – зеркало ландшафта» / Под ред. Б.Ф. Апарина, Санкт-Петербург, тезисы, 2016 с. 297-298.
7. **Огородников С.С.** Применение геоинформационных технологий для оценки деградации и неиспользования земель сельскохозяйственного назначения // 20-я Международная Пущинская школа-конференция молодых ученых «Биология – наука XXI века», Пущино, 2016 г. Москва, тезисы, с. 204-205
8. **Ogorodnikov S.S.** Legal mechanisms seizure of agricultural land // Proceeding of the Internetenal Congress on "Soil Science in International Year of Soil" 19-23 October,2015. Sochi,Russia, Abstract Book, место издания Москва ООО "Буки Веди", тезисы, 2015. с. 151-151.
9. Эколого-землеустроительная экспертиза и вопросы экологического нормирования: Учебное пособие / А.С. Яковлев, А.П. Сизов, А.С. Горленко, **С.С. Огородников**. Под. ред. А.С. Яковлева. – Москва: МАКС Пресс, 2020. – 136 с.
10. «Справедливая» экономика землепользования / Под редакцией С.А. Шобы и О.А. Макарова: Учебное пособие. - М.: МАКС Пресс, 2018. - 196 с.

Литература

1. Абушев Р.Н., Павлов М.С. Область применения и описания возможностей ЕФИС ЗСН // Сборник статей по итогам всероссийской научно-исследовательской и производственной работы студентов (агрономический факультет). – 2020. – С. 3-5.
2. Агролесомелиоративный эталон защиты почв от эрозии: Справочник-путеводитель по Новосильской зональной агролесомелиоративной опытной станции им. А.С. Козменко / К.Н. Кулик и др. – Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2018. -- 52 с.
3. Алябина И.О., Андроханов В.А., Вершинин В.В., Волков С.Н. и др. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. (ред. Иванов А.Л., Шоба С.А. (глав.)) – 768 стр.
4. Аннотированный перечень моделей плодородия в автоматизированном банке «ПЛОМОД» Выпуск 3. – Москва. – 1995 г. Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева 116 с.
5. Ахмалишев К.Б. Влияние земледельческого освоения на свойства дерново-подзолистых суглинистых почв современных лесов: автореферат дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук: 03.00.27 / Ахмалишев Канат Бактыбаевич. - Москва, 2007. - 24 с.
6. Бадамшина Е.Ю. Агрохимические показатели плодородия почв Буйско-Таныпского агропочвенного района Республики Башкортостан в системе земельного кадастра: автореферат дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук: 03.00.27 / Бадамшина Евгения Юрьевна. - Санкт-Петербург, 2009. - 21 с.
7. Баходиров З.А., Бобомуродов Ш.М., Парпиев Г.Т., Абдурахмонов Н.Й. Структура концептуальной модели плодородия орошаемых луговых почв // Фундаментальные и прикладные научные исследования, Сборник

- научных трудов по материалам I Международной научно-практической конференции. – 2018. – С. 5-9.
8. Бибырин А.С. Оценка выбора маршрутного хода при агрохимическом обследовании полей с учетом мезорельефа // Агрохимический вестник. – №1. – 2009. – С. 33-35.
 9. Богатырев Л.Г. Основные концепции, законы и принципы современного почвоведения: Монография. — М.: МАКС Пресс, 2015. — 196 с.
 10. Богатырев Л.Г., Маслов М.Н., Бенедиктова А.И., Макаров М.И. Оценка почв и земель (основные показатели и критерии): Монография / Науч.ред. Г.С. Куст. – М.: МАКС Пресс, 2017. – 192 с.
 11. Бондаренко Е.В. Опыт учета экосистемных сервисов почв при оценке деградации земель: на примере УО ПЭЦ МГУ : автореферат дис. ... кандидата биологических наук: 03.02.13, 03.02.08 / Бондаренко Елена Валерьевна. - Москва, 2016. - 25 с.
 12. Булгаков Д.С. Агроэкологическая оценка пахотных почв = Agro-ecological evaluation of arable soils / Д. С. Булгаков; Рос. акад. с.-х. наук. Почв. ин-т им. В. В. Докучаева. - М.: Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 2002 (Тип. Россельхозакадемии). - 250 с.
 13. Булгаков Д.С. Методология агроэкологической оценки почв земледельческой территории: автореферат дис. ... доктора сельскохозяйственных наук: 06.01.03 / Булгаков Дмитрий Сергеевич. - Москва, 1999. - 48 с.
 14. Булгаков Д.С. Свойства и качественная оценка смытых тёмно-серых лесных пахотных почв (на примере почв совхоза «Каширский» Московской области): автореферат дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.03 / Булгаков Дмитрий Сергеевич – Москва. 1973. - 39 с
 15. Булгаков Д.С., Дурманов Д.Н., Фрид А.С., Шишов Л.Л. Агроэкологические региональные эталоны почвенного плодородия. В кн.:

- «Моделирование и оптимизация параметров плодородия почв» (международный семинар СЭВ), Pulawy, 1990. С. 26-35.
- 16.Булгаков Д.С., Славный Ю.А. Эталоны плодородия почв // Химия в сельском хозяйстве. 1996. №5. С. 15-18.
- 17.Булгаков Д.С., Славный Ю.А., Воронин А.Я. Об эталонах почвенного плодородия. В кн.: «Проблемы почвенного плодородия в интенсивном земледелии стран-членов СЭВ», бюлл. Почвенного ин-та им. В.В.Докучаева, в. 53, М., 1989. С. 28-32.
- 18.Булышева Н.А. Микроартроподы (Acarina, Collembola) в пахотном горизонте черноземов обыкновенных и каштановых почв Нижнего Дона: автореферат дис. ... кандидата биологических наук: 03.00.27, 03.00.16. Ростов-на-Дону, 2004. - 25 с.
- 19.БЕГА-Science. [Электронный ресурс]. <http://sci-vega.ru>. (Дата обращения: 01.05.2021 г.).
- 20.Ганиева С.А. Бонитировка почв Апшеронского района, использование в кадастровых работах // Бюллетень науки и практики. – Т.6. – №3. – 2020. – С. 177-185.
- 21.Гарафутдинова К.Р. Качественная оценка и бонитировка почв ООО «Дуслык» Балтасинского района республики Татарстан // Информационные разработки и цифровизация в АПК РФ. Сборник трудов Международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию Татарского НИИАХП - обособленного структурного подразделения ФИЦ КазНЦ РАН и 75-летию Казанского научного центра Российской Академии наук. 2020. Издательство: ООО «Конверс». – С. 196-200.
- 22.Гендугов В.М., Глазунов Г.П. Макрокинетическая модель микробного роста на многокомпонентном субстрате // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2014. № 3. С. 10 – 16.
- 23.Глазунов Г.П., Гендугов В.М., Евдокимова М.В., Титарев Р.П., Шестакова М.В. Макроскопическая кинетика временной и пространственной

- изменчивости вегетационного индекса NDVI на территории заповедника «Ямская степь» в условиях загрязнения почвы тяжёлыми металлами // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 2. С. 111–127.
24. Голодная О.М. Состав почвенного покрова заповедников Приморского края // Биота и среда заповедных территорий. – №3. – 2019. – С. 104-123.
25. Голозубов О.М., Рожков В.А., Алябина И.О. и др. Технологии и стандарты в информационной системе почвенно-географической базы данных // Почвоведение. – №1. – 2015. – С. 3-13.
26. Горбунов Р.В., Ергина Е.И., Сикорский И.А., Лебедев Я.О. Эталоны почв природного заповедника «Опукский» // Геополитика и экогеодинамика регионов. – Т.2(12). – №4. – 2016. – С. 38-48.
27. ГОСТ 26207-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО // СПС КонсультантПлюс
28. ГОСТ 26213-84 Почвы. Определение гумуса по методу Тюрина в модификации ЦИНАО // СПС КонсультантПлюс
29. ГОСТ 26483-85. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее pH по методу ЦИНАО // СПС КонсультантПлюс
30. ГОСТ 28168-89 Почвы. Отбор проб // СПС КонсультантПлюс
31. ГОСТ 33036-2014 Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение острой токсичности для дождевых червей // СПС КонсультантПлюс
32. Гучок М.В. Корректировка кадастровой стоимости земель г. Москвы на основе сведений об экологическом состоянии почвенного покрова (на примере ЗАО, СВАО и ЮВАО): дис. ... канд. биолог. наук. М., 2009. 138 с.
33. Даденко Е.В., Методические аспекты применения показателей ферментативной активности в биодиагностике и биомониторинге почв:

- диссертация ... кандидата биологических наук: 03.00.16. - Ростов-на-Дону, 2004. - 190 с.
- 34.Добровольский Г.В., Чернова О.В., Семенюк О.В., Богатырев Л.Г. Принципы выбора эталонных объектов при создании красной книги почв России // Почвоведение. – №4. – 2006. – С. 387-395.
35. Домникова Е.Ю. Обоснование критериев эталонов агрогенных почв умеренно засушливой и колючей степи Алтайского края //Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей: в 3 кн. / X Международная научно-практическая конференция (4-5 февраля 2015 г.). Барнаул: РИО АГАУ, 2015. Кн. 2. С. 78-80.
- 36.Дудкин И.В., Дудкин В.М., Айдиев А.Я., Стрижков Н.И., Дудкина Т.А. Экология и защита растений // Фермер. Поволжье – №8 (72). – 2018. – С. 62-64.
- 37.Егоршин А.А. Схема опытов, обработка данных и представление результатов для определения оптимальных параметров. – Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева, М., 1980.
- 38.Ельников И.И. О методике разработки оптимальных параметров свойств почв. – Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева, М., 1982. С. 18-25.
- 39.Ергина Е. И. Изучение и идентификация почвенных эталонов и редких почв с целью мониторинга и охраны почвенных ресурсов в Равнинном Крыму // Е. И. Ергина, Р. В. Горбунов, Г. Е. Тронза, Я. О. Лебедев, Ю. С. Хижняк. – Симферополь: ИТ «АРИАЛ», 2017. – 136 с.
- 40.Ефремов В.В. Моделирование почвенного плодородия чернозема типичного – Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева, М., 1982. С. 78-84.
- 41.Жежель Н.Г., Пантелеева Е.И. Агрохимия. Учебник для с.-х. техникумов. – 1972. – 288 с.

42. Жуков З.С. Почвенно-экологический индекс черноземов красноярской лесостепи (на примере землепользования ОАО «Таёжный») // Инновационные тенденции развития российской науки. Материалы VII Международной научно-практической конференции молодых ученых. – 2015. – С. 24-27.
43. Зилов Е.А., Анневиль О., Монтюэль Б. Долговременная динамика экосергии в Женевском озере // Вестник ИРГСХА. – №48. – 2012. – С.39 – 44.
44. Исаева С.Ш. Бонитировка почв Гусар-гонагкендского кадастрового района Азербайджанской республики // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – №5 (85). – 2020. – С. 17-21.
45. Исследование и создание моделей плодородия почв виноградников: Метод. разраб. / ВАСХНИЛ и др.; [Сост. А. Ф. Скворцовым и др.]. - Кишинев: КСХИ, 1986. – 104 с.
46. Кислых Е.Е. Экологические основы регулирования плодородия почв в условиях интенсивного антропогенного воздействия: На примере агроэкосистем Кольского Севера: диссертация ... доктора биологических наук: 03.00.16. - Апатиты, 2002. - 470 с.
47. Кононова А.Ю. Характеристика эталонных почв пахотных угодий подзоны южных черноземов засушливой степи Алтайского края // Молодежь – Барнаулу Материалы XX городской научно-практической конференции молодых ученых. Главный редактор Ю.В. Анохин. 2019 г. – 2019 г. – С. 114-115.
48. Кононцева Е.В. Проблемы выбора региональных эталонов почв при мониторинге земель сельскохозяйственного назначения // Перспективы внедрения инновационных технологий в АПК. Сборник статей II Российской (Национальной) научно-практической конференции. Барнаул. – 2019. – С. 120-122.

49. Кононцева Е.В., Пивоварова Е.Г., Хлуденцов Ж.Г. Эталоны черноземов обыкновенных и слабо выщелоченных предгорных равнин Алтайского края // Аграрная наука - сельскому хозяйству. Сборник статей в 3 книгах. ФГБОУ ВО "Алтайский государственный аграрный университет". – 2016. – С. 123-125.
50. Кононцева Е.В., Пивоварова Е.Г., Хлуденцов Ж.Г., Кононова А.Ю. Использование агрохимических свойств для характеристики центральных образцов почв подзоны южных черноземов засушливой степи Алтайского края // Вестник Алтайского государственного Аграрного университета. – №10 (168). – 2018. С. 61-67.
51. Кононцева Е.В., Хлуденцов Ж.Г. Агрохимические свойства как функция и фактор математических моделей региональных почвенных эталонов // Вестник Алтайского государственного Аграрного университета. – №12 (194). – 2020. С. 45-52.
52. Кононцева Е.В., Хлуденцов Ж.Г. Математическое моделирование центральных образцов Агрогенных почв Алтайского края // Почвы в биосфере. Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. Ответственный редактор А.И. Сысо. – 2018. С. 390-394.
53. Кравченко В.А. Исследование эродированных пахотных черноземов Воронежской области и комплексная оценка их плодородия: автореферат дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.03 / Кравченко Владимир Александрович. - Воронеж, 2003. - 22 с.
54. Крыщенко В.С., Рыбьянец Т.В., Замулина И.В., Бирюкова О.А., Кравцова Н.Е. Моделирование отношений элементов полидисперсной системы почв с использованием эталона сравнения // Живые и биокосные системы. – №2. – 2013. – 9 с.

- 55.Крятов И.А., Тонкопий Н.И., Водянова М.А., Ушакова О.В., Донерьян Л.Г., Евсеева И.С., Матвеева И.С., Ушаков Д.И. Гармонизация гигиенических нормативов для приоритетных загрязнений почвы с международными рекомендациями // Гигиена и санитария – Т. 94 – №7. – 2015. – С. 42–48.
- 56.Куделин В.Н. Опыт эколого-экономической оценки деградации земель агрохозяйства в Липецкой области // Агрохимический вестник. – №1. – 2020. – С. 71-73.
- 57.Кузнецов А.В. Влияние степени агрогенного воздействия на агроэкологическое состояние чернозема типичного ЦЧР: автореферат дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук: 03.02.13 / Кузнецов Алексей Викторович. - Курск, 2012. - 24 с
- 58.Кузьмичев В.П. Теоретические основы и практика бонитировки почв (на примере украинской ССР): автореферат дис. ... доктора сельскохозяйственных наук: 06.01.03 / Кузьмичев Виталий Павлович. - Боровск; Москва, 1974. - 46 с.
59. Курносоев С.А., Курносоева Н.С., Кудря К.В., Шепель В.В. Способ оценки почвенного плодородия в условиях Краснодарского края. Номер патента на изобретение RU 2733041 С1 Патентное ведомство: Россия Год публикации: 2020. Номер заявки: 2020109790 Дата регистрации: 05.03.2020 Дата публикации: 28.09.2020 Патентообладатели: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина"
- 60.Липина Т.Ю. Микро- и субмикростроение структурных элементов целинных и пахотных пойменных луговых почв: На примере почв рек Десны и Оки: автореферат дис. ... кандидата биологических наук: 03.00.27. - Воронеж, 1997. - 25 с.

61. Лисецкий Ф.Н., Замураева М.Е., Половинко В.В., Данильченко М.А. Эталонные почвы в системе особо охраняемых природных территорий // Проблемы региональной экологии. – №1. – 2009. – С. 104-110.
62. Макаров О.А., Крючков Н.Р., Строков А.С., Цветнов Е.В., Кубарев Е.Н., Абдулханова Д.Р. Оценка ущерба от деградации почв и земель муниципального образования (на примере Калачёвского муниципального района Волгоградской области) // Проблемы агрохимии и экологии. – №1. – 2021. – С. 43-48.
63. Мамедов Г.Ш., Мамедова С.З. Блоки агроэкологической модели плодородия чаепригодных почв Ленкоранской области Азербайджана // Актуальные проблемы современной науки. – 2010. – № 5 (55). – С. 102-110.
64. Мамедова С.З. Модели плодородия чаепригодных почв Ленкоранской области Азербайджана. Баку, «Элм», 2002. -180 стр.
65. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель (утв. Роскомземом 28.12.1994, Минсельхозпродом России 26.01.1995, Минприроды России 15.02.1995) // СПС КонсультантПлюс
66. Методические рекомендации по гигиеническому обоснованию ПДК химических веществ в почве. М.: 1982. – 59 с.
67. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. — М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2003. — 240 с.
68. Методы оценки степени деградации сельскохозяйственных земель: научн. издание / ФГБНУ ВНИИ «Радуга». – Коломна: ИП Воробьев О.М., 2015. – 32 с.
69. Мешалкина Ю.Л., Самсонова В.П. Математическая статистика в почвоведении: Практикум. - М.: МАКСПресс, 2008. – 84 с.

70. Микулич В.А. Состав и вынос элементов питания урожаем яровой пшеницы при различной обеспеченности фосфором дерново-подзолистой супесчаной почвы // Почвоведение и агрохимия. – №1(46). – 2011. – С. 135-145.
71. Миндибаев Р.А. Особенности формирования почв Северо-Восточной лесостепи Башкортостана и оценка их плодородия как основы земельного кадастра: Автореф. ... дисс. Доктора сельскохозяйственных наук: 06.01.03. - Уфа, 2005. - 52 с.
72. Михеева И.В. Вероятностно-статистические модели свойств почвы (на примере каштановых почв Кулундинской степи): автореферат дис. ... доктора биологических наук: 03.00.27 / Михеева Ирина Викторовна. - Москва, 2002. - 42 с.
73. Михеева И.В. Оплеухин А.А. Идентификация вероятностно-статистических моделей свойств экологических систем и их информационная оценка // Вестник СУГИТ. – Т.23. – №4. – 2018. – С. 226-248 с.
74. Модели плодородия почв и методы их разработки: Науч. тр. / ВАСХНИЛ, Почв. ин-т им. В. В. Докучаева; [Отв. ред. Л. Л. Шишов, В. В. Ефремов]. - М.: Почв. ин-т, 1983. - 123 с.
75. Модельный закон «Об охране почв» (Постановление Межпарламентской Ассамблеи государств-участников СНГ №29-16 от 31.11.2007) // СПС КонсультантПлюс
76. Мурзабулатов Б.С. Особенности формирования почв Зауралья Республики Башкортостан и оценка их плодородия как основы земельного кадастра: автореферат дис. ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.03 / Мурзабулатов Булат Салаватович. - Уфа, 2009. - 24 с.
77. Намозов Х., Амонов О., Корахонов А., Рустамов Н., Аскарова З. Разработка общей системы каталогов эталонов субтропического почвенного покрова на основе космических снимков // Аграрная наука –

- сельскому хозяйству: сборник статей: в 3 кн. / X Международная научно-практическая конференция (4-5 февраля 2015 г.). Барнаул: РИО АГАУ, 2015. Кн. 2. С. 425-427.
78. Наумов П.В. Физико-химические аспекты разложения и миграции некоторых фосфорорганических соединений в почве: автореферат дис. ... кандидата химических наук: 03.02.08 / Наумов Павел Вячеславович. - Иваново, 2014. - 16 с.
79. Нгуен С.Х. Мелиорация и восстановление плодородия деградированных почв: диссертация ... доктора сельскохозяйственных наук: 06.01.02. - Москва, 2003. - 235 с.
80. Никиточкин Д.Н., Савич В.И., Байбеков Р.Ф., Наумов В.Д. Модели плодородия почв под яблоню во времени и в пространстве. М.: ВНИИА, 2015. - 272с
81. Огородников П.И., Усик В.В. Прогнозирование производства и урожайности зерновых культур на основе регрессионных моделей // Вестник Оренбургского государственного университета. – №13(132). – 2011. – С. 354-359.
82. Ожегов С.И. Толковый словарь русского языка - 2-е изд., испр. и доп. - Москва: Азъ, 1994. 907 с.
83. Околелова А.А., Желтобрюхов В.Ф., Егорова Г.С. Почвенные эталоны Волгоградской области // Естественно-гуманитарные исследования. – №18(4). – 2017. – С. 6-11.
84. Олесин О.А. Модель оптимальных показателей плодородия чернозема обыкновенного для яровой пшеницы в лесостепи Поволжья // Развитие современной науки: теоретические и прикладные аспекты. Сборник статей студентов, магистрантов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей. Под общей редакцией Т.М. Сигитова. Пермь, 2016. – С. 229 – 235.
85. Оптимизация почвенного плодородия в агроэкосистемах: краткий курс лекций для аспирантов 2 курса направления подготовки 06.06.01

Биологические науки / Сост.: Т.И. Павлова // ФГБОУ ВПО «Саратовский ГАУ». - Саратов, 2014. - 35 с.

- 86.Панкова Т.И., Параметры плодородия чернозема типичного в агроландшафте, их взаимосвязь и экологическая роль органического вещества почвы: дисс. к.б.н. :03.02.13 – Воронеж, 2002. – 222 с.
- 87.Пахомя О.Г. Факторы плодородия каштановых почв сухой степи юга Западной Сибири и урожайность яровой пшеницы: диссертация ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.03. - Барнаул, 2004. - 127 с.
- 88.Пивоварова Е.Г. Численные методы в классификации и диагностике почв Алтайского края // I Никитинские чтения «Актуальные проблемы, почвоведения, агрохимии и экологии в природных и антропогенных ландшафтах» материалы Международной научной конференции. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова». 2020. – С. 363-367.
- 89.Пивоварова Е.Г., Вепрынцева К.С. Численные методы в разработке центральных образов региональных почв Алтайского края // Почвы в биосфере. Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. Ответственный редактор А.И. Сысо. – 2018. С. 78-82.
- 90.Пивоварова Е.Г., Кононцева Е.В., Хлуденцов Ж.Г., Аверьянова И.П. Математические модели региональных эталонов в агрохимическом мониторинге почв // Вестник Алтайского государственного Аграрного университета. – №8 (178). – 2019. С. 54-62.
- 91.Пивоварова Е.Г., Кононцева Е.В., Хлуденцов Ж.Г., Аверьянова И.П. Агрохимическая оценка свойств почв в системе почвенно-

- географического районирования Алтайского края // Вестник Алтайского государственного Аграрного университета. – №3 (185). – 2020. С. 61-69.
92. Пивоварова Е.Г., Кононцева Е.В., Хлуденцов Ж.Г., Попова Е.С. Система агрохимических показателей в региональной классификации почв Алтайского края // Вестник Алтайского государственного Аграрного университета. – №8 (166). – 2018. С. 40-47.
93. Пивоварова Е.Г., Федченко Л.А. Агрохимические свойства в решении проблем классификации почв // Вестник Алтайского государственного Аграрного университета. – №3 (197). – 2021. С. 39-47.
94. Пивоварова Е.Г., Федченко Л.А. Региональные эталоны почв как индикаторы агрогенной трансформации их агрохимических свойств // Аграрная наука – сельскому хозяйству. Сборник материалов XV международной научно-практической конференции. В 2-х книгах. – Барнаул. – 2020. С. 282-284.
95. Плеханова Л.Н. Природно-антропогенная эволюция почв речных долин степного Зауралья во второй половине голоцена: автореферат дис. ... кандидата биологических наук: 03.00.27. - Москва, 2004. - 22 с.
96. Плеханова Л.Н., Проблемы поиска эталонных почв степного Зауралья для создания Красной книги почв // Аридные экосистемы. – №3(72). – 2017. С. 50-58.
97. Плеханова Л.Н., Региональные Красные книги почв: поиск почвенных эталонов на ООПТ // Использование и охрана природных ресурсов в России. – №3 (105). – 2009. С. 36-39.
98. Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» // СПС КонсультантПлюс

99. Постановление Правительства РФ от 13.02.2019 N 149 "О разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды, а также об утверждении нормативных документов в области охраны окружающей среды, устанавливающих технологические показатели наилучших доступных технологий" (вместе с "Положением о разработке, установлении и пересмотре нормативов качества окружающей среды для химических и физических показателей состояния окружающей среды") // СПС КонсультантПлюс
100. Почвенный справочник. Перев. с франц. Смоленск: Ойкумена, 2000. 288 с.; Referentiel pedologique /INRA. Paris. 1995.
101. Почвообразовательные процессы. Коллектив авторов; Под ред. М.С. Симаковой, В.Д. Тонконогова. – М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева. 2006 – 510 с.
102. Приказ Министерства сельского хозяйства Российской Федерации от 02.12.2020 № 729 "О внесении изменений в приказ Минсельхоза России от 4 мая 2010 г. № 150 "Об утверждении Порядка государственного учета показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения" (Зарегистрирован 25.12.2020 № 61820) // СПС Консультант плюс
103. Приказ Минсельхоза России от 04.05.2010 N 150 (ред. от 02.12.2020) "Об утверждении Порядка государственного учета показателей состояния плодородия земель сельскохозяйственного назначения" (Зарегистрировано в Минюсте России 15.07.2010 N 17846) // СПС Консультант плюс
104. Прокашев А.М., Есипова Т.В., Варган И.А., Соболева Е.С. Региональные аспекты проектирования Красных книг почв (на примере Кировской области) // Региональные геосистемы – Т. 45 – №1. – 2021. – С. 56–62.

105. Прокофьева Т.В., Мартыненко И.А. Иванников Ф.А., Систематика почв и почвообразующих пород города Москвы и возможность включения их в общую классификацию // Почвоведение. – №5. – 2011. – С. 611–623.
106. Пузаченко, Ю. Г. Возможности применения информационно-логического анализа при изучении почвы на примере ее влажности / Ю. Г. Пузаченко, Л. О. Карпачевский, Н. А. Взнуздаев. // Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. – Москва: Наука, 1970. – С. 103-121.
107. Ратников А.И. Почвы Тульской области. Тульское книжное издательство. – 1955. – 33 с.
108. Рожков В.А. Классификация почв – не место для дискуссий // Бюллетень Почвенного института им В.В. Докучаева. Вып. 72. – 2013. – С. 47-64.
109. Рожков В.А. Классификация почв – не место для дискуссий // Бюллетень Почвенного института им В.В. Докучаева. Вып. 72. – 2013. – С. 47-64.
110. Рожков В.А., Прошина Н.В. - Опыт численной таксономии почв. – Почвоведение. – №8. – 1978 106-116.
111. Руководство по санитарно-химическому исследованию почвы: (Нормат. материалы) / Гос. ком. сан. -эпидемиол. надзора России, Рос. респ. информ. -аналит. центр. - М.: Б. и., 1993. - 130 с.
112. Савич В.И., Амергужин Х.А., Карманов И.И., Булгаков Д.С., Федорин Ю.В., Карманова Л.А. Оценка почв. М.: Изд. Астана, 2003. – 544 с.
113. Свободная географическая информационная система с открытым кодом QGIS. [Электронный ресурс]. 2021. URL: <https://qgis.org/ru/site/forusers/download.html>
114. Семенов В.А. О разработке модели плодородия почв. – Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева, М., 1982. – С. 36-44.

115. Система компьютерной алгебры Maxima. [Электронный ресурс]. 2017. Дата обновления 17.03.2020 г. URL: <https://sourceforge.net/projects/maxima/>. (Дата обращения: 01.05.2021 г.).
116. Скачкова С.А., Харитонов А.Е. Кластерный анализ качества почв Российской Федерации // Статистические и системно-параметрические исследования, сборник научных статей Международной научно-практической конференции. Министерство образования и науки РФ; Юго-Западный государственный университет. – 2016. – С. 186-188.
117. Соловиченко В.Д. Почвенный покров Центрально-Черноземного региона и воспроизводство плодородия почв: автореферат дис. ... доктора сельскохозяйственных наук: 03.02.13 / Соловиченко Владимир Дмитриевич. - Белгород, 2011. - 42 с.
118. Таллер Е.Б. Почвы овражно-балочных систем лесостепи Центрально-Черноземной зоны и пути их рационального использования: диссертация ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.03. - Курск, 2003. - 199 с.
119. Теоретические основы и методы определения оптимальных параметров почв. – Почвенный институт им. В.В. Докучаева, М., 1980. – 127 с.
120. Теоретические проблемы генетического почвоведения / И.А. Соколов. - Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1993. – 232 с.
121. Трубин А.П. Антропогенная динамика обыкновенных черноземов Предуралья и ее комплексная оценка: диссертация ... кандидата сельскохозяйственных наук: 06.01.03. - Уфа, 2005. - 138 с.
122. Фаустова Е.В. Агрофизическая характеристика почвенного покрова: На примере комплекса серых лесных почв Владимирского ополья и дерново-подзолистых почв Ивановской области: диссертация ... кандидата биологических наук: 06.01.03. - Москва, 2003. - 86 с.
123. Федоров С.И. Агроэкологические принципы защиты почв от эрозии и кадастровая оценка эродированных земель Башкортостана: диссертация ... доктора сельскохозяйственных наук: 06.01.03. - Уфа, 2006. - 331 с.

124. Филонов В.М., Наздрачев Я.П. Оптимизация минерального питания и урожайности яровой пшеницы – https://baraev.kz/sistema_zemledelie/plodorodie/524-optimizaciya-mineralnogo-pitaniya-i-urozhaynost-yarovoy-pshenicy.html
125. Фрид А.С., Булгаков Д.С., Карманов И.И., Шишконокова Е.А., Грибов В.В. Модели и эталоны плодородия // Научные основы предотвращения деградации почв (земель) сельскохозяйственных угодий России формирования систем воспроизводства их плодородия в адаптивно-ландшафтном земледелии кн.2. М.: 2013. – С. 35-52.
126. Фрид А.С., Кузнецова И.В., Королева И.Е., Бондарев А.Г., Когут Б.М., Уткаева В.Ф., Азовцева Н.А. Зонально-провинциальные нормативы изменения агрохимических, физико-химических и физических показателей основных пахотных почв Европейской территории России при антропогенных воздействиях – М.: Почвенный институт имени В.В. Докучаева, 2010. – 176 с.
127. Хасанов А.Н. Современное состояние плодородия почв агроландшафтов Южной лесостепи Республики Башкортостан: автореферат дис. ... кандидата биологических наук: 03.02.13 / Хасанов Айрат Науратович. - Уфа, 2019. - 22 с
128. Хлуденцов Ж.Г., Кононцева Е.В. Эталонные дерново-подзолистые почвы Умеренно-засушливой и колючей степи // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей: в 3 кн. / X Международная научно-практическая конференция (4-5 февраля 2015 г.). Барнаул: РИО АГАУ, 2015. Кн. 2. С. 275-278.
129. Хлуденцов Ж.Г., Пивоварова Е.Г., Кононцева Е.В. Эталонные серые лесные почвы умеренно-засушливой и колючей степи // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сборник статей: в 3 кн. / X Международная научно-практическая конференция (4-5 февраля 2015 г.). Барнаул: РИО АГАУ, 2015. Кн. 2. С. 278-280.

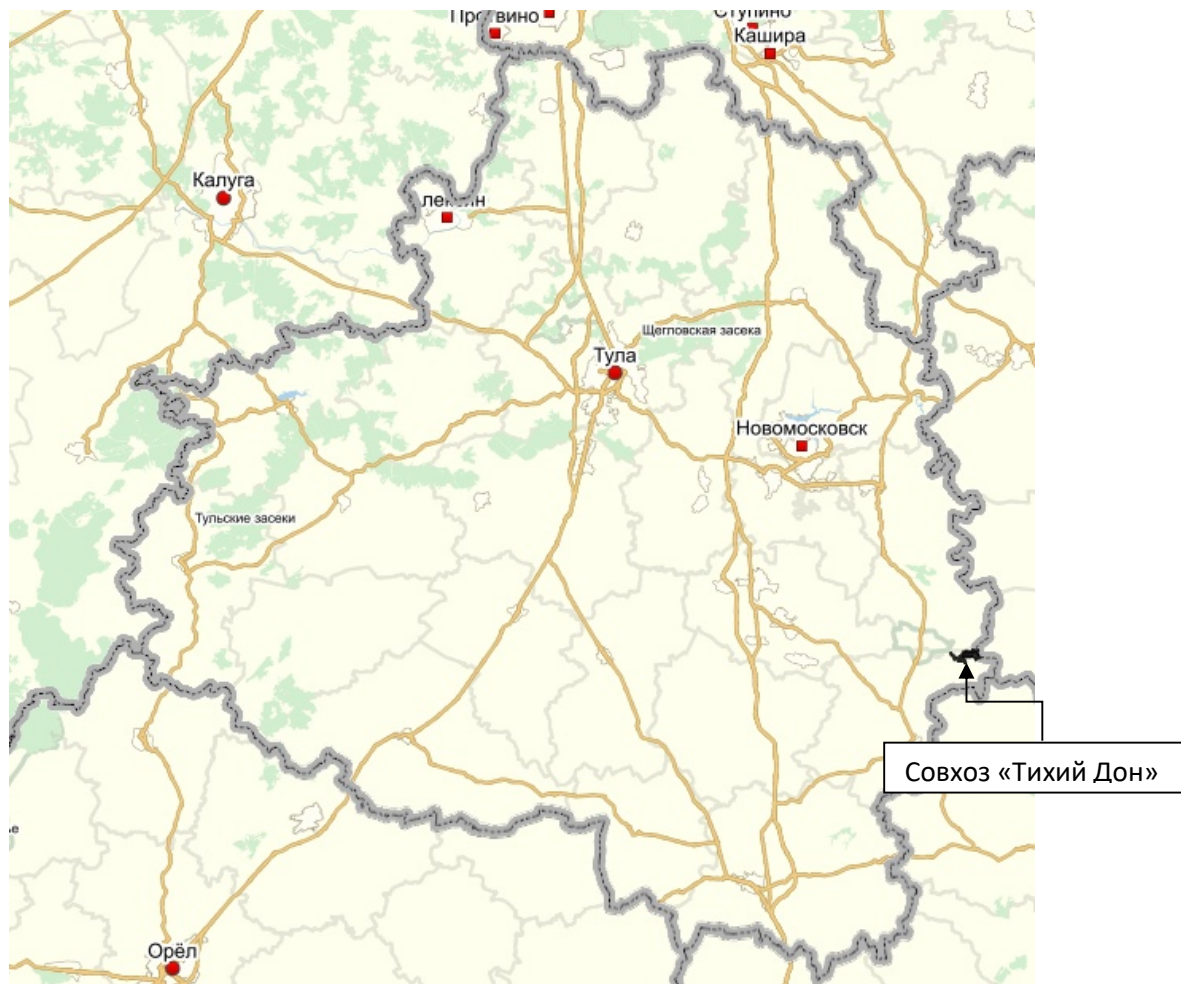
130. Ховалкина Н.В. Проблемы и направления совершенствования работы в ЕФИС ЗСН на примере Томской области // Молодой исследователь: вызовы и перспективы, сборник статей по материалам СХІХ международной научно-практической конференции. – 2019. – С. 331-333.
131. Чанышев И.О. Почвенно-экологические основы оптимизации землепользования в Республике Башкортостан: диссертация ... доктора сельскохозяйственных наук: 06.01.03, 06.01.01 / Чанышев Ильдар Олегович. - Барнаул, 2009. - 275 с.
132. Чернова О. В., Севостьянова О. В., Богатырев Л. Г. Принципы выбора эталонных объектов при создании Красной книги почв России // Роль почв в биосфере: Труды института почвоведения МГУ им. М. В. Ломоносова и Российской Академии наук. - Москва - Тула, 2003. - вып. 1. - с. 97-105.
133. Чернова О.В., Безуглова О.С. Черноземы ООПТ, как эталоны для распаханых аналогов краснокнижных почв // Экосистемы центральной Азии: исследование, сохранение, рациональное использование Материалы XIII Убсунурского Международного симпозиума. – 2016. – С. 238-240.
134. Чесняк Г.Я. Гумусное состояние черноземов / Г.Я Чесняк // Русский чернозем: 100 лет после Докучаева. М.6, 1983. С. 186–199.
135. Шишов Л. Л. Региональные эталоны почвенного плодородия / Л. Л. Шишов, Д. Н. Дурманов, Д. С. Булгаков. - М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1991. - 274 с.
136. Шишов Л.Л. Модели плодородия агроэкосистем как важный компонент почвенно-экологических исследований в решении вопроса расширенного воспроизводства почвенного плодородия. – Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева, М., 1982. – С. 5-9.
137. Экология Тульской области и здоровье населения на рубеже веков (1985-2008 годы) / ФГБОУ ВПО «Российский химико-технологический университет им. Д.И. Менделеева», Новомосковский институт (филиал); Новомосковск, 2014. – 84 с.

138. Экологическое нормирование и управление качеством почв и земель / А. Г. Барсегян, В. М. Гендугов, Г. П. Глазунов и др. — НИА-Природа Москва, 2013. — 373 с.
139. Эмер Н.Р., Костина Н.В., Нетрусов А.И., Жебрак И.С., Кожевин П.А. Анализ состояния почвенного микробного сообщества при длительной антропогенной нагрузке // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. — №4. — 2019. — С. 56–62.
140. Яковлев А.С., Гендугов В.М., Глазунов Г.П., Евдокимова М.В. Методика экологической оценки состояния почв и нормирования её качества // Почвоведение. — №8. — 2009. — С. 984-995.
141. Яковлев А.С., Сизов А.П., Горленко А.С., Огородников С.С. Эколого-землеустроительная экспертиза и вопросы экологического нормирования: Учебное пособие / А.С. Яковлев, А.П. Сизов, А.С. Горленко, С.С. Огородников. Под. ред. А.С. Яковлева. — Москва: МАКС Пресс, 2020. — 136 с.
142. Bussian B, KoErdel W, Kuhnt G, Ohnesorge S, Weinfurtner K. 2005. Das RefeSol-Projekt: Grundlagen eines deutschen Referenzbodensystems. Wasser Abfall 7:43–49.
143. Del Barrio, G., M. M. Boer, J. Puigdefábregas, 1996, Selecting representative drainage basins in a large research area using numerical taxonomy on topographic and climatic raster overlays. In: M. Rumor, R. McMillan, and H.F.L. Ottens (eds), PESERA – Second Annual report 125. Geographic information. From research to application through cooperation: Amsterdam, IOS Press, p. 398-407.
144. Dobrovol'skii G. V., Chernova O. V., Semenyuk O. V., Bogatyrev L. G. Principles of Selecting Reference Soils for the Red Data Book of Russian Soils // Eurasian Soil Science. 2006. Vol. 39. No. 4., P. 347–353.

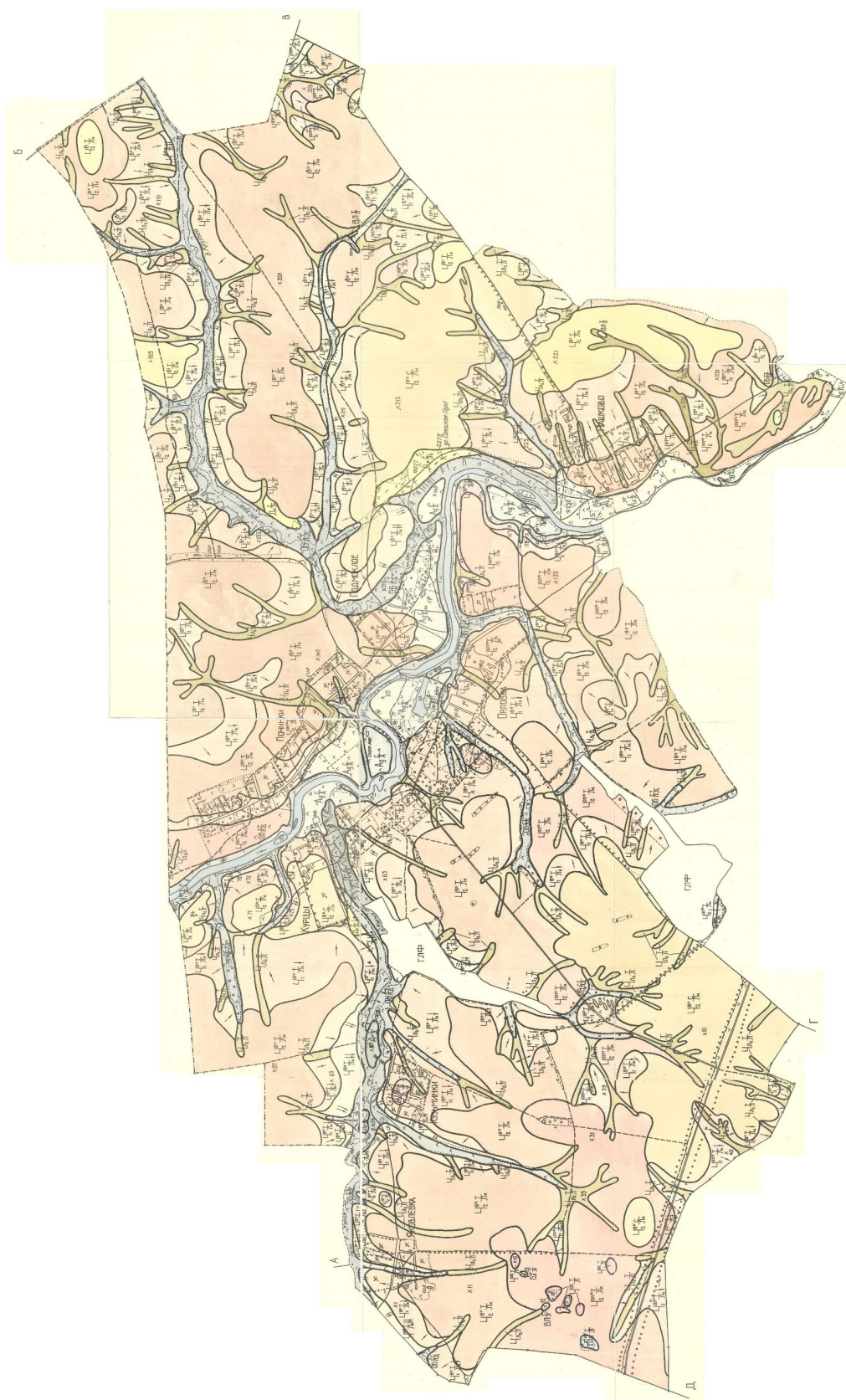
145. Dobrovol'skii G. V., Chernova O. V., Semenyuk O. V., Bogatyrev L. G. Principles of Selecting Reference Soils for the Red Data Book of Russian Soils // Eurasian Soil Science. 2006. Vol. 39. No. 4., P. 347–353.
146. Environment Canada. 2007. Biological test method: Tests for toxicity of contaminated soil to earthworms (*Eisenia andrei*, *Eisenia fetida*, or *Lumbricus terrestris*). Report EPS 1/RM/43, June, 2004 (with June, 2007, amendments). Ottawa, ON.
147. Gawlik BM, Muntau H, eds. 1999. EuroSoils II—Laboratory Reference Materials for Soil-Related Studies. European Commission, Luxembourg.
148. https://ec.europa.eu/health/archive/ph_risk/committees/sct/documents/out83_en.pdf
149. <https://gks.ru/dbscripts/munst/munst70/DBInet.cgi>
150. Jørgensen S.E. Application of holistic thermodynamic indicators / S.E. Jørgensen // Ecological Indicators. 2006, vol. 6. – 24–29.
151. Kozhevin P. A., Zhebrak I. S., Maslova O. A. The role of soil microorganisms in environmental and food security // Moscow University Soil Science Bulletin. — 2017. — Vol. 72, no. 5. — P. 1–8.
152. Kuperman RG, Checkai RT, Garcia MV, Roßmbke J, Stephenson G, Sousa JP. 2009. Ecotoxicological assessment of contaminated land: the state-of-practice and the way forward. *Pesqui Agropecu Bras* 44:811– 824.
153. Roßmbke J, Amorim M. 2004. Tackling the heterogeneity of soils in ecotoxicological testing: A Euro-soil based approach. *J Soils Sediments* 4:276–281.
154. SRTM 90m DEM Digital Elevation Database. [Электронный ресурс]. 2004. Дата обновления 01.11.2018 г. [URL:https://srtm.csi.cgiar.org](https://srtm.csi.cgiar.org). Дата обращения: 01.05.2021 г.
155. Tibberg E. 1998. Nordic reference soils. TemaNord 537. Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1. Расположение территории совхоза «Тихий Дон» на карте Тульской области



Приложение 2. Почвенная карта и легенда к почвенной карте совхоза «Тихий Дон»



Условные обозначения						
Индексы почв и окраска	Название почв	Механический состав	Почвообразующая порода	Условия залегания по рельефу	Площадь	
					га	%
Д _к $\frac{C}{Э_5}$	Дерново-карбонатная малакаменистая	среднесуглинистый	элювий известняков	пологие и покатые склоны	19	0.5
Ч _{ос} $\frac{I}{Л}$	Чернозем осолоделый	тяжелосуглинистый	лессовидный суглинок	блюдцеобразные понижения	3	0.1
Ч _{оп} $\frac{I}{Л_2}$	Чернозем оподзоленный средне-мощный среднесуглинистый	"	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки, пологие склоны, террасы	315	8.6
Ч _{оп} $\frac{I}{Л_1}$	Чернозем оподзоленный среднемош. малогумусный слабосмытый	"	"	пологие склоны	55	1.5
Ч _{оп} $\frac{I}{Л_2}$	Чернозем оподзоленный среднемош. среднесмытый	"	"	слабопокатые и покатые склоны	9	0.3
Ч _{оп} $\frac{I}{Л_2}$	Чернозем оподзоленный мощный среднесуглинистый	"	"	выпавшие шлейфы	108	3
Ч _б $\frac{I}{Л_2}$	Чернозем выщелоченный маломощный среднесуглинистый	"	"	вершины водоразделов	107	2.9
Ч _б $\frac{C}{Л_2}$	Чернозем выщелоченный среднемош. среднесуглинистый	среднесуглинистый	"	водораздельные участки, слабопологие склоны	461	12.6
Ч _б $\frac{I}{Л_2}$	"	тяжелосуглинистый	"	"	1077	29.5
Ч _б $\frac{I}{Л_1}$	Чернозем выщелоченный среднемош. малогумусный слабосмытый	"	"	пологие склоны	740	20.3
Ч _б $\frac{C}{Л_1}$	"	среднесуглинистый	"	"	52	1.4
Ч _б $\frac{I}{Л_1}$	" слабокаменистый	тяжелосуглинистый	"	"	16	0.5
Ч _б $\frac{C}{Л_1}$	Чернозем выщелоченный средне-мощный среднесмытый	среднесуглинистый	"	покотые склоны	5	0.1
Ч _б $\frac{I}{Л_1}$	"	тяжелосуглинистый	"	"	80	2.2
Ч _б $\frac{I}{Л_1}$	" слабокаменистый	"	"	"	3	0.1
Ч _л $\frac{C}{Л_2}$	Лугово-черноземная	среднесуглинистый	лессовидный суглинок	лощины стока	29	0.8
Ч _л $\frac{I}{Л_2}$	"	тяжелосуглинистый	"	"	251	6.9
ВЛ $\frac{I}{Л}$	Влажно-луговая	"	"	плодородные ло- щины, блюдцеобраз- ные понижения	5	0.1
А _г $\frac{C}{А}$	Аллювиальная дерновая	среднесуглинистый	аллювиальные отложения	пойма р. Дон	22	0.6
А _л $\frac{C}{А}$	Аллювиальная луговая	"	"	слабодренируемая пойма р. Дон	14	0.4
Б _л $\frac{I}{Л}$	Лугово-балотная иловато-глиебатная	тяжелосуглинистый	лессовидный суглинок	блюдцеобразные понижения	1	
Д _н $\frac{C}{Д}$	Дерновая намытая	среднесуглинистый	делювиальные отложения	днища балок	8	0.2
ОБ $\frac{C}{Л_2}$	Овражно-балочный комплекс	средне-тяжелосуглинистый	лессовидные суглинки, делювиаль- ные отложения	склоны и днища бо- лок и оврагов	232	6.4
	Под водой				38	1.0
	Итого				3650	100%

Приложение 3. Сведения о результатах почвенного обследования 1992 г.

№	№ на кар-те	Координаты		Агрохимические показатели			
		X	Y	Гумус, %	pH	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг
1	1	38.730161000	53.610980000	6.0	5.1	5.0	10.5
2	11	38.731966000	53.605434000	7.1	6.3	15.0	7.0
3	12	38.730064000	53.599793000	7.8	5.8	3.0	10.0
4	15	38.735672000	53.602068000	5.4	5.3	20.0	11.0
5	24	38.752851000	53.612701000	4.7	4.7	1.3	13.7
6	31	38.750981000	53.596369000	7.7	5.5	10.0	12.0
7	35	38.743504000	53.596943000	7.4	5.1	4.0	7.0
8	39	38.756815000	53.595470000	5.9	5.6	8.0	23.0
9	40	38.749338000	53.586307000	5.6	5.0	4.0	11.0
10	61	38.764292000	53.587952000	6.8	5.5	20.0	7.0
11	63	38.783662000	53.611878000	5.2	5.8	25.0	8.0
12	71	38.778827000	53.621934000	6.5	5.7	9.0	7.0
13	75	38.779214000	53.618857000	4.9	6.2	10.0	7.0
14	81	38.759683000	53.620023000	6.4	5.0	15.0	18.0
15	85	38.758426000	53.615779000	4.1	5.8	4.0	9.0
16	87	38.762262000	53.612815000	6.4	5.9	13.0	9.0
17	115	38.806513000	53.612070000	6.1	6.2	6.0	7.0
18	117	38.827977000	53.602700000	4.2	5.2	9.0	14.0
19	119	38.826978000	53.601418000	4.6	5.0	12.0	15.0
20	145	38.811250000	53.616945000	6.2	5.4	35.0	12.0
21	149	38.831877000	53.608284000	7.1	6.7	20.0	27.0

22	155	38.826076000	53.621323000	4.8	6.4	15.0	12.0
23	165	38.848637000	53.629446000	6.9	5.5	5.0	7.0
24	168	38.843158000	53.627344000	4.4	4.6	2.5	12.5
25	201	38.858402000	53.619851000	8.0	5.2	6.0	9.0
26	208	38.885959000	53.618704000	5.8	6.3	6.0	8.0
27	209	38.882768000	53.618092000	6.9	5.2	20.0	7.0
28	215	38.842868000	53.611056000	7.2	5.3	11.0	12.0
29	216	38.820049000	53.611974000	6.3	4.9	3.0	11.0
30	221	38.848637000	53.599334000	6.8	5.4	10.0	8.0
31	225	38.837646000	53.601170000	3.9	6.8	5.0	6.0
32	227	38.834746000	53.609737000	6.3	7.0	4.7	7.0
33	230	38.829943000	53.598339000	6.3	5.2	3.0	11.0
34	231	38.843029000	53.589674000	5.5	6.1	6.0	7.0
35	2276	38.836486000	53.607729000	6.9	7.0	cl	10.0

Приложение 4. Сведения о результатах почвенного обследования 2015 г.

№	Гумус	pH сол	P ₂ O ₅	K ₂ O
	%		мг/кг	
1	5.4	5.8	12.5	10.1
2	6.4	5.5	34.8	18.4
3	5.3	6.3	36.0	13.1
4	6.3	5.4	27.1	14.1
5	8.5	5	10.7	13.7
6	5.3	5.7	16.7	7.0
7	5.1	5.7	19.0	7.8
8	5.1	5.7	19.2	10.7
9	5.0	6	13.0	5.5
10	4.2	6	10.8	7.8
11	4.8	6.1	18.9	13.1
12	6.2	5.7	9.4	17.1
13	5.0	5.4	12.4	17.3
14	5.2	5.8	16.1	5.4
15	5.3	5.7	29.8	15.8
16	6.1	5.1	26.0	19.3
17	5.3	6	16.7	13.1
18	5.3	6.2	16.0	20.9
19	4.8	6.2	16.6	10.0
20	5.2	6.6	8.0	4.3
21	6.8	6.6	31.0	10.3
22	5.6	5.9	12.4	8.8

Порядковый номер Номер на карте 1992 г		Cu	Zn	Cd	Pb
		мг/кг			
1	1	18.1	66.3	0.4	15.2
2	11	17.3	62.9	0.8	27.9
3	12	14.8	60.6	0.4	11.3
4	15	17.6	62.3	0.5	16.2
5	24	16.7	68.1	0.7	17.7
6	31	18.9	63.4	0.4	13.3
7	35	16.7	72.9	0.4	12.1
8	40	14.2	52.7	0.5	15.3
9	61	16.0	58.2	0.5	16.1
10	63	21.4	82.1	0.5	16.7
11	71	17.6	67.2	0.8	18.3
12	81	15.2	59.6	0.4	12.5
13	85	16.0	51.9	0.4	11.3
14	201	18.9	78.3	0.5	14.1
15	215	15.2	65.3	0.4	11.1
16	221	16.6	70.9	0.5	14.4
17	225	18.3	83.9	0.5	17.1
18	227	16.8	56.6	0.5	17.3
19	230	11.7	56.8	0.5	16.5
20	1 AB	15.2	70.1	0.3	12.8
21	—	12.7	56.3	0.4	10.1
22	—	14.7	57.9	0.5	14.0

Приложение 5. Данные о плодородии почв согласно Агрохимическому паспорту сельхозугодий ООО «Опытное хозяйство», 2014 год

Почвы обозначены как чернозёмы выщелоченные тяжелосуглинистые

№ поля	площадь поля	Агрохимические показатели								Микроэл
		P ₂ O ₅	K ₂ O	pH	Гумус	Hr	S	ТТ	V	сера
	га	мг/кг	мг/кг	(KCL)	%	мг/100г	мг/100г	мг/100г	%	мг/кг
32	70	134	174	5,7	6,2	3,2	41,7	44,9	92,9	9,4
33	52	74	128	5,1	6,6	6,3	35,6	41,9	85	8,6
34	155	51	1484	5,4	6,8	4	39,9	43,9	90,9	7,9
35	178	64	96	5,4	6,6	5	39,3	44,3	88,7	6,7
36	58	136	85	5,3	6,7	5,6	40,8	46,4	87,9	6,6
37	32	223	93	5,1	6,2	7,9	40,8	48,7	83,8	7,4
38	81	84	97	5,7	7	4,6	42,6	47,2	90,3	8,1
39	180	59	96	5,3	6,6	4,6	39,3	43,9	89,5	7
40	27	117	166	5,3	6,6	4,9	36,8	41,7	88,2	5,5
41	173	156	212	5,8	6,6	3,3	40,1	43,4	92,4	6,8
42	184	103	182	5,4	7	5	39,9	44,9	88,9	6,9
43	102	102	169	5,3	6,3	5,4	36,2	41,6	87	7,7
44	212	199	151	5,5	6,7	5,2	40,9	46,1	88,7	7,1

Приложение 6. Химические свойства пробных площадок 2019 г.

№	pHН2О	pHКCl	Гумус %	Р мг/кг	К мг/кг	Мn мг/кг	Со мг/кг	Сu мг/кг	Зn мг/кг	Мо мг/кг	В мг/кг	Са ммоль- экв/100г	Mg ммоль- экв/100г	Al ммоль- экв/100г	N-NH4 мг/кг
1	5,8	5,0	6,5	81,1	178,3	24,1	0,04	0,06	0,21	0,0	2,2	13,7	2,7	8,9	40,8
2	5,9	5,1	6,2	262,9	328,8	29,0	0,04	0,07	0,18	0,0	2,6	14,3	2,6	12,1	43,4
3	5,7	4,9	7,4	202,3	255,5	27,9	0,04	0,1	0,25	0,0	2,1	12,5	2,5	9,0	24,3
4	5,9	5,0	7,2	66,7	136,8	15,1	0,03	0,1	0,37	0,0	2,3	14,4	2,7	9,1	21,8
5	5,7	5,0	6,7	68,0	210,7	22,9	0,04	0,06	0,22	0,0	2,0	12,5	2,3	8,2	24,1
6	5,8	5,0	7,4	61,1	134,1	13,1	0,02	0,06	0,15	0,0	2,0	13,8	2,3	12,5	26,9
7	6,4	5,2	8,1	114,0	331,3	8,2	0,02	0,08	0,2	0,0	2,2	12,7	2,2	3,4	7,3
8	6,3	5,5	7,8	84,7	315	25,2	0,04	0,07	0,64	0,0	1,7	12,1	3,3	12,6	0,0
9	6,1	5,1	6,7	101,8	177,4	17,6	0,03	0,14	0,43	0,0	2,2	13,3	2,4	15,3	38,9
10	6,5	5,5	4,8	54,9	125,6	11,6	0,02	1,14	0,14	0,0	1,8	14,6	2,0	9,6	23,8
11	8,0	7,2	5,8	32,0	68	9,8	0,02	0,68	0,13	0,0	1,9	17,3	1,0	3,5	44,4
12	6,8	5,7	6,2	22,8	130,6	6,2	0,02	0,98	0,22	0,0	1,2	15,7	2,6	4,2	2,5
13	7,6	6,8	8,5	281,1	625	13,6	0,03	0,93	0,4	0,0	2,0	10,4	1,6	9,2	15,2
14	6,7	5,7	8,6	75,6	144,4	7,8	0,02	0,89	0,21	0,0	2,1	13,1	2,3	6,0	0,0
15	6,5	5,4	7,4	50,1	140	3,2	0,01	1,09	0,18	0,0	1,4	12,0	2,3	2,3	0,0
16	6,6	5,4	8,1	105,3	107,5	7,4	0,02	0,87	0,69	0,0	1,9	13,3	2,3	5,6	0,0
17	6,5	5,3	6,4	79,4	151	3,6	0,02	1,12	0,18	0,0	2,0	12,1	2,1	2,7	0,0
18	6,5	5,3	7,0	61,2	96,7	3,7	0,02	0,9	0,15	0,0	1,8	12,2	2,2	2,1	0,0
19	6,9	5,9	8,3	165,9	117,1	6,4	0,01	0,76	0,17	0,0	2,7	15,3	2,0	4,4	8,9

20	5,6	4,7	7,1	66,1	212,7	2,6	0,01	0,1	0,32	0,0	1,4	7,8	1,4	2,4	11,4
21	8,3	7,4	5,4	938,2	30,7	15,7	0,02	0,14	0,25	0,0	1,4	19,9	1,3	3,4	5,5
22	7,8	6,8	5,4	61,8	91,6	2,4	0,00	0,09	0,2	0,0	2,0	16,0	1,8	2,3	12,7
23	6,8	5,9	7,8	363,3	446,8	2,0	0,00	0,07	0,37	0,0	2,3	12,5	2,8	3,2	0,0
24	6,5	5,3	7,1	16,3	150,6	1,8	0,01	0,07	0,27	0,0	1,1	10,6	2,7	4,0	0,0
25	6,9	6,1	9,4	132,4	180,8	3,4	0,00	0,1	0,47	0,0	2,4	13,9	3,6	5,7	0,0
26	6,6	5,8	6,8	74,8	150,7	1,6	0,01	0,07	0,23	0,0	1,7	13,5	3,4	2,3	39,2
27	6,9	8,1	5,1	87,9	122,5	3,4	0,00	0,1	0,2	0,0	1,7	16,9	2,2	2,3	8,2
28	6,1	5,3	5,9	41,8	76,4	2,2	0,00	0,08	0,19	0,0	1,4	10,4	2,0	2,6	0,0
29	6,3	5,3	6,6	152,6	106,8	3,3	0,00	0,09	0,22	0,0	2,2	16,0	3,2	3,6	92,8
30	4,9	5,3	7,1	159,9	411,8	7,1	0,02	0,21	0,4	0,0	2,0	16,0	2,6	4,5	89,5
31	6,5	7,0	6,4	1,4	87,1	19,9	0,03	0,2	0,3	0,0	1,8	22,1	1,3	7,9	45,2
32	6,6	7,0	5,7	120,1	166	4,1	0,02	0,17	0,18	0,0	2,6	19,9	2,1	5,9	80,5
33	6,1	6,5	6,8	533,0	527,4	4,2	0,01	0,14	0,56	0,0	2,6	15,4	3,3	5,0	84,6
34	5,7	6,3	6,9	53,4	355,3	4,3	0,01	0,14	0,45	0,0	1,6	14,8	3,6	5,7	72,7
35	6,0	6,5	7,5	171,0	176,1	4,0	0,01	0,17	0,37	0,0	2,8	18,0	4,3	9,5	52,9
36	5,8	6,3	7,0	173,7	277,4	4,2	0,02	0,15	0,28	0,0	2,7	19,5	4,5	3,8	160,3
37	6,5	7,1	5,9	198,9	212,9	4,9	0,01	0,17	0,2	0,0	2,3	20,7	2,4	4,3	51,8
38	5,8	6,3	5,7	94,6	148,7	3,8	0,01	0,17	0,21	0,0	1,8	18,1	3,2	4,4	36,0
39	5,5	5,9	6,6	332,3	168,9	5,4	0,01	0,17	0,27	0,0	2,1	19,3	3,5	5,7	236,4
40	5,9	7,0	6,4	119,1	125,9	2,9	0,00	0,06	0,16	0,0	1,6	16,3	3,0	2,9	36,7

41	5,5	6,3	6,0	26,9	90,8	3,1	0,00	0,06	0,13	0,0	2,5	17,5	3,3	3,2	10,3
42	5,4	6,4	5,9	63,9	111,5	3,0	0,00	0,06	0,13	0,0	1,3	17,4	3,4	2,3	7,7
43	4,8	5,4	7,3	92,2	201,4	10	0,00	0,07	0,26	0,0	2,1	15,9	3,1	7,4	312,1
44	6,4	7,3	4,8	48,6	155,4	3,4	0,00	0,08	0,14	0,0	1,3	16,4	1,8	2,5	13,6
45	6,1	7,2	6,5	132,7	147,1	5,2	0,00	0,09	0,24	0,0	1,4	16,6	2,6	3,6	45,1
46	6,0	6,8	6,5	487,8	883,9	4,4	0,00	0,08	0,22	0,0	1,9	13,4	1,9	4,3	82,1
47	6,9	8,1	5,0	66,8	107,6	6,0	0,00	0,08	0,11	0,0	1,3	18,7	1,5	2,4	14,6
48	5,3	6,5	5,8	53,2	78,3	2,3	0,00	0,05	0,11	0,0	1,4	16,7	2,1	2,8	19,7
49	4,7	5,7	5,1	777,4	131,4	3,5	0,01	0,06	0,18	0,0	1,0	14,4	3,0	2,1	40,2
50	8,1	7,0	6,1	136,4	141,8	6,1	0,01	0,1	0,14	0,0	1,9	19,0	1,4	2,9	23,7
51	6,6	5,6	6,0	94,5	116,2	4,2	0,01	0,08	0,16	0,1	2,1	16,4	2,6	57,0	27,2
52	6,8	5,7	5,1	60,2	126,7	4,1	0,01	0,06	0,13	0,0	1,9	8,7	1,2	6,7	24,2
53	6,3	5,5	11,5	219,4	355,5	7,2	0,02	0,1	0,64	0,0	2,2	15,9	2,9	4,6	41,1
54	6,3	5,2	6,8	161,0	181,1	4,5	0,01	0,07	0,18	0,0	2,5	16,5	2,4	5,4	33,4
55	6,2	5,1	7,9	278,5	333,5	5,8	0,02	0,11	0,25	0,0	2,4	15,3	2,4	4,7	40,2
56	5,9	4,9	8,1	105,5	204,5	5,8	0,02	0,07	0,19	0,0	2,6	14,5	2,1	5,6	34,2
57	6,0	5,1	8,5	223,4	606,2	5,9	0,02	0,09	0,36	0,0	2,6	14,2	2,5	5,0	49,5
58	6,2	5,2	8,6	340,0	466,6	6,1	0,02	0,07	0,3	0,0	3,2	15,0	2,3	4,3	31,9
59	5,8	4,8	7,8	100,7	218,8	8,6	0,03	0,09	0,33	0,0	2,1	15,8	2,5	5,5	31,2
60	5,9	5,1	7,7	86,9	322,7	5,6	0,00	0,06	0,21	0,0	1,9	16,1	2,5	3,4	142,7
61	6,2	5,3	7,7	97,4	435,7	4,3	0,00	0,07	0,26	0,0	1,8	15,5	2,6	2,8	96,4

62	7,1	6,3	8,9	87,5	404,6	5,8	0,00	0,08	0,26	0,0	2,8	17,2	2,4	2,7	167,6
63	6,1	5,2	7,9	69,7	443,9	4,7	0,00	0,06	0,27	0,0	2,1	15,1	2,6	2,6	105,7
64	6,0	5,1	8,3	57,0	260,3	3,8	0,00	0,07	0,24	0,0	2,1	16,8	2,8	3,3	136,2
65	6,1	5,2	8,0	50,0	261,2	4,2	0,00	0,08	0,53	0,0	2,0	16,8	3,0	2,4	108,2
66	7,2	6,2	5,0	54,8	265,6	4,7	0,00	0,07	0,16	0,0	1,2	14,2	1,5	2,9	86,0
67	5,7	4,9	8,1	51,4	251,6	5,4	0,00	0,07	0,26	0,0	1,9	14,7	2,5	2,9	101,0
68	5,8	4,9	8,6	64,9	228,7	5,5	0,00	0,06	0,25	0,0	2,1	15,5	2,7	8,8	78,4
69	6,2	5,2	7,1	42,7	202,2	3,7	0,00	0,06	0,19	0,0	1,8	15,6	2,5	13,0	94,2
70	5,3	6,2	6,1	114,3	235,7	4,1	0,01	0,14	0,27	0,0	1,9	18,5	3,1	5,0	90,8
71	6,2	6,8	5,8	109,3	174,9	4,3	0,01	0,16	0,18	0,0	1,8	22,2	2,1	7,3	85,2
72	5,8	6,5	6,4	128,5	219,5	3,6	0,01	0,22	0,24	0,0	2,4	20,0	3,2	4,2	123,3
73	5,8	6,6	6,8	127,2	212,1	6,1	0,01	0,12	0,23	0,0	2,8	20,8	3,5	5,1	118,4
74	6,2	6,8	6,4	544,8	488,1	5,5	0,02	0,17	0,64	0,0	2,6	13,7	2,9	6,9	101,1
75	6,5	7,0	6,6	650,1	860	20	0,01	0,27	1,27	0,0	2,9	16,2	2,4	6,1	118,3
76	6,5	6,8	6,8	547,1	624,6	8,5	0,01	0,19	0,96	0,0	2,6	18,2	2,4	4,6	82,6
77	6,2	6,6	6,2	636,1	364,1	5,5	0,02	0,13	0,25	0,0	2,2	18,6	2,8	4,5	128,5
78	6,7	6,4	6,1	231,8	273,7	5,4	0,01	0,33	0,23	0,0	2,1	17,5	3,3	4,3	90,3
79	5,3	5,9	6,1	192,2	215,5	6,5	0,01	0,25	0,24	0,0	2,0	18,0	3,4	5,0	178,1
80	6,1	5,3	5,8	230,6	170,6	2,8	0,00	0,09	0,27	0,0	2,1	16,9	1,7	5,9	179,6
81	5,8	5,0	6,2	131,0	156,7	3,8	0,01	0,17	0,3	0,0	2,0	13,0	1,3	6,4	136,2
82	6,0	5,2	8,6	89,0	171,2	1,6	0,01	0,1	0,18	0,0	3,0	15,0	1,5	4,8	163,8

83	5,6	4,8	6,9	101,3	159,4	4,4	0,01	0,12	0,27	0,0	1,7	15,6	1,8	6,1	118,7
84	5,8	4,9	7,2	234,8	318	3,8	0,01	0,13	0,28	0,0	2,0	13,6	1,4	5,1	105,7
85	7,9	7,0	8,1	34,4	206,7	5,9	0,02	0,14	0,25	0,0	2,6	20,7	0,8	5,9	179,6
86	6,2	5,3	8,3	109,6	162,8	2,8	0,01	0,16	0,19	0,0	2,7	15,9	1,9	6,0	116,0
87	6,1	5,3	7,7	82,9	233,4	3,4	0,00	0,48	0,28	0,0	2,6	15,6	1,9	4,5	171,5
88	5,9	5,0	7,0	51,4	105,7	4,3	0,01	0,15	0,28	0,0	2,3	15,1	1,6	5,2	113,3
89	5,9	5,0	6,2	74,9	139,4	3,3	0,01	0,26	0,24	0,0	2,4	14,7	1,7	4,7	142,7
90	5,8	6,1	7,7	2035,2	299,4	4,5	0,01	0,08	0,2	0,0	2,4	18,4	2,8	3,2	103,7
91	5,4	5,9	6,9	209,4	357	4,6	0,01	0,06	0,27	0,0	1,1	15,5	2,9	3,2	89,3
92	6,0	6,4	7,8	136,4	200,7	8,5	0,01	0,1	0,3	0,0	2,6	18,3	2,5	3,8	76,4
93	5,0	6,3	7,0	70,1	134,7	4,6	0,01	0,06	0,18	0,0	1,5	17,4	3,0	6,8	24,5
94	5,3	6,3	7,0	102,4	190,2	3,9	0,02	0,08	0,16	0,0	1,1	17,8	3,0	4,8	11,6
95	5,1	6,0	6,5	32,6	145,8	4,7	0,01	0,09	0,23	0,0	1,4	16,9	2,7	6,0	35,5
96	5,2	6,0	6,5	44,0	149,4	4,1	0,02	0,07	0,21	0,0	1,5	16,7	2,8	4,6	40,1
97	5,2	6,0	6,6	118,2	159,3	4,0	0,01	0,07	0,25	0,0	1,7	17,0	3,1	5,0	34,0
98	5,8	6,3	7,0	259,0	253,5	4,1	0,01	0,09	0,29	0,0	2,4	17,3	2,7	3,5	48,0
99	5,7	6,4	6,0	76,1	207,9	2,6	0,01	0,07	0,13	0,0	1,7	16,4	2,4	4,4	45,1
100	5,4	6,2	6,6	62,1	150,2	3,5	0,01	0,09	0,25	0,0	1,4	16,2	2,9	4,8	32,2
101	5,6	6,2	6,1	101,2	178,4	2,7	0,01	0,09	0,44	0,0	2,1	16,3	2,9	4,4	55,3
102	5,5	6,3	6,3	55,6	130,1	3,1	0,01	0,06	0,14	0,0	2,2	17,8	2,6	5,2	24,7
103	5,6	6,4	6,0	58,1	203,4	3,6	0,01	0,09	0,17	0,0	1,1	16,5	2,5	3,7	18,4

Приложение 7. Основные характеристики пробных площадок

№	X	Y	Почва	Гран. Состав	Почвообразующие породы	Положение в рельефе
1	38,880211	53,629051	овражно-балочный комплекс	средне-тяжело-суглинистый	лессовидные суглинки, делювиальные отложения	склоны и днища балок и оврагов
2	38,87638	53,627953	овражно-балочный комплекс	средне-тяжело-суглинистый	лессовидные суглинки, делювиальные отложения	склоны и днища балок и оврагов
3	38,871806	53,628301	чернозем выщелоченный среднетощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
4	38,869034	53,627647	чернозем выщелоченный среднетощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
5	38,869721	53,629889	чернозем выщелоченный среднетощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
6	38,867472	53,630386	чернозем выщелоченный среднетощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
7	38,864552	53,632659	лугово-черноземная	тяжелосуглинистый	лессовидный суглинок	лощины стока
8	38,863867	53,626297	овражно-балочный комплекс	средне-тяжело-суглинистый	лессовидные суглинки, делювиальные отложения	склоны и днища балок и оврагов

9	38,849841	53,624469	чернозем выщелоченный среднемощный среднесмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	покатые склоны
10	38,833357	53,623853	чернозем выщелоченный среднемощный среднесмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	покатые склоны
11	38,828197	53,619004	дерново-карбонатная малокаменистая	среднесуглинистый	элювий известняков	пологие и покатые склоны
12	38,82402	53,614219	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	среднесуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
13	38,814678	53,61102	чернозем оподзоленный мощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	выположенные шлейфы
14	38,759141	53,586409	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	среднесуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
15	38,748861	53,586041	чернозем оподзоленный среднемощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
16	38,750799	53,588216	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	среднесуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
17	38,743803	53,589488	лугово-черноземная	тяжелосуглинистый	лессовидный суглинок	лощины стока
18	38,720634	53,591491	чернозем оподзоленный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие и пологие склоны, террасы

19	38,735718	53,59305	чернозем оподзоленный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие и пологие склоны, террасы
20	38,740928	53,592237	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	среднесуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
21	38,736262	53,59892	чернозем оподзоленный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие и пологие склоны, террасы
22	38,725047	53,600508	чернозем оподзоленный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие и пологие склоны, террасы
23	38,723306	53,595203	чернозем оподзоленный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие и пологие склоны, террасы

24	38,737588	53,609367	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
25	38,735865	53,613372	овражно-балочный комплекс	средне-тяжело- суглинистый	лессовидные суглинки, делювиальные отложения	склоны и днища балок и оврагов
26	38,739705	53,613381	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
27	38,745079	53,613343	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
28	38,735645	53,606353	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
29	38,838352	53,612988	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	среднесуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
30	38,852459	53,618177	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны

31	38,837454	53,604961	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	среднесуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
32	38,834478	53,599162	аллювиальная луговая	среднесуглинистый	аллювиальные отложения	слабодренируемая пойма реки Дон
33	38,835993	53,593502	чернозем оподзоленный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие и пологие склоны, террасы
34	38,794744	53,611103	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
35	38,805026	53,611024	аллювиальная	среднесуглинистый	аллювиальные отложения	пойма реки Дон
36	38,803266	53,602422	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
37	38,795141	53,599451	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
38	38,785221	53,593986	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	среднесуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны

39	38,77455	53,587282	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	среднесуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
40	38,764973	53,594233	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
41	38,776348	53,600697	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
42	38,791332	53,608194	лугово-черноземная	тяжелосуглинистый	лессовидный суглинок	лощины стока
43	38,807956	53,602638	чернозем оподзоленный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие и пологие склоны, террасы
44	38,815912	53,600965	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
45	38,82229	53,597399	чернозем оподзоленный мощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	выположенные шлейфы
46	38,809389	53,599471	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны

47	38,80026	53,596816	лугово-черноземная	тяжелосуглинистый	лессовидный суглинок	лощины стока
48	38,802603	53,593432	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабополгие склоны
49	38,808322	53,589831	лугово-черноземная	тяжелосуглинистый	лессовидный суглинок	лощины стока
50	38,789155	53,610503	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
51	38,786339	53,613695	чернозем выщелоченный среднемощный среднесмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	покатые склоны
52	38,781472	53,612458	чернозем выщелоченный среднемощный среднесмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	покатые склоны
53	38,773343	53,61073	ГЛФ			
54	38,7671	53,610867	лугово-черноземная	тяжелосуглинистый	лессовидный суглинок	лощины стока
55	38,760406	53,609179	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
56	38,757776	53,606868	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны

57	38,755277	53,603285	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
58	38,752403	53,598028	чернозем оподзоленный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие и пологие склоны, террасы
59	38,757045	53,598421	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
60	38,744862	53,597828	лугово-черноземная	тяжелосуглинистый	лессовидный суглинок	лощины стока
61	38,795121	53,58067	овражно-балочный комплекс	средне-тяжело- суглинистый	лессовидные суглинки, делювиальные отложения	склоны и днища балок и оврагов
62	38,784011	53,618137	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	среднесуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
63	38,777106	53,617702	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	среднесуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны

64	38,769631	53,617328	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
65	38,762069	53,616929	лугово-черноземная	тяжелосуглинистый	лессовидный суглинок	лощины стока
66	38,763068	53,613993	чернозем выщелоченный среднемощный среднесмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	покатые склоны
67	38,760773	53,620655	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
68	38,759455	53,625663	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
69	38,7667	53,626222	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
70	38,773768	53,626647	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
71	38,778838	53,627149	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны

72	38,783272	53,623786	чернозем выщелоченный среднемощный среднесмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	покатые склоны
73	38,785222	53,621173	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	среднесуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
74	38,796767	53,617424	аллювиальная	среднесуглинистый	аллювиальные отложения	пойма реки Дон
75	38,804413	53,615744	лугово-черноземная	тяжелосуглинистый	лессовидный суглинок	лощины стока
76	38,809122	53,613613	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
77	38,813521	53,615847	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
78	38,818727	53,617298	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
79	38,813814	53,620272	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
80	38,807706	53,623953	лугово-черноземная	тяжелосуглинистый	лессовидный суглинок	лощины стока

81	38,814088	53,625842	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
82	38,822646	53,625991	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
83	38,797534	53,627986	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
84	38,796644	53,623061	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
85	38,829572	53,612626	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	среднесуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
86	38,836538	53,609908	дерново-карбонатная малокаменистая	среднесуглинистый	элювий известняков	пологие и покатые склоны
87	38,863995	53,622543	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны

88	38,878869	53,621268	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
89	38,888078	53,618865	чернозем оподзоленный среднемощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
90	38,880441	53,613816	чернозем выщелоченный маломощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	вершины водоразделов
91	38,872024	53,610494	влажно-луговая	тяжелосуглинистый	лессовидный суглинок	плоходренируемые лощины, блюдцеобразные понижения
92	38,864144	53,615304	лугово-черноземная	тяжелосуглинистый	лессовидный суглинок	лощины стока
93	38,854488	53,611587	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	среднесуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
94	38,848359	53,606469	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	среднесуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабопологие склоны
95	38,860326	53,608018	чернозем выщелоченный маломощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	вершины водоразделов

96	38,857705	53,604196	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	среднесуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабополгие склоны
97	38,84937	53,601161	чернозем выщелоченный маломощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	вершины водоразделов
98	38,842719	53,597836	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
99	38,842505	53,592344	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
100	38,846049	53,586853	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	среднесуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
101	38,849698	53,582815	чернозем выщелоченный среднемощный малогумусный слабосмытый	среднесуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	пологие склоны
102	38,853542	53,588881	чернозем выщелоченный маломощный среднегумусный	тяжелосуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	вершины водоразделов
103	38,855508	53,598131	лугово-черноземная	тяжелосуглинистый	лессовидный суглинок	лощины стока
104	38,864094	53,604424	чернозем выщелоченный среднемощный среднегумусный	среднесуглинистый	лессовидный карбонатный суглинок	водораздельные участки слабополгие склоны