

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ДРУЖБЫ НАРОДОВ»

АГРАРНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Агроинженерный департамент

«Допустить к защите»

Директор департамента

_____ А. А. Поддубский

«__» _____ 2022 г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
Магистра

Направление 21.04.02 «Землеустройство и кадастры»
специализация «Технологии геодезических и кадастровых работ»

ТЕМА: «Научное обоснование создание карбоновой фермы на землях
Почвенного института им. В.В. Докучаева»

Выполнил студент: Псарёва Алёна Павловна

Группа: СЗКмд-01-20

Руководитель выпускной
квалификационной работы
кандидат технических наук,
доцент

Поддубский А.А. _____
(подпись)

Студ. билет №1032202274

Консультант
академик, доктор сельскохозяйственных
наук, профессор института экологии

Савин И.Ю. _____
(подпись)

Автор _____
(подпись)

Москва, 2022

**Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
"Peoples' Friendship University of Russia"**

ANNOTATION

graduation qualification work

Psareva Alena Pavlovna

The final qualification work on the topic "Scientific substantiation of the creation of a carbon farm on the lands of the Dokuchaev Soil Science Institute". Dokuchaev" consists of: introduction; 4 chapters; conclusion; list of references. The work is set out on 111 pages. The number of illustrations - 21, the number of tables - 22. The number of sources used - 80.

Key words: carbon balance, carbon farms, geoinformation modeling, carbon sequestration, land allocation.

The aim of the work is to study the existing approaches for the creation of carbon farms and to propose a new method for placing different types of land, taking into account the maximum carbon sequestration capacity (sequestration) based on modern computer technology.

Approbation of the proposed approaches to the creation of a carbonic farm was carried out on the example of the lands of the VNIIMZ farm in Kalininsky district of Tver region.

The whole process of geoinformation modeling was carried out with the use of the GIS ILWIS v.3.31 application software package.

Author



Psareva Alena

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования**

«Российский университет дружбы народов»

АННОТАЦИЯ

выпускной квалификационной работы

Псарёва Алёна Павловна

(фамилия, имя, отчество)

Выпускная квалификационная работа на тему «Научное обоснование создание карбоновой фермы на землях Почвенного института им. В.В. Докучаева» состоит из: введения; 4 глав; заключения; списка литературы. Работа изложена на 111 страницах. Количество иллюстраций – 21, количество таблиц – 22. Количество использованных источников – 80.

Ключевые слова: баланс углерода, карбоновые фермы, геоинформационное моделирование, секвестрация углерода, размещение земельных угодий.

Цель работы – изучить существующие подходы для создания карбоновых ферм и предложить новый метод размещения различных типов угодий с учетом максимальной поглощающей способности (секвестрации) углерода на основе современных компьютерных технологий.

Апробация предложенных подходов к созданию карбоновой фермы проводилась на примере земель хозяйства ВНИИМЗ Калининского района Тверской области.

Весь процесс геоинформационного моделирования был проведён с использованием пакета прикладных программ ГИС ILWIS v.3.31.

Автор ВКР



(подпись)

Псарёва А.П.
ФИО

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМА БАЛАНСА УГЛЕРОДА В СВЕТЕ НАБЛЮДАЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА	6
1.1. Баланс углерода.....	6
1.2. Карбоновые фермы и их предназначение.....	10
1.3. Процесс создания карбоновых ферм	11
1.4. Типы карбоновых ферм	15
1.5. Углеродное сельское хозяйство – опыт России и зарубежных стран....	18
ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА	29
2.1. Годовое изменение запасов органического углерода.....	29
2.2. Земли, преобразованные в пахотные угодья.....	35
2.3. Земли, преобразованные в лесные угодья.....	44
2.4. Земли, преобразованные в пастбища	49
2.5. Земли, преобразованные в водно-болотные угодья	52
2.6. Земли, преобразованные в населенные пункты.....	56
2.7. Земли, преобразованные в «другие земли».....	57
ГЛАВА 3. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ	60
3.1. Земельные ресурсы тестового хозяйства и их использование	60
3.2. Метеоусловия	61
3.3. Рельеф	62
3.4. Почвы	64
3.5. Использование земель	68
3.6. Программное обеспечение ГИС ILWIS 3	70
3.7. Стратегия исследований	72
ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА	74
4.1. Оценка пригодности земель по рельефу	74
4.2. Оценка пригодности земель по почвам.....	77
4.3. Оценка пригодности земель для разных типов угодий	81
4.3. Потенциальные культуры и способы использования земель для разных типов угодий.....	84
4.5. Решение задач оптимизации в Microsoft Excel 2010	95

4.6. Карта распределения площадей для сценария распределения площадей с максимально поглощающей способностью	97
4.7. Выводы.....	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	101
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	102

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования

Для сдерживания негативных процессов антропогенной деятельности необходим переход к высоким углеродным стандартам, установленным во многих странах. Глобальная торговля квотами на выбросы парниковых газов стимулирует процесс создания карбоновых ферм. Такие фермы являются неотъемлемой частью в новом направлении деятельности для Российской Федерации – секвестрации углерода.

Для создания карбоновой фермы необходимо четко представлять главные процессы функционирования такой фермы и факторы, влияющие на максимальную поглотительную способность углерода угодыями, расположенными на ее территории.

В настоящий момент на территории РФ отсутствуют, как карбоновые фермы, так и соответствующая методология и статистическая база для их создания. Развитие индустрии секвестрации углерода делает востребованным научное обоснование и теоретические исследования в области разработки и создания карбоновых ферм. Это и предопределяет актуальность нашего исследования.

Цели и задачи магистерской диссертации

Цель работы – изучить существующие подходы для создания карбоновых ферм и предложить новый метод размещения различных типов угодий с учетом максимальной поглощающей способности (секвестрации) углерода на основе современных компьютерных технологий.

Для достижения поставленной цели было необходимо решать следующие задачи:

- 1 Изучить проблематику баланса углерода, создания карбоновых ферм и опыт России и зарубежных стран;

2. Изучить земельные ресурсы хозяйства ВНИИМЗ (Калининский район Тверской области) и создать почвенно-земельную ГИС на территорию хозяйства

3. Построить пространственные сценарии оптимального с точки зрения секвестрации углерода размещения земельных угодий хозяйства.

Практическая значимость Предложенный подход может быть использован для разработки планов внутрихозяйственного землеустройства и размещения сельскохозяйственных угодий с целью повышения землями хозяйства секвестрации углерода.

Объект исследования Апробация предложенных подходов к созданию карбоновой фермы проводилась на примере земель хозяйства ВНИИМЗ Калининского района Тверской области.

Предмет исследования

1. Цифровая версия почвенной карты хозяйства ВНИИМЗ Калининского района Тверской области
2. Цифровая модель рельефа, полученная в результате спутниковой съемки с пространственным разрешением 90 метров на местности (SRTM);
3. Векторные данные о текущем использовании земель, полученные с использованием данных съемки территории хозяйства с БПЛА
4. Метеорологические данные метеослужбы Meteoblue

Весь процесс геоинформационного моделирования был проведён с использованием пакета прикладных программ ГИС ILWIS v.3.31.

Теоретическая и методологическая база В основе методов исследования были выбраны библиографический, ситуационный и логический анализ отечественных и зарубежных источников, а также нормативно-правовых документов по тематике работ.

ГЛАВА 1. ПРОБЛЕМА БАЛАНСА УГЛЕРОДА В СВЕТЕ НАБЛЮДАЕМЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

1.1. Баланс углерода

Проблема баланса углерода является весьма актуальной для Российской Федерации. Это связано с тем, что в России развиты ресурсоемкие и энергодобывающие отрасли, теплоэнергетика и машиностроение, которые сильно влияют на нарушение круговорота углерода. По причине ускорения процесса перехода от аграрного общества к промышленному в атмосфере образовался антропогенный углекислый газ, который является результатом научно-технического процесса и бурного развития энергетических отраслей промышленности. В связи с чем образовались ощутимые изменения в биосфере на Земле.

Сформированная миллиардами лет биосфера перегружена в результате работ человечества по освоению средств для жизнедеятельности. Возникла проблема охраны окружающей среды из-за тесной связи при взаимодействии человека и природы. Сейчас стоит важная для человечества задача – изменить отношение граждан к природопользованию и согласовать и организовать сотрудничество между странами в этой области. Многие климатические исследования ученых из многих стран установили взаимосвязь между проблемой глобального потепления и выбросами парниковых газов [59].

Необходимо изначально понимать, что парниковых эффект не является катаклизмом, потому что благодаря ему на Земле могут существовать живые организмы, включая человека. Вопрос изначально заключается в том, что чрезмерность этого процесса выходит за допустимый предел. Именно поэтому парниковый эффект стал угрозой для живых организмов на нашей планете. Людям необходимо понимать какую угрозу он представляет и каким образом можно ее избежать. Газы, имеющиеся в атмосфере Земли, выступают в роли «парника», по той причине, что они задерживают отраженные лучи Солнца близ поверхности Земли. Благодаря углекислому газу, задерживается тепло,

которое в свою очередь испускается земной поверхностью. Без парникового эффекта Земля остывала бы намного быстрее и стала бы непригодной для жизни человека из-за отсутствия тепла для поддержания жизни.

С переходом в индустриальную эпоху отходы хозяйственной деятельности стали поступать в атмосферу в виде парниковых газов. Увеличение концентрации углекислого газа привело к повышению температуры атмосферы. Главным образом это произошло по причине сжигания природного газа, а также угля и нефти. Глобальная вырубка лесных массивов является еще одной причиной роста объемов углекислого газа в атмосфере [78].

Между концентрацией парниковых газов в атмосфере и температурой «приземного» воздуха существует существенная взаимосвязь (рисунок 1). Анализируя данные за последние 100 лет, можно сделать вывод, что парниковые газы поступали в атмосферу намного быстрее, чем они удалялись из атмосферы с помощью естественных поглотителей [47].



Рисунок 1 - Динамика концентрации углекислого газа в атмосфере и глобальной температуры приземного воздуха [62]

Над проблемой углеродного баланса ученые задумывались уже давно, например, естествоиспытатель Джозеф Пристли еще в 1771 году в Англии

выдел решение проблемы углеродного цикла таким образом – по его мнению, необходимо перемещать углерод из атмосферы с помощью растений и животных обратно в атмосферу [17]. Но на самом деле составление углеродного баланса является сложным процессом, который требует качественных и количественных оценок как естественных, так и антропогенных потоков углерода в природе.

Выделяют 2 вида углеродного цикла – быстрый и медленный.

Быстрым углеродным циклом называют процесс, когда миграция углерода происходит на протяжении определённого временного периода. Для атмосферы – на протяжении нескольких лет, для растительности, почвы и океана – на протяжении нескольких десятилетий с учётом объема и мощности пула углерода.

Медленным углеродным циклом (также осадочным) называют цикл, где процесс пополнения запаса углерода происходит в связи с вулканическими извержениями, эрозионной активностью или же с его накоплением в горных породах [78].

Учёные и специалисты из разных стран и 58 научных учреждений подготовили методологию и способы расчёта потоков глобального углеродного баланса [17]. Точная оценка антропогенных выбросов двуокиси углерода (CO_2) и их перераспределения в атмосфере, океане и земной биосфере важна для лучшего понимания глобального углеродного цикла, поддержки разработки политики в области климата и прогнозирования будущих изменений климата.

В этом первоисточнике описываются наборы данных и методология количественной оценки всех основных компонентов глобального углеродного бюджета, включая их неопределенности, на основе сочетания ряда данных, алгоритмов, статистики и модельных оценок, и их интерпретации широким научным сообществом. А также обсуждаются изменения по сравнению с предыдущими оценками, и согласованность внутри и между компонентами, наряду с методологией и ограничениями данных.

Согласно [17], рассчитать равновесие глобальной антропогенной эмиссии углерода и его миграции в атмосфере – океане – суши можно по формуле:

$$E_{FF} + E_{LUC} = G_{ATM} + S_{OCEAN} + S_{LAND},$$

Где

E_{FF} – выбросы, образованные в результате производства цемента и сжигания ископаемого топлива;

E_{LUC} – выбросы, образованные в результате землепользования и лесопользования;

G_{ATM} - содержание углерода в атмосфере;

S_{OCEAN} – содержание углерода в океане;

S_{LAND} – содержание углерода в совокупности всех живых и биокосных организмах суши.

Известно, что проблема секвестрации углерода имеет глобальный масштаб и она наиболее очевидна для крупных территорий (отдельных стран, ландшафтных зон, климатических зон). Необходимо понимать, что проблематика затрагивает не только крупные регионы, но и значительно меньшие территории – мезорегионы. Сочава В.Б. в своей книге отмечал, что «мы можем мыслить большой круговорот субстанции в географической среде как иерархию подчиненных друг другу и как бы вложенных в один другой круговоротов...» [72].

На данный момент циклы углерода на меньших территориях не учитывались во многих исследованиях. Для проведения анализа и исследований крупномасштабных явлений и процессов необходим обязательный учёт региональных и локальных особенностей. Коломыц Э.Г. и Сурова Н.А. (2019) отмечают, что «...практически отсутствуют прогнозы климатогенной динамики экосистемных параметров, осуществляющих

биотическую регуляцию содержания углекислого газа в атмосфере и всего углеродного цикла...» [55].

1.2. Карбоновые фермы и их предназначение

Создание карбоновых ферм — это один из подходов к оптимизации поглощения углерода путем внедрения методов, которые, увеличивают скорость удаления CO₂ из атмосферы и его накопления в органических веществах растений и/или почвы на сельскохозяйственных угодьях. Основная мысль углеродного земледелия заключается в том, что главное место в экосистеме занимает Солнце, а именно солнечная энергия, а углерод выступает в роли носителя этой энергии в агроландшафте. Углеродное земледелие является синонимом термина "регенеративное сельское хозяйство", когда этот термин явно основан на понимании базовой динамики системы и процессов положительной обратной связи, которые фактически делают возможным "регенеративную" тенденцию повышения плодородия почвы и продуктивности земель [38].

Альдо Леопольд определил плодородие почвы как "способность почвы получать, накапливать и высвобождать энергию" [69]. Признавая, что углерод является энергетической ценностью живых систем - как среда, через которую солнечная энергия поступает и излучается в пищевую сеть и сельскохозяйственную систему — процесс создания карбоновых ферм базируется на возможностях повышения способности сельскохозяйственной системы "получать, хранить и высвобождать" эту энергию.

Карбоновое фермерство является успешным, когда накопление углерода в результате усовершенствованного управления земельными ресурсами и усовершенствованных мероприятий по охране природы превышает потери углерода.

1.3. Процесс создания карбоновых ферм

Углеродные методы ведения сельского хозяйства - это методы управления, которые приводят к связыванию углерода и/или сокращают выбросы парниковых газов. По меньшей мере тридцать пять этих методов определены Службой охраны природных ресурсов США (NRCS) как методы охраны природы, которые улучшают качество почвы и секвестрируют углерод, обеспечивая при этом важные сопутствующие выгоды, включая: увеличение водоудерживающей способности почвы, гидрологическую функцию, биоразнообразие и устойчивость. Факторы, которые учитываются при создании карбоновой фермы показаны на рисунке 2.

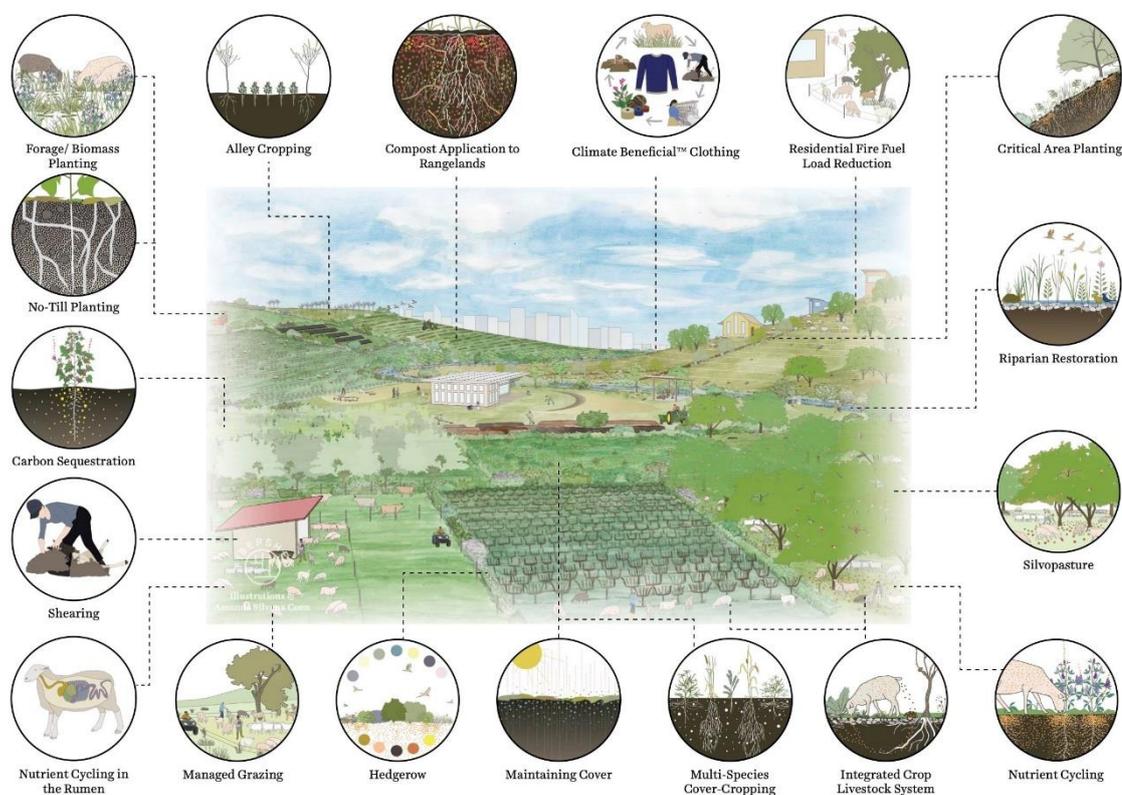


Рисунок 2 - Карбоновая ферма и необходимые факторы для её реализации [46].

В институт углеродного цикла (Carbon Cycle Institute) разработали методологию разработки землеустроительных планов углеродных ферм (CFP), объединяющий планирование всего хозяйства и оценку ресурсов в рамках комплексного планирования [18].

Планирование углеродных ферм возникло как подход к оптимизации улавливания углерода на сельскохозяйственных землях. Обычно команда специалистов по планированию углеродных ферм работает с фермерами или владельцами скотоводческих хозяйств, чтобы оценить все возможности для сокращения выбросов парниковых газов и связывания углерода на их земле. В процессе сочетаются традиционные подходы к планированию всего хозяйства и оценке ресурсов с современными достижениями климатологии для разработки комплексного плана фермы, ориентированного на секвестрацию углерода.

В конечном счете, процесс планирования углеродных ферм способствует трансформации сельхозтоваропроизводителей в углеродных фермеров, поддерживая их понимание углерода как мощного организующего принципа для управления их землей. В процессе планирования углеродных ферм эксперты по углеродному земледелию работают с производителями, чтобы определить возможности для связывания углерода во всей системе земледелия их хозяйств.

Набор онлайн-инструментов планирования и моделирования выбросов парниковых газов (COMET Planner и COMET Farm), разработанный исследователями Университета штата Колорадо при поддержке NRCS, CCI и проекта Marin Carbon (США), облегчает процесс разработки CFP и позволяет оценить потенциальные выгоды от плана по выбросам парниковых газов [18]. В дополнение к сокращению выбросов парниковых газов и поглощению углерода в почвах и растительности, реализация плана углеродных ферм имеет важные сопутствующие преимущества, включая повышение производительности, повышение влагоудерживающей способности почвы и улучшение гидрологических функций, биоразнообразия и устойчивости к изменению климата.

COMET-Farm - это система учета углерода и парниковых газов на всей ферме и ранчо [21]. Этот инструмент позволяет моделировать методы управления фермой и ранчо, включая построение альтернативных сценариев

управления фермой в будущем. После завершения моделирования создается отчет, в котором сравниваются изменения выбросов углерода и парниковых газов между текущими методами управления и будущими сценариями. COMET-Farm оценивает "углеродный след" для всей или части фермы/ранчо и позволяет оценить различные варианты, которые пользователь выбирает, для сокращения выбросов парниковых газов и связывания большего количества углерода. Даются общие рекомендации по возможным изменениям в практике управления, которые, должны привести к связыванию углерода и сокращению выбросов парниковых газов.

В многочисленных анализах и обзорах литературы изучалось влияние ряда изменений в землепользовании, методов управления сельским хозяйством и стратегий по снижению воздействия на поглощение углерода и сокращение выбросов парниковых газов [23].

В ходе исследований землеустройство и сельскохозяйственная деятельность сравнивались со стандартами природоохранной практики Службы охраны природных ресурсов США (CPS) и приводились в соответствие с ними для оценки воздействия внедрения природоохранной практики Службы охраны природных ресурсов на фермерские хозяйства с точки зрения связывания парниковых газов и углерода. В первой версии COMET-Planner (опубликованной в январе 2015 года) коэффициенты сокращения выбросов были получены на основе мета-анализов и обзоров литературы и были обобщены на национальном уровне и дифференцированы по широким климатическим зонам, определенным Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК).

В текущей версии COMET-Planner пересмотрели подход к оценке выбросов с целью:

- 1) полного согласования методологии согласования оценки сокращения выбросов углерода с помощью методов инвентаризации парниковых газов Министерства сельского хозяйства США и с использованием данных COMET-Farm [27],

- 2) улучшения пространственного разрешения оценок от субнационального масштаба до регионов, включающих несколько округов, и
- 3) добавления вариантов внедрения более специфических для региона вариаций стандартов природоохранной практики.

Основными источниками выбросов парниковых газов в сельском хозяйстве на пахотных землях (за исключением риса) являются углекислый газ из почвы и закись азота от использования азотных удобрений [27]. Технологии, вызывающие нарушение почвы, такие как обработка почвы, могут увеличить выбросы углекислого газа из почвы, тогда как методы, уменьшающие нарушение почвы или способствующие повышению содержания углерода в органическом веществе, могут способствовать поглощению углерода в почве [39]. В результате ранее проведенных исследований было установлено, что применение нулевой или щадящей обработки почвы увеличивает накопление углерода в почве по сравнению с обычной обработкой почвы [23].

Поступление углерода в органическое вещество может быть увеличено за счет более интенсивного поступления растительных остатков от более продуктивных однолетних культур, увеличения частоты посевов или включения многолетних культур в севооборот. Таким образом, такие практики, как ресурсосберегающие севообороты, включающие многолетние культуры или повышение частоты посевов, использование сезонных покровных культур или полосное возделывание с многолетними культурами могут увеличить поглощение углерода в почве.

Поступление органического вещества также может быть увеличено за счет добавления удобрений из органического вещества, таких как мульчирование соломой или растительными остатками (высокое соотношение C:N), или удобрений, которые могут полностью или частично заменить азотные удобрения, таких как навоз или другие органические удобрения и побочные продукты. Выбросы оксидов азота в сельскохозяйственных почвах составляют примерно 4,5 процента от общего объема выбросов парниковых

газов в США [25]; однако существует ряд методов, которые фермеры могут использовать для снижения выбросов и оксидов азота. Наиболее распространенным источником выбросов оксидов азота при управлении почвами является использование азотных удобрений [25].

Стратегии управления питательными веществами могут включать снижение нормы внесения азотных удобрений или использование ингибиторов нитрификации [31]. Сокращение нормы внесения азота, особенно если его добавление превышает потребность растений, имеет значительный потенциал для снижения выбросов оксидов азота. Ингибиторы нитрификации подавляют деятельность микроорганизмов, которые производят выбросы, и могут повысить доступность азота для растений [9]. Частичная замена минеральных азотных удобрений органическими добавками, такими как навоз или компост, оказывает незначительное влияние на выбросы оксидов азота, но может значительно увеличить содержание углерода в почве [34].

Помимо почвенных процессов, выбросы углекислого газа от использования ископаемого топлива могут быть основным источником выбросов парниковых газов на ферме [19]. Повышение топливной эффективности сельскохозяйственного оборудования позволит сократить выбросы углекислого газа при выращивании, сборе урожая и хозяйственной деятельности.

1.4. Типы карбоновых ферм

В настоящее время на территории Российской Федерации для мезорегионов проводится небольшое количество исследований с учетом обсуждения проблемы углеродного цикла, поэтому и не существует методических указаний для подобного рода исследований.

Земельный сектор является ключевым для достижения климатически нейтральной экономики, поскольку он может улавливать CO₂ из атмосферы. Однако, чтобы побудить сельскохозяйственный и лесной секторы к принятию

мер по борьбе с изменением климата и внести свой вклад в решение проблемы поддержания углеродного баланса, необходимо создавать прямые стимулы для внедрения практики, благоприятной для климата, поскольку в настоящее время не существует целенаправленного политического инструмента для значительного стимулирования увеличения накопления углерода.

По этой причине, например, в декабре 2021 года Европейская Комиссия приняла документ «Сообщение об устойчивых углеродных циклах», как было объявлено в Стратегии "The Farm to Fork" [73]. В сообщении изложены краткосрочные и среднесрочные меры, направленные на решение текущих проблем углеродного земледелия с целью расширения масштабов этой зеленой бизнес-модели, которая вознаграждает землепользователей за применение методов, ведущих к связыванию углерода, в сочетании со значительными преимуществами для биоразнообразия. К ним относятся:

- продвижение практики углеродпоглощающего земледелия в рамках Единой сельскохозяйственной политики (САР) и других программ ЕС, таких как LIFE и Horizon Europe, в частности, в рамках миссии "A Soil Deal for Europe" [26], а также в рамках национального государственного финансирования;

- продвижение вперед стандартизации методологий мониторинга, отчетности и верификации для обеспечения четкой и надежной основы для углеродпоглощающего земледелия;

- предоставление улучшенных знаний, управления данными и специализированных консультационных услуг для управляющих земельными ресурсами.

Примеры эффективной практики углеродного фермерства включают:

- Лесоразведение и лесовосстановление с соблюдением экологических принципов, благоприятствующих биоразнообразию, и расширенное устойчивое управление лесами, включая методы, благоприятные для биоразнообразия, и адаптацию лесов к изменению климата;

- Агролесоводство и другие формы смешанного земледелия, сочетающие древесную растительность (деревья или кустарники) с системами растениеводства и/или животноводства на одной и той же земле;

- Использование промежуточных культур, покровных культур, ресурсосберегающей обработки почвы и повышение качества ландшафта: защита почв, снижение потерь почвы в результате эрозии и повышение содержания органического углерода в почве на деградированных пахотных землях;

- Целенаправленное преобразование пахотных земель в залежь или участков, отведенных под пастбища, в постоянные пастбища;

- Восстановление торфяников и водно-болотных угодий, что уменьшает окисление существующего запаса углерода и увеличивает потенциал для связывания углерода.

Европейская Комиссия уже содействовала развитию углеродного земледелия в своих рекомендациях по стратегическим планам стран-членов Единой сельскохозяйственной политики Европейского союза (ЕСХП) [49] и планирует продолжать описывать возможности углеродного земледелия в своей дальнейшей оценке планов ЕСХП до их принятия в 2022 году.

Кроме того, чтобы обеспечить ясность в отношении качества оценки поглощения углерода и решить проблему отсутствия стандартизации, в 2022 году Европейская Комиссия планирует выступить с законодательным предложением по разработке нормативной базы для сертификации поглощения углерода на основе надежного и прозрачного учета углерода и мониторинга, и проверки качества оценок.

Углеродное (карбоновое) сельское хозяйство относится к управлению углеродными запасами и потоками парниковых газов на уровне фермы с целью смягчения последствий изменения климата. Это включает в себя управление как землей, так и скотом, всеми запасами углерода в почвах и растительности, а также потоками углекислого газа (CO₂) и метана (CH₄), а

также закисью азота (N₂O) (которая включена в число соответствующих потоков парниковых газов в сельскохозяйственном секторе Межправительственной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК)) [14].

1.5. Углеродное сельское хозяйство – опыт России и зарубежных стран

Углеродное сельское хозяйство и углеродное лесное хозяйство - это концепции управления земельными ресурсами, которые впервые появились в глобальном контексте после вступления в силу Киотского протокола (КП) в 2004 году [77]. Несколько стран и организаций, таких как Новая Зеландия и Verified Carbon Standard, начали тестировать и изучать рыночные схемы, предлагающие организациям, управляющим земельными ресурсами, меры стимулирования для управления углеродным балансом на территориях ферм или земельных участков.

В последние годы, после подписания Парижского соглашения и признания решений, основанных на сохранении окружающей среды и достижении климатической нейтральности не позднее 2050 года, интерес со стороны частного сектора к этому вопросу возрос.

В ЕК Европейская зеленая сделка (the European Green Deal) [8] 2019 года изменила направление работ. Стратегия " The Farm to Fork " [28], пакет " The Circular Economy " и предстоящая коммуникация " Fit for 55% Communication " [20] ясно показывают, что земельный сектор нуждается во внедрении стимулов для управления выбросами углерода, чтобы обеспечить необходимые трансформационные изменения к 2050 году.

Европейский союз разработает нормативную базу для мониторинга и проверки подлинности поглощения углерода в сельском (и лесном) хозяйстве, которая будет опубликована в 2023 году в EU Carbon Farming Initiative (Инициатива Европейского союза по углеродному сельскому хозяйству). Нормативная база была запущена в 2021 году для продвижения новой бизнес-модели устойчивого развития. Европейская комиссия приняла ряд

предложений, направленных на то, чтобы политика ЕС в области климата, энергетики, транспорта и налогообложения соответствовала сокращению чистых выбросов парниковых газов по крайней мере на 55% к 2030 году по сравнению с уровнями 1990 года [53].

Изменение климата и ухудшение состояния окружающей среды представляют собой экзистенциальную угрозу для Европы и всего мира. Для преодоления этих вызовов European Green Deal превратит экономику ЕС в современную, ресурсосберегающую и конкурентоспособную, обеспечивая:

- отсутствие чистых выбросов парниковых газов к 2050 году;
- экономический рост, не зависящий от использования ресурсов;
- ни один человек и ни одно поселение не останется без внимания.

По распоряжению премьер-министра Российской Федерации Михаила Мишустина планируется создание рабочих групп «по адаптации российской экономики к глобальному энергопереходу». Минэкономразвития будет работать над проектом совместно с Минприроды, Минобрнауки и МИД для разработки проектов адаптации различных отраслей экономики РФ к глобальному энергопереходу. Правительство РФ ставит вопросы климатической повестки в приоритет, поэтому в данный момент идет активная работа и обсуждение предварительных результатов анализа рисков и возможностей для России в направлении низкоуглеродного развития [4].

Основным приоритетом правительства в разработках новых инициатив для социального и экономического развития до 2030-го является снижение углеродоемкости экономики. Приоритетом является курс на развитие технологий в сторону увеличения доли зеленой энергии и снижения потребления углеводородов. Работа рабочих групп поможет подготовить план прогнозирования работ до 2050 года и обозначить цели, которые должны быть реализованы уже к 2030 году.

В 2019 году Российская Федерация присоединилась к многостороннему Парижскому соглашению по климату и взяла обязательства сократить объем

выбросов парниковых газов к 2030 году на 25-30% от уровня 1990 года. Но Правительство РФ принимая соглашение сделало оговорку, что при сокращении будут учитываться максимальные возможности поглощающей способности лесов, оставив таким образом за собой возможность не снижать объемы выбросов в случае, если леса на территории РФ будут забирать достаточное количество объема углекислого газа [50].

По мере того, как страны продолжают свой прогресс в переходе на экологически чистую энергетику, крайне важно закрепить переход в экономической, политической и социальной практике, чтобы обеспечить необратимый прогресс, говорится в докладе Всемирного экономического форума "Содействие эффективному переходу к энергетике 2021 года". Индекс энергетического перехода, который оценивает 115 стран по показателям эффективности их энергетических систем, показывает, что, хотя 92 страны повысили свои показатели за последние 10 лет, только 10% стран смогли добиться последовательных успехов, что свидетельствует о необходимости повышения внимания и устойчивости для достижения целей в области климата на следующее десятилетие [68].

В настоящий момент в индексе эффективности энергетического перехода Всемирного экономического форума за 2021 год Россия находится на 73 месте вместе с такими странами как Таджикистан и Оман [24].

Согласно данным проекта Climate Action Tracker Российская Федерация резко сократила эмиссию парниковых газов в период с 1990 по 1998 года, но постепенно стала наращивать выбросы уже с 2000 года (не учитывая поглощение углерода лесами) [19].

В ноябре 2020 года Россия выдвинула обновленную цель по сокращению выбросов по крайней мере на 30% ниже уровня 1990 года к 2030 году. Эта обновленная цель не представляет собой увеличение воздействия на климат, поскольку это просто нижняя граница диапазона предыдущей цели (25-30%). По оценкам Climate Action Tracker, Россия может легко достичь этой

цели с помощью проводимой политики и, следовательно, должна представить более сильную цель на период до 2030 года [5].

В октябре 2021 года правительство России объявило о целевом показателе чистых нулевых выбросов на 2060 год [51], но он еще не был официально принят, и неясно, будет ли он охватывать все выбросы или только выбросы CO₂. Сообщается, что в настоящее время готовится обновленный проект долгосрочной стратегии, который предусматривает сокращение на 79% CO₂ выбросы ниже уровней 2019 года к 2050 году по своему основному "целевому" сценарию [63]. Если это будет выполнено, это потенциально может привести Россию к достижению объявленной цели по чистому нулю на 2060 год.

Российский закон, направленный на ограничение выбросов парниковых газов, был принят в 2021 году. Энергетическая стратегия до 2035 года, принятая в 2021 году [76], направлена почти исключительно на содействие добыче, потреблению и экспорту ископаемого топлива в остальной мир. Такое пристальное внимание к увеличению зависимости от доходов от ископаемого топлива создает значительный экономический риск в будущем мире, совместимом с Парижским соглашением.

В феврале 2021 года Министерство окружающей среды России объявило об изменении российского учета выбросов в лесном хозяйстве, включив выбросы из неуправляемых лесов [3].

Это не только приведет к гораздо большим отрицательным выбросам, но и нарушит руководящие принципы ООН, которые исключают включение этих выбросов в национальные кадастры. Сообщается, что поправка к проекту долгосрочной стратегии России, которая в настоящее время готовится, направлена на резкое увеличение сокращения выбросов, достигнутого в ее лесном секторе, что частично зависит от этого измененного метода учета.

Отсутствие у России какого-либо существенного вклада в достижение международных целей в области финансирования изменения климата, а также ее крайне недостаточная внутренняя целевая и климатическая политика

приводят к тому, что Climate Action Tracker присвоил России общую оценку «Критически недостаточная» [42].

Директор по проектам российского отделения Greenpeace Владимир Чупров отметил, что «Россия пока выглядит белым пятном на глобальной карте углеродных рынков» [66]. На мировом рынке введение налогов (платы) за выбросы парниковых газов является одним из максимально эффективных механизмов стимулирования к снижению вредных выбросов.

В начале 2021 года Китай заявил, что перед ними стоит цель – достижение углеродной нейтральности к 2060 году. В своем выступлении на 75-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН (ГА ООН 75) в прошлом месяце председатель Си Цзиньпин заявил, что Китай "будет стремиться к достижению пика выбросов CO₂ до 2030 года и достижению углеродной нейтральности до 2060 года" [10]. Это заявление удивило многих в международном сообществе, но было положительно встречено для глобальной борьбы с изменением климата [29]. В Китае недавно был запущен процесс торговли квотами на углеродные выбросы.

В июле 2021 года Евросоюз опубликовал законопроект, который будет регулировать механизм трансграничного углеродного регулирования, что означает необходимость импортеров в Европейский союз платить налоги за ввоз товаров с большим углеродным следом [61]. Данный законопроект затронет российские поставки черного металла, алюминия и удобрений.

«Центр экспертизы по вопросам Всемирной торговой организации» (учреждена Минэкономразвития, Сбербанком и НИУ ВШЭ в 2014 году по распоряжению правительства) отметил, что Европейский союз под предлогом борьбы за изменениями климата и окружающей среды будут проводить технологическую перестройку [67].

Правительство Российской Федерации нацелено на выбор долгосрочной перспективы – либо к широкой климатической повестке и сверхзадаче – достижению углеродной нейтральности, либо к энергопереходу и новому

технологическому укладу. Необходимо снижать не только потребление углеводов, но и углеродоемкость продукции.

Фермерам Европейского союза уже давно предлагается стимулирование для улучшения их сельскохозяйственной практики и защиты окружающей среды, например, через платежи за агроэкологический климат и экологической инвестиционной поддержки. Это стимулирование обычно представляет собой основанные на действиях платежи за соблюдение специфических сельскохозяйственных работ или технологий, которые были выбраны управляющим органом. Немногие схемы или проекты предлагают выплаты, основанные на конкретных показателях, где стимулирующая выплата связана с установленными показателями на ферме, независимо от применяемых конкретных методов ведения сельского хозяйства.

Концепция выплат, основанных на результатах сельскохозяйственных работ, не нова, она действует в ЕС уже более 20 лет и в основном сосредоточена на конкретных целях сохранения биоразнообразия сельскохозяйственных угодий [60].

Недавние пилотные проекты на фермах позволили получить ценную информацию об использовании основанных на результатах платежей за биоразнообразие в рамках CAP, в то время как исследования и инициативы, использующие такие платежи для других целей, таких как углеродное сельское хозяйство, качество воды и функциональность почвы, все еще находятся в зачаточном состоянии. Тем не менее, существует также ценный опыт, накопленный в рамках схем, не входящих в ЕС, таких как добровольные стандарты углеродного рынка [80], а также новые проекты в ЕС, которые имеют отдельные инструменты поддержки климатических проектов [75].

Преимущества схемы, ориентированной на результат, для углеродного земледелия:

- свобода действий для фермера - поощрение адаптивности, инноваций и предпринимательства;

- более четкая связь между оплатой и углеродным воздействием для покупателей - больше доверия/привлекательности и потенциал для более высокой эффективности;
- воздействие на углерод является целью, а не побочным эффектом устойчивого сельского хозяйства - потенциально выше эффективность;
- снижение неблагоприятного отбора фермерами участков с более низкой урожайностью (т.е. с более низкими альтернативными издержками);
- образовательные функции для фермеров и общества в целом.

Проблемы и недостатки плана углеродного земледелия, основанного на достижении конкретных результатов:

- потенциально высокие финансовые риски/неопределенность для фермеров;
- потенциально высокие организационные расходы для разработчиков;
- проблемы, связанные с мониторингом, отчетностью и проверкой результатов смягчения климата (затраты, степень надежности/прочности);
- проблемы, связанные с обеспечением дополнительности и постоянства углеродного воздействия;
- время, необходимое для изменения достоверных измерений, может быть продолжительным, и в некоторых случаях изменения становятся заметными только по истечении срока действия проекта;
- большая свобода действий, предоставляемая фермерам, также означает, что сильная консультативная поддержка необходима. Однако для этого может не хватать потенциала или ресурсов.

Опыт Европы и всего мира свидетельствует о том, что первый шаг для принятия решения о создании углеродной ферм должна быть оценка потенциальных возможностей оказания воздействия на климат или ориентированной на результат, и в то же время способствовать достижению

других целей. В ходе этой первоначальной оценки должны быть рассмотрены следующие вопросы в ходе этой первоначальной оценки:

- Значительная выгода от улучшения климата: имеет ли схема потенциал в плане ее общего воздействия на выбросы парниковых газов или секвестрацию углерода? Это зависит как от масштаба текущих выбросов, на которые будет направлена работа карбоновой фермы, и способности фермы значительно снизить выбросы или обеспечить секвестрацию углерода, если она будет реализована.
- Широкий охват: имеет ли работа фермы потенциал для широкого применения в пределах целевой территории?
- Сопутствующие выгоды: стимулирует ли работа фермы климатические действия, которые потенциально могут обеспечить адаптацию к климату, экологические или социально-экономические сопутствующие выгоды (например, сохранение биоразнообразия, повышение водоудерживающей способности и стабильности почвы, снижение эрозии почвы, смягчение последствий наводнений и засухи, дополнительные рабочие места в сельской местности)?

Важным шагом должно стать определение того, подходит ли данная схема карбоновой фермы для конкретных задач. Если нет, то возможно применение схемы, основанной на конкретных результатах, или гибридной схемы. Учитывая срочность реагирования на изменение климата и сравнительную новизну углеродного земледелия, важно рассмотреть на начальном этапе оценки следующие вопросы - имеет ли схема потенциал для быстрого продвижения и расширения масштабов, либо путем немедленного внедрения в региональном масштабе, либо поэтапного подхода путем разработки пилотных проектов для определения решений проблем реализации данной фермы.

Существует несколько возможных итогов первоначальной оценки:

1. Нет достаточных доказательств того, что предлагаемые действия позволят достичь значительно сократить выбросы углерода, поэтому схема углеродного земледелия не является на данном этапе целесообразной;

2 Рассмотрение возможности разработки схемы, основанной на конкретных действиях, но не схемы, основанной на результатах исследования;

3 Рассмотрение возможности разработки гибридной схемы, но не "чистой" схемы, основанной на результатах исследования;

4 Рассмотрение возможности разработки пилотной схемы, основанной на результатах исследования;

5 Рассмотрение возможности разработки полномасштабной схемы, основанной на результатах исследования.

Потенциальный вклад в предотвращение изменения климата должен быть первым аспектом, который необходимо учитывать при оценке потенциальных схем. Ключевым фактором для рассмотрения является потенциальный масштаб вклада, измеряемый в тоннах эквивалента углекислого газа в год ($\text{CO}_2\text{eq/y}$).

Поскольку достигаемое на практике смягчение последствий сильно зависит как от агроэкологического контекста (почва, климат, система земледелия), так и от того, как реализуются методы ведения сельского хозяйства на уровне фермы и земельного участка, трудно дать обобщенные прогнозы точного вклада конкретных методов ведения сельского хозяйства в снижение выбросов парниковых газов или вклад в секвестрацию углерода. Более подробные оценки относительного потенциала снижения воздействия на климат различных вариантов управления земельными ресурсами на уровне Евросоюза можно найти в Martineau et al. (2016) [34].

Наряду с масштабом выгод от предотвращения воздействия на климат, данное исследование выявило ряд других факторов, которые следует учитывать при оценке потенциальных схем углеродного земледелия.

К ним относятся:

- постоянство углеродного фонда и сокращение выбросов парниковых газов (и уровень риска обратного эффекта в результате изменений в управлении земельными ресурсами или катастрофических событий, таких как пожар);

- дополнительная эффективность, которая особенно важна, когда сокращения выбросов используются в качестве компенсаций. Дополнительная эффективность означает, что схема дает желаемые результаты, которых не было бы без нее;

- риск утечки углерода или перемещения вида деятельности или землепользования, ограниченного схемой, в другое место, где это приведет к увеличению выбросов;

- неопределенность точности или надежности измерения результатов, например, из-за ошибок, отсутствия данных, предположений моделирования или оценок будущих значений.

Также важно рассмотреть сопутствующие выгоды на ранней стадии, поскольку ответные меры на изменение климата должны быть полностью интегрированы с решением других насущных экологических и проблем, в первую очередь, продолжающимся сокращением биоразнообразия в мире и необходимость адаптации к изменению климата. В качестве примера, перечислены основные преимущества, выявленные для агролесоводства и сохранения древесных элементов ландшафта.

- Снижение эрозии почвы и вымывания питательных веществ
- Улучшение функциональности почвы и инфильтрации воды
- Увеличение доходов для фермерских хозяйств
- Улучшение благосостояния животных
- Услуги по орошению
- В случае давно сложившихся особенностей и экосистем, сохранение биоразнообразия и характера ландшафта [22].

Многие действия по смягчению последствий изменения климата автоматически обеспечивают сопутствующие экологические выгоды, но этого нельзя предполагать без тщательного анализа.

Одним из примеров потенциально негативного воздействия является возможность вытеснения производства продуктов питания производства и нарушения работы предприятий пищевой промышленности, которые могут быть связаны с крупномасштабным переувлажнением высокопродуктивных осушенных торфяников. Это также иллюстрирует необходимость управления, насколько это возможно, взаимодействием фермерских схем, ориентированных на конкретные результаты, с другими инструментами политики. С другими стратегическими инструментами.

В любом случае, на первом этапе внедрение карбоновых ферм требует планирование оптимального с точки зрения поглощения углерода использования земель. Внедрение методов карбонового земледелия необходимо для сокращения углеродного следа сельскохозяйственной продукции и таким образом, землепользователь сможет стать поставщиком услуг по поглощению углерода. Должны быть разработаны планы землеустройства и системы земледелия, направленные именно на эту задачу. Но в настоящий момент подобные исследования практически отсутствуют как в России, так и за рубежом. Целью нашей работы является выполнение научных исследований именно в этом направлении.

ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА

2.1. Годовое изменение запасов органического углерода

Обработка почв, как правило, оказывает большее влияние на органические запасы углерода, хотя в почвах существуют не только органические, но и неорганические запасы. Существует довольно большая разница запасов органического углерода между землепользованием и обработки почв для минеральных и органических типов почв.

Органические почвы, такие как торф или перегной, содержат около 12-20% органического вещества по массе [70], такие почвы преобладают в плохо дренируемых условиях на водно-болотных угодьях [15].

Другие же почвы, которые классифицируются как почвы минерального типа, содержат небольшое количество органического вещества. Такие почвы встречаются в умеренно и хорошо дренируемых территориях и преобладают в большинстве экосистем за исключением водно-болотных угодий.

Для минеральных почв метод учета коэффициента изменения запасов основан на разнице количества запасов углерода в почве ($\Delta C_{Mineral}$) за конечный период времени в 20 лет. Изменение количества запасов органического углерода в минеральной почве ($SOC_{Mineral}$) рассчитывается путем вычисления запасов органического углерода, оставшихся после изменения управления, по отношению к запасам органического углерода в эталонном состоянии и суммирования этих изменений по всем климатическим зонам, типам почв и методам управления, включенным в кадастр. Запас органического углерода в почве в эталонном состоянии определяется как запас в недеградированных, необрабатываемых землях под местной растительностью (таблица 1). При этом необходимо отметить, что:

(1) По достижению определенного времени запас органического углерода в почве достигает усредненного по пространству стабильного значения, характерного для почвы, климата, землепользования и практики управления; и

(2) Изменение запасов органического углерода (SOC) в почве во время перехода к новому равновесию SOC происходит линейно в течение 20 лет.

Предположение (1) о том, что при заданном наборе климатических и сельскохозяйственных условий почвы стремятся к равновесию запасов органического углерода, является распространенным в научном обществе. Хотя изменения запасов органического углерода в почве в ответ на изменения в использовании могут быть лучше всего описаны криволинейной функцией, предположение (2) значительно упрощает методологию и обеспечивает хорошее приблизительное значение в течение многолетнего периода инвентаризации, когда изменения в управлении и преобразования землепользования происходят в течение всего периода инвентаризации.

При использовании метода по умолчанию изменения в запасах органического углерода в минеральных почвах рассчитываются за определенный инвентаризационный период времени.

Временные периоды для инвентаризации, вероятно, будут установлены на основе лет, в которые собираются данные о деятельности. Например, можно использовать временные периоды с шагом в 5 лет: 2000-2005-2010-2015.

Поэтому для каждого выбранного периода инвентаризации необходимо использовать значение запаса органического углерода для первого, а также для второго года с использованием перемноженных эталонных значений запаса углерода на необходимый коэффициент изменения запасов.

Для изучения годовых темпов изменения запаса необходимо узнать разницу запасов углерода в разные временные периоды и поделить на коэффициент изменения запасов от времени.

В таблице 1 представлены данные для различных климатических регионов в зависимости от типов почв, а также показаны средние запасы количества органического углерода в почве.

Таблица 1. Количество органического углерода в почве (на глубине 0-30 см) по умолчанию для минеральных почв [11,12].

Климат (в соответствии с IPCC)	Классы почв (в соответствии с IPCC)					
	Глинистые почвы с высокой активностью (HAC)	Глинистые почвы с низкой активностью (LAC)	Песчаные почвы (SAN)	Сильно оподзоленные почвы (POD)	Вулканические почвы (VOL)	Заболоченные почвы (WET)
Полярный влажный/сухой (Pх)	59 ± 41% (24)	NA	27 ± 67% (18)	NO	NA	NA
Бореальный влажный/сухой (Вх)13	63 ± 18% (35)	NA	10 ± 90% 4	117 ± 90% 3	20 ± 90%	116 ± 65% (6)
Сухой умеренный климат (C2)	43 ± 8% (177)	33 ± 90% 3	13 ± 33% (10)	NO	20 ± 90%	87 ± 90% 3
Влажный умеренный (C1)	81 ± 5% (334)	76 ± 51% (6)	51 ± 13% (126)	128 ± 14% (45)	136 ± 14% (28)	128 ± 13% (42)
Сухой теплый умеренный (W2)	24 ± 5% (781)	19 ± 16% (41)	10 ± 5% (338)	NO	84 ± 65% (10)	74 ± 17% (49)
Теплый умеренный влажный (W1)	64 ± 5% (489)	55 ± 8% (183)	36 ± 23% (39)	143 ± 30% (9)	138 ± 12% (42)	135 ± 28% (28)
Тропический сухой (T4)	21 ± 5% (554)	19 ± 10% (135)	9 ± 9% (164)	NA	50 ± 90%	22 ± 17% (32)
Тропический влажный (T3)	40 ± 7% (226)	38 ± 5% (326)	27 ± 12% (76)	NA	70 ± 90%	68 ± 17% (55)
Тропический влажный (T2)	60 ± 8% (137)	52 ± 6% (271)	46 ± 20% (43)	NA	77 ± 27% (14)	49 ± 19% (33)
Тропический высокогорный (T1)	51 ± 10% (114)	44 ± 11% (84)	52 ± 34% (11)	NA	96 ± 31% (10)	82 ± 50% (12)

Для того чтобы получить точную информацию о запасе углерода, его выбросов и поглощения, необходима не только информация о сельскохозяйственной, лесной и других видов использования земель, но необходима информация в виде классификации, данных о площади и выборках, представляющих различные категории использования. Ниже представлено описание шести широких категорий земель, выделенных для оценивания и отчетности по выбросам и поглощению парниковых газов, как для землепользования текущего, так и при преобразовании из одной категории в другую. Категории землепользования можно рассматривать как категории общего уровня для представления всех областей землепользования, с подкатегориями, описывающими особые обстоятельства, значимые для оценки выбросов, и там, где имеются данные.

Представленные категории можно использовать не только на территории Российской Федерации, но и в других зарубежных странах с учетом различий при классификации категорий землепользования. Данные категории можно легко стратифицировать, например, по климатическим данным или по экологическим зонам.

Определения категорий землепользования могут учитывать тип земного покрова, основываться на землепользовании или сочетать оба этих фактора. Необходимо быть осторожным при выводе землепользования из характеристик почвенно-растительного покрова и наоборот. Например, в некоторых странах на значительных площадях категории лесных земель может пастись скот, а дрова могут собираться с разбросанных деревьев в категории пастбищ. Эти участки с различным использованием могут быть достаточно значительными, чтобы страны рассматривали их отдельно как дополнительные подкатегории.

Для удобства эти категории называются категориями землепользования. Эти категории земель выбраны по ряду причин, они - :

- удобны в использовании как основа для оценки выбросов и поглощений углерода;

- удобны для реализации;
- являются полноценными, поскольку все большинство земельных ресурсов на территории одного государства могут быть классифицированы без повторов.

Категориями землепользования для получения информации по кадастру парниковых газов являются [7]:

(1) Лесные угодья

К данной категории мы можем отнести все земли на территории которых, расположена древесная растительность, которая соответствует значениям, используемым для определения площадей лесов в национальном реестре выбросов парниковых газов. Также в эту категорию земель можно отнести площади земель с растительностью, которая ниже пороговых значений, но потенциально сможет достичь необходимых значений используемых внутри страны для определения категории лесных угодий.

(2) Пахотные земли (пашня)

К этой категории земель можно отнести земли, которые используются и обрабатываются под посев сельскохозяйственных культур, рисовые поля и агроландшафтные системы с растительностью, пороговые значения которой ниже значений земель, относящихся к категории лесных земель.

(3) Пастбища

В эту категорию входят пастбища и пастбищные угодья. На этих землях не происходит возделывание земель, такие земли используются для выпаса скота. На землях данного типа угодий расположена травянистая растительность (травы или кустарники), пороговые значения которой ниже категории лесных угодий. В эту категорию также включены все пастбища от естественных угодий до рекреационных зон, а также могут использоваться лесопастбищные системы в соответствии с классификацией земель государства.

(4) Водно-болотные угодья

К категории «водно-болотные угодья» можно отнести зоны, в которых происходит добыча торфа, а также земли, которые частично или полностью покрыты водой в течение года. Эти земли не могут относиться к категории лесных земель, пашни, пастбища или населённых пунктов.

(5) Населенные пункты

Данная категория земель включает в себя территории застройки и инженерной и транспортной инфраструктурой разных размеров и площадей, с учётом того, что они не входят в другие категории. Это может быть город, посёлок, село или же хутор. Данные земли должны соответствовать национальной классификации землепользования.

(6) Прочие земли

Категория земель «прочие земли» может включать в себя все земли, которые не подходят к пяти описанным ранее территориям. При наличии данных все же рекомендуется производить классификацию по указанным выше категориям землепользования, так как это может помочь увеличить прозрачность и возможность отслеживания преобразований землепользования. Такие земли можно отнести к неуправляемым лесным землям, неуправляемым пастбищам или неуправляемым водно-болотным угодьям.

К категории прочие земли можно отнести, например, скалы, лед, горную местность с резкими уклонами или же голую почву [7].

Если имеются подробные данные о происхождении земель, а также о текущем использовании, или преобразовании в другую категорию, можно самостоятельно указать преобразование земель.

При наличии подробных данных о происхождении земель, преобразованных в ту или иную категорию, страны могут указать преобразование землепользования. Например, земли, преобразованные в пашню, можно разделить на лесные земли, преобразованные в возделываемые земли и пастбища, преобразованные в пахотные земли. Хотя обе земельные площади в итоге попадают в категорию возделываемых земель, различия в

выбросах и поглощениях парниковых газов, обусловленные их происхождением, должны быть представлены и сообщены по возможности. При применении этих преобразований категорий землепользования страны должны классифицировать земли только под одной (конечной) категорией землепользования для предотвращения двойного учета. Поэтому выбранной категорией отчетности может быть категория конечного использования, а не категория использования до преобразования землепользования.

2.2. Земли, преобразованные в пахотные угодья

Перевод земель из другой категории использования и из естественного состояния в пашню в большинстве случаев приводит к выбросам CO_2 из биомассы и почвы, по крайней мере, в течение нескольких лет после преобразований, а также к выбросам N_2O и CH_4 из почвы. Возможными исключениями являются орошение ранее засушливых земель, которое может привести к чистому приросту углерода в почве и биомассе, и перевод деградированных земель в пахотные. При оценке выбросов и поглощений в результате преобразования землепользования в пахотные земли эффективная практика заключается в рассмотрении трех подкатегорий: изменение запасов углерода в биомассе, изменение запасов углерода в почве и выбросы закиси азота.

Использование данного метода заключается в оценке абсорбции углерода от "земель, преобразованных в пашни" с использованием методов, описанных в данном подразделе, за необходимый период, достаточный для изменения запасов углерода после преобразования землепользования. Однако биомасса и почвы по-разному реагируют на преобразование землепользования, и поэтому для достижения равновесных запасов углерода требуются разные периоды времени. Поскольку период инвентаризации изменений в почвенном углероде по умолчанию составляет 20 лет, этот

временной период следует использовать при учете площадей для преобразования в пахотные земли.

Уравнение 1. Общее изменение запасов углерода в землях, преобразованных в пахотные земли.

$$\Delta C_{LC} = \Delta C_{LC_{LB}} + \Delta C_{LC_{Soils}},$$

Где

ΔC_{LC} = общее изменение запасов углерода на землях, преобразованных в пахотные земли, тонн в год⁻¹;

$\Delta C_{LC_{LB}}$ = изменение запасов углерода в живой биомассе на землях, преобразованных в пахотные земли, тонн в год⁻¹;

$\Delta C_{LC_{Soils}}$ = изменение запасов углерода в почве на землях, преобразованных в пахотные земли, тонн в год⁻¹;

Уравнение 1.1. Ежегодное изменение запасов углерода в живой биомассе на землях, преобразованных в пахотные земли

$$\Delta C_{LC_{LB}} = A_{Conversion} \cdot (L_{Conversion} + \Delta C_{Growth})$$

$$L_{Conversion} = C_{After} - C_{Before}$$

где,

$\Delta C_{LC_{LB}}$ = ежегодное изменение запасов углерода в живой биомассе на землях, преобразованных в пахотные земли, тонн в год⁻¹;

$A_{Conversion}$ = годовая площадь земель, преобразованных в пахотные земли, га в год⁻¹;

$L_{Conversion}$ = изменение запасов углерода на единицу площади при таком типе преобразования, когда земля преобразуется в пахотные земли, тонн С га⁻¹;

ΔC_{Growth} = изменения в запасах углерода за один год роста пахотных земель, тонн С га⁻¹;

C_{After} = запасы углерода в биомассе сразу после преобразования в пахотные земли, т/га⁻¹;

C_{Before} = запасы углерода в биомассе непосредственно перед преобразованием в пахотные земли, т/га^{-1} ;

Перевод земель в пахотные может происходить с необрабатываемых земель, включая местные, относительно ненарушенные экосистемы (например, лесные угодья, пастбища, водно-болотные угодья) и с земель, используемых для других целей (например, управляемые леса, управляемые пастбища). Более интенсивное использование, связанное с использованием пахотных земель (т.е. высокий уровень удаления собранной биомассы, частое нарушение почвы путем обработки), обычно приводит не только к потерям углерода в органическом веществе почвы, но и поверхностной подстилке – в мертвом органическом веществе (крупный мусор от древесины).

Общее изменение запасов углерода в почвах на землях, преобразованных в пахотные земли, показано в уравнении 1.2.

Уравнение 1.2. Годовое изменение запасов углерода в почвах на землях, преобразованных в пахотные земли

$$\Delta C_{LC\text{Soils}} = \Delta C_{LC\text{Mineral}} - \Delta C_{LC\text{Organic}} - \Delta C_{LC\text{Liming}}$$

Где,

$\Delta C_{LC\text{Soils}}$ = годовое изменение запасов углерода в почвах на землях, преобразованных в пахотные земли, тонн в год^{-1} ;

$\Delta C_{LC\text{Mineral}}$ = изменение запасов углерода в минеральных почвах на землях, преобразованных в пахотные земли, тонн в год^{-1} ;

$\Delta C_{LC\text{Organic}}$ = ежегодные выбросы С из возделываемых органических почв, преобразованных в пахотные земли (оцененные как чистый годовой поток), тонн С в год^{-1} ;

$\Delta C_{LC\text{Liming}}$ = годовые выбросы углерода от внесения сельскохозяйственной извести на землях, преобразованных в пашни, тонн С в год^{-1} ;

Необходимо учитывать и проводить оценку изменения биомассы только для многолетних культур, так как увеличение запасов биомассы однолетних

культур в временной период равный одному году считается равным потерям биомассы от сбора или гибели урожая в том же году. Поэтому мы приходим к выводу, что чистого накопления биомассы не происходит [32]. Циклы сбора урожая, темпы роста и потери углерода в биомассе по умолчанию приведены в таблице 2.

Таблица 2. Коэффициенты по умолчанию для надземной древесной биомассы и циклов сбора урожая в системах земледелия с многолетними насаждениями [32].

Климатический регион	Запас углерода надземной биомассы на момент сбора урожая (тонн С га-1)	Цикл сбора урожая/зрелости (кол-во лет)	Скорость накопления биомассы (тонн С га в год)	Потери углерода биомассы (тонн С га-1)	Диапазон погрешностей
Умеренный (все режимы влажности)	63	30	2.1	63	+ 75%

К сожалению, на данный момент нет достаточной информации для предоставления базового подхода с использованием коэффициентов по умолчанию для оценки изменений запасов углерода в мертвом органическом веществе на пахотных землях, остающихся пахотными землями.

Таблица 3. Стандартное накопление органического углерода в почве по умолчанию (под местной растительностью) (тонны углерода на гектар для глубины 0-30 см)[32].

Климат	Глинистые почвы с высокой активностью (HAC)	Глинистые почвы с низкой активностью (LAC)	Песчаные почвы (SAN)	Сильно оподзоленные почвы (POD)	Вулканические почвы	Глинистые почвы с высокой активностью (HAC)
Холодный умеренный, влажный	95	85	71	115	130	87
Теплый умеренный, влажный	88	63	34	NA	80	88

Данные взяты из баз данных почв, описанных Jobbagy и Jackson [33] и Bernoux et al. [13]. Показаны средние запасы. Для почвенно-климатических типов по умолчанию принята оценка ошибки в 95% (выраженная как 2-кратное стандартное отклонение в процентах от среднего значения). NA означает "неприменимо", поскольку эти почвы обычно не встречаются в некоторых климатических зонах.

Оценка пересмотренных значений по умолчанию уровня 1 GPG для выбросов/поглощений углерода из минеральных почв для возделываемых земель (Таблица 4).

Коэффициенты для пахотных земель были рассчитаны для обработки почвы, внесения удобрений, выделения участков и преобразования землепользования из пастбищных или лесных земель. Коэффициент преобразования землепользования представляет собой потерю углерода, которая происходит после 20 лет непрерывной обработки почвы. Коэффициенты обработки почвы представляют собой влияние изменения управления с традиционной системы обработки почвы, на природоохранные практики, включая нулевую и минимальную обработку почвы.

Таблица 4. Коэффициенты относительного изменения запасов (за 20 лет) для различных видов хозяйственной деятельности на пашнях

Вид значения фактора	Уровень	Температурный режим	'96 IPCC по умолчанию	Режим влажности	GPG пересмотренный по умолчанию	Погрешность	Описание
Землепользование	Многолетнее культивирование	Умеренный	0.7,0.6	Сухой	0.82	+/-10%	Представляет собой территорию, которая непрерывно обрабатывается в течение >20 лет, преимущественно однолетними культурами. Факторы затрат и обработки почвы также применяются для оценки изменения запасов углерода изменения. Коэффициент землепользования был оценен относительно использования полной обработки почвы и номинального ("средний") уровень ввода углерода.
				Влажный	0.71	+/- 12%	
		Тропический	0.6,0.5	Сухой	0.69	+/- 38%	
				Влажный	0.58	+/- 42%	
Землепользование	Рис	Умеренный и тропический	1.1	Сухой и влажный	1.1	+/- 90%	Долгосрочное (> 20 лет) ежегодное возделывание заболоченных земель. Может включать двойное возделывание с незатопляемыми культурами. Для риса обработка почвы и факторы производства не используются.
Землепользование	Отложенные (< 20 лет)	Умеренный и тропический	0.8		0.93	+/-10%	Представляет собой временно отведенные ежегодно пахотные земли (например, резервы консервации) или
				Сухой и Влажный	0.82	+/-18%	

Вид значения фактора	Уровень	Температурный режим	'96 IPCC по умолчанию	Режим влажности	GPG пересмотренный по умолчанию	Погрешность	Описание
							другие незанятые пахотные земли, на которых восстановлена растительность из многолетних трав.
Управление	Полный	Умеренный	1.0	Сухой	1.0	NA	Значительное нарушение почвы при полной инверсии и/или частой (в течение года) обработке почвы. Во время посадки небольшая часть поверхности (например, <30%) покрыта растительными массами.
		Тропический	0.9,0.8	Влажный	1.0	NA	
Управление	Сокращенный	Умеренный	1.05	Сухой	1.03	+/- 6%	Первичная и/или вторичная обработка почвы, но с уменьшенным нарушением почвы (обычно на небольшой глубине и без полной обработки почвы). Обычно оставляет поверхность с >30% покрытием остатками при посадке.
				Влажный	1.09	+/- 6%	
		Тропический	1.0	Сухой	1.10	+/- 10%	
				Влажный	1.16	+/- 8%	
Управление	Нет посева	Умеренный	1.1	Сухой	1.10	+/- 6%	Прямой посев без первичной обработки почвы, с минимальным нарушением почвы в зоне посева.
				Влажный	1.16	+/- 4%	
		Тропический	1.1	Сухой	1.17	+/- 8%	
				Влажный	1.23	+/- 8%	
Поступление (используется только с пастбищам)	Низкий	Умеренный	0.9	Сухой	0.92	+/- 4%	Низкий возврат растительных отходов из-за удаления остатков (путем сбора или сжигания), частого оголения почвы или выращивания
				Влажный	0.91	+/- 8%	

Вид значения фактора	Уровень	Температурный режим	'96 IPCC по умолчанию	Режим влажности	GPG пересмотренный по умолчанию	Погрешность	Описание
		Тропический	0.8	Сухой	0.92	+/- 4%	культур, дающих мало отходов (например, овощи, табак, хлопок).
				Влажный	0.91	+/- 4%	
Поступление (используется только с пастбищам)	Средний	Умеренный	1.0	Сухой и влажный	1.0	NA	Модель для однолетних посевов зерновых культур, при которых все растительные отходы возвращаются на поле. Если растительные отходы убираются, то добавляют органическое вещество (например, навоз).
		Тропический	0.9	Сухой и влажный	1.0	NA	
Поступление (используется только с пастбищам)	Высокий - без навоза	Умеренный и Тропический	1.1	Сухой	1.07	+/- 10%	Представляет собой значительно большее количество растительных остатков. Это связано с тем, что используются культуры с высокой урожайностью, используется большое количество навоза, а так же часто используются многолетние травы в однолетних севооборотах, но без внесения навоза (см. ряд ниже).
				Влажный	1.11	+/- 10%	
Поступление (используется только с пастбищам)	Высокий - с навозом	Умеренный и тропический	1.2	Сухой	1.34	+/- 12%	Представляет собой большое количество растительных остатков вместе с регулярным добавлением животного навоза (см. ряд выше).
				Влажный	1.38	+/- 8%	

Там, где было предоставлено достаточное количество данных, были определены отдельные значения для температурных режимов умеренного и тропического поясов, а также для сухого и влажного режимов увлажнения.

Нулевая обработка почвы - это прямой посев без обработки почвы. Сокращенная обработка почвы включает некоторую обработку, но не предполагает полного переворачивания почвы и обычно задействовано больше поверхности почвы покрытой остатками, включая такие методы, как долото, мульчирование и гребневая обработка. Входные факторы представляют собой эффект изменения поступления углерода в почву за счет посадки более продуктивных культур, интенсификации посевов или внесения поправок; входные факторы включают системы земледелия, классифицированные как низкие, средние, высокие и высокие с поправками на навоз. В севооборотах с высоким уровнем потребления ресурсов в севообороте присутствуют культуры с высоким остаточным урожаем, покровные культуры, улучшенный растительный пар или годы с травяным покровом, например, сенокос или пастбище. Факторы обработки почвы и внесения удобрений представляют собой влияние на запасы углерода через 20 лет после изменения управления. Факторы отвода представляют эффект временного выведения пахотных земель из производства и перевода их под травяную растительность на период времени, который может длиться до 20 лет.

Учитывая эффект от ряда факторов (фиксированных и случайны), была подготовлена модель смешанных эффектов. К фиксированным факторам мы можем отнести глубину, количество лет после преобразования из одной категории в другую, тип использования земель. Использовались данные о запасах углерода с различным шагом по глубине в каждом наборе данных как отдельная точка. Например, от 0 до 5 см или от 10 до 30 см глубины. Так же не проводилось объединение данных для временных шагов, даже на одинаковых участках.

2.3. Земли, преобразованные в лесные угодья

Земли переходят в категорию земель, преобразованных в лесные угодья в случае, если на таких землях происходит облесение или же наоборот искусственное или естественное лесовосстановление (включая плантации) Площади территории можно отнести к лесным угодьям, только в том случае, если они относятся к таковым по классификации, действующей внутри страны. Необходимо отметить, что земли, преобразованные в лесные угодья, сохраняют статус преобразованных земель на протяжении следующих двадцати лет.

Уравнение 2. Годовое изменение запасов углерода на землях, преобразованных в лесные угодья

$$\Delta C_{LF} = \Delta C_{LF(LB)} + \Delta C_{LF(DOM)} + \Delta C_{LF(Soils)}$$

Где,

ΔC_{LF} = годовое изменение запасов углерода на землях, переустроенных в лесные угодья, тонн С год⁻¹;

$\Delta C_{LF(LB)}$ = годовое изменение запасов углерода в живой биомассе (включает надземную и подземную биомассу) на землях, преобразованных в лесные угодья; тонн С в год⁻¹;

$\Delta C_{LF(DOM)}$ = годовое изменение запасов углерода в мертвом органическом веществе (включает мертвую древесину и подстилку) на землях, преобразованных в лесные угодья; тонн С в год⁻¹;

$\Delta C_{LF(Soils)}$ = годовое изменение запасов углерода в почвах на землях, переустроенных в лесные угодья; тонн С в год⁻¹;

ИЗМЕНЕНИЕ ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА В ЖИВОЙ БИОМАССЕ

Расчеты годового изменения запаса углерода в живой биомассе представлены с учётом методов расчёта представленных в методических указаниях МГЭИК.

Для расчёта изменения за год запасов углерода в живой массе на территориях земель, преобразованных в лесные угодья путём естественного или же искусственного лесовосстановления рекомендуется использовать уравнение 2.1.

Уравнение 2.1. Годовое изменение запасов углерода в живой биомассе на землях, преобразованных в лесные угодья

$$\Delta C_{LF(LB)} = \Delta C_{LF(GROWT)} - \Delta C_{LF(LOSS)}$$

Где,

$\Delta C_{LF(LB)}$ = годовое изменение запасов углерода в живой биомассе на землях, преобразованных в лесные угодья, тонн С в год⁻¹;

$\Delta C_{LF(GROWT)}$ = годовое увеличение запасов углерода в живой биомассе за счет прироста земель, преобразованных в лесные угодья, тонн С в год⁻¹;

$\Delta C_{LF(LOSS)}$ = годовое снижение запасов углерода в живой биомассе в результате потерь при лесозаготовках, заготовке топливной древесины сбора и нарушений на землях, преобразованных в леса, тонн С в год⁻¹;

Поскольку темпы роста леса сильно зависят от режима управления, различают леса, которые интенсивно эксплуатируются (например, плантационное лесоводство с интенсивной подготовкой участка и внесением удобрений) и экстенсивно (например, естественно восстанавливающиеся леса с минимальным вмешательством человека). Расчеты производятся в соответствии с уравнением 2.2:

Уравнение 2.2 Ежегодное увеличение запасов углерода в живой биомассе на землях, преобразованных в лесные угодья.

$$\Delta C_{LF(GROWT)} = \left[\sum_k A_{INT_MAN_k} \cdot G_{Total\ INT_MAN_k} + \sum_m A_{EXT_MAN_m} \cdot G_{Total\ EXT_MAN_m} \right] \cdot CF$$

Где,

$\Delta C_{LF(GROWT)}$ = годовое увеличение запасов углерода в живой биомассе за счет роста земель, преобразованных в лесные земли, тонн С в год⁻¹;

$A_{INT_MAN_k}$ = площадь земель, переведенных в интенсивно эксплуатируемые леса в состоянии k (включая плантации), га;

$G_{Total INT_MAN_k}$ = годовой темп прироста биомассы в интенсивно управляемом лесу в состоянии k (включая плантации), тонн/га⁻¹ год⁻¹;

$A_{EXT_MAN_m}$ = площадь земель, преобразованных в экстенсивно управляемые леса в состоянии m, га;

$G_{Total EXT_MAN_m}$ = годовой темп прироста биомассы в лесах с интенсивным управлением в состоянии m, тонн/га⁻¹ год⁻¹ (включая естественное восстановление);

k, m = представляют собой различные условия, в которых растут интенсивно и экстенсивно управляемые леса

CF = доля углерода в сухом веществе (по умолчанию = 0,5), тонн С (тонна в сутки)⁻¹;

Уравнение 2.3 Ежегодное сокращение запасов углерода в живой биомассе из-за потерь земель, преобразованных в лесные угодья

$$\Delta C_{LF(LOSS)} = L_{fellings} + L_{fuelwood} + L_{other losses}$$

$\Delta C_{LF(LOSS)}$ = ежегодное снижение запасов углерода в живой биомассе из-за потерь земель, преобразованных в лесные угодья, тонн в год⁻¹;

$L_{fellings}$ = потери биомассы в результате заготовки промышленной древесины и пиломатериалов на землях, преобразованных в лесные угодья, тонн в год⁻¹;

$L_{fuelwood}$ = потери биомассы из-за сбора топливной древесины на землях, преобразованных в лесные угодья, тонн в год⁻¹;

$L_{other losses}$ = потери биомассы в результате пожаров и других нарушений на землях, преобразованных в лесные угодья, тонн в год⁻¹;

Таблица 5. Среднегодовой прирост надземной биомассы при естественной регенерации по широкой категории (тонны сухого вещества/га/год).

Леса умеренного пояса				
Возрастной класс		Хвойный		Широколиственный
≤20 лет		3.0 (0.5 – 6.0)		4.0 (0.5 – 8.0)
>20 лет		3.0 (0.5 – 6.0)		4.0 (0.5 – 7.5)
Бореальные леса				
Возрастной класс	Смешанный широколиственно-хвойный	Хвойный	Лесотундра	Широколиственный
≤20 years	1.0	1.5	0.4 (0.2 – 0.5)	1.5 (1.0 – 2.0)
>20 years	1.5	2.5	0.4 (0.2 – 0.5)	1.5

Таблица 6. Среднее отношение биомассы под землей к надземной биомассе (отношение корней к побегам, г) при естественной регенерации (тонны сухого вещества/тонна сухого вещества)

	Тип растительности	Надземная биомасса (т/га)	Значение	Стандартное отклонение	Нижний диапазон	Верхний диапазон
Тропический/субтропический лес	Тропический/субтропический лес	<125	0.42	0.22	0.14	0.83
	Первичный тропический/субтропический влажный лес	NS	0.24	0.03	0.22	0.33
	Тропический/субтропический сухой лес	NS	0.27	0.01	0.27	0.28
Хвойный лес/лес	Хвойный лес/плантация	<50	0.46	0.21	0.21	1.06
	Хвойный лес/плантация	50-150	0.32	0.08	0.24	0.50
	Хвойный лес/плантация	>150	0.23	0.09	0.12	0.49
Широколистный лес	Дубовый лес	>70	0.35	0.25	0.20	1.16
	Широколиственные леса	<75	0.43	0.24	0.12	0.93
	Широколиственные леса	75-150	0.26	0.10	0.13	0.52

	Широколиственные леса	>150	0.24	0.05	0.17	0.30
Пастбище	Степь/тундра/степные луга	NS	3.95	2.97	1.92	10.51
	Умеренные/субтропические/ тропические луга	NS	1.58	1.02	0.59	3.11
	Полупустынные пастбища	NS	2.80	1.33	1.43	4.92
Другие	Лес/саванна	NS	0.48	0.19	0.26	1.01
	Кустарник	NS	2.83	2.04	0.34	6.49
	Заболоченные земли	NS	1.04	0.21	0.74	1.23

Таблица 7. Значения коэффициентов расширения биомассы по умолчанию (BEFS)[16,30]

Климатическая зона	Тип леса	Минимальный диаметр (см)	BEF (поверх коры) может использоваться с данными о биомассе растущих запасов	BEF (поверх коры) может использоваться с увеличением данных
Бореальный климат	Хвойные деревья	0-8.0	1.35 (1.15-3.8)	1.15 (1-1.3)
	Широколиственный	0-8.0	1.3 (1.15-4.2)	1.1 (1-1.3)
Умеренный климат	Хвойные деревья: Елово-пихтовые сосны	0-12.5	1.3 (1.15-4.2)	1.15 (1-1.3)
		0-12.5	1.3 (1.15-3.4)	1.05 (1-1.2)
	Широколиственный	0-12.5	1.4 (1.15-3.2)	1.2 (1.1-1.3)
Тропический климат	Сосны	10.0	1.3 (1.2-4.0)	1.2 (1.1-1.3)
	Широколиственный	10.0	3.4 (2.0-9.0)	1.5 (1.3-1.7)

Приведенные выше значения являются усредненными для среднего прироста или возраста лесного массива, верхняя граница диапазона представляет молодые леса или леса с низким запасом прироста; нижние границы диапазона приближены к зрелым лесам или лесам с высоким запасом прироста. Значения относятся к биомассе (сухой вес), включая кору, и для

заданного минимального диаметра на высоте 1,5 метра. Результатом является надземная биомасса деревьев.

2.4. Земли, преобразованные в пастбища

При преобразовании земель в категорию пастбищ изменения углеродных запасов не так велики, как в случае перевода в лесные земли, пахотные земли и в водно-болотные угодья.

В литературе представлены данные о преобразовании земель в пастбища, а также о запасах углерода в почве, так как изменение количества углерода в почве пастбищ имеет важное значение [45].

Перевод земель из других видов использования и из естественного состояния в пастбища может привести к чистым выбросам (или чистому поглощению) CO_2 как из биомассы, так и из почвы. Обобщенное уравнение для изменения запасов углерода на землях, преобразованных в пастбища, представлено ниже в уравнении 3.

Уравнение 3. Общее изменение запасов углерода на землях, преобразованных в пастбища

$$\Delta C_{LG} = \Delta C_{LG_{LB}} + \Delta C_{LG_{Soils}}$$

Где,

ΔC_{LG} = общее изменение запасов углерода на землях, преобразованных в пастбища, тонн в год⁻¹;

$\Delta C_{LG_{LB}}$ = изменение запасов углерода в живой биомассе на землях, преобразованных в пастбища, тонн в год⁻¹;

$\Delta C_{LG_{Soils}}$ = изменение запасов углерода в почвах на землях, преобразованных в пастбища, тонн в год⁻¹;

Основные этапы оценки изменения запасов углерода в биомассе в результате преобразования земель в пастбища следующие:

1. Оценить среднюю площадь земель, переходящих от непастбищных к пастбищным в течение года ($A_{conversion}$), отдельно для каждого начального

землепользования (т.е. лесных земель, пахотных земель и т.д.) и конечного типа пастбищ.

2. Для каждого типа переустройства землепользования на пастбища используйте уравнение 3.1. для оценки результирующего изменения в запасах углерода. Оценку изменения запасов в расчете на площадь можно затем умножить на соответствующие оценки площади, полученные на этапе 1.

3. Оценить общее изменение запасов углерода в результате преобразования всех землепользований в пастбища путем суммирования индивидуальных оценок для каждого перехода.

Уравнение 3.1. Годовое изменение запасов углерода в живой биомассе на землях, преобразованных в пастбища

$$\Delta C_{LG_{LB}} = A_{Conversion} \cdot (L_{Conversion} + \Delta C_{Growth})$$

$$L_{Conversion} = C_{After} - C_{Before}$$

Где,

$\Delta C_{LG_{LB}}$ =ежегодное изменение запасов углерода в живой биомассе на землях, преобразованных в пастбища, тонн в год⁻¹;

$A_{Conversion}$ =годовая площадь земель, превращенных в пастбища после некоторого первоначального использования, га в год⁻¹;

$L_{Conversion}$ =изменение запасов углерода на единицу площади при таком типе преобразования, когда земля преобразуется в пастбища, тонн С га⁻¹;

ΔC_{Growth} =запасы углерода за один год роста луговой растительности после преобразования, т/га⁻¹;

C_{After} =запасы углерода в биомассе сразу после преобразования в пастбища, т/га⁻¹;

C_{Before} =запасы углерода в биомассе непосредственно перед преобразованием в пастбища, т/га⁻¹;

Перевод земель в пастбища может происходить как с неуправляемых земель, включая естественные, относительно ненарушенные экосистемы (например, лесные угодья, водно-болотные угодья), так и с интенсивно управляемых пахотных земель. Преобразование земель из категории «лесные угодья» в категорию «пастбища» приводит к потерям запасов углерода. Это связано с тем, что происходит расчистка территории – убирается крупный древесный мусор и поверхностная подстилка. Поэтому необходимо производить расчеты изменения органического вещества как представлено в уравнении ниже. Резервуар подстилки и крупный древесный мусор следует считать окисленными после преобразования земель.

Общее изменение запасов углерода в почве на землях, переустроенных в пастбища, показано в уравнении 3.2. ниже:

Уравнение 3.2. Изменение количества запасов углерода в почвах на землях, преобразованных в пастбища за год.

$$\Delta C_{LG_{Soils}} = \Delta C_{LG_{Mineral}} - \Delta C_{LG_{Organic}} - \Delta C_{LG_{Lime}}$$

Где,

$\Delta C_{LG_{Soils}}$ = годовое изменение запасов в почвах на землях, преобразованных в пастбища, тонн в год⁻¹;

$\Delta C_{LG_{Mineral}}$ = изменение запасов углерода в минеральных почвах на землях, преобразованных в пастбища, тонн в год⁻¹;

$\Delta C_{LG_{Organic}}$ = ежегодные выбросы С из органических почв, преобразованных в пастбища (оцененные как чистый годовой поток), тонн С год⁻¹;

$\Delta C_{LG_{Lime}}$ = годовые выбросы углерода от внесения известкового удобрения на землях, преобразованных в пастбища, тонн С в год⁻¹;

Критерии выбора наиболее подходящего метода оценки зависят от типа преобразования земель и продолжительности преобразования, а также от наличия подходящей для конкретной местности информации для оценки эталонных запасов углерода в почве и коэффициентов изменения запасов и

выбросов. Важно использованные точные данные, полученные с учётом данных по отчётности инвентаризации, так как это поможет усовершенствовать методологию.

2.5. Земли, преобразованные в водно-болотные угодья

В данном разделе рассматриваются выбросы CO₂, связанные либо с добычей торфа, либо с затоплением. Важно также отметить, что в соответствии с пунктом 1 статьи 102 Земельного кодекса РФ «землями водного фонда являются земли, на которых находятся поверхностные водные объекты» [1].

Преобразование земель в водно-болотные угодья одним из важнейших компонентом оценивания масштаба превращения земель, занятых лесными ресурсами в земли без лесного покрова (или других крупных преобразований землепользования). Для преобразований, связанных с добычей торфа, изменения запасов углерода, связанные с живой биомассой и почвой, рассматриваются ниже. Для преобразований, связанных с затоплением, рассматривается только изменение запасов углерода связанные с потерей живой биомассы.

Категория лесных земель, пахотных и пастбищ, а также земли населённых пунктов могут быть преобразованы в водно-болотные угодья. Наиболее вероятным является преобразование лесных угодий в земли населённых пунктов. Например, это могут быть преобразования в затопляемые земли для гидроэлектрических целей, или же это могут быть преобразования, которые связаны с добычей торфа (природные торфяники преобразуются в управляемые земли).

В уравнении 4 представлен метод расчета изменения запаса углерода на землях, преобразованных в водно-болотные угодья, с учётом двух возможных видов землепользования: добычи торфа и затопления.

Как показано в уравнении 4, изменение запасов углерода на землях, переустроенных в водно-болотные угодья, охватывает переустройство в два возможных вида землепользования: добычу торфа и затопление.

Уравнение 4. Изменение количества запасов углерода на землях, преобразованных в водно-болотные угодья.

$$\Delta C_{LW} = \Delta C_{LW_{peat}} + \Delta C_{LW_{flood}}$$

Где,

ΔC_{LW} = изменение запасов углерода на землях, преобразованных в водно-болотные угодья, тонн С год⁻¹;

$\Delta C_{LW_{peat}}$ = изменение запасов углерода на землях, преобразованных для добычи торфа, тонн С год⁻¹;

$\Delta C_{LW_{flood}}$ = изменение запасов углерода на землях, преобразованных в затопляемые земли, тонн С год⁻¹;

Изменение запасов углерода в тоннах С преобразуется в выбросы CO₂ зеленого газа путем умножения значения на 44/12 и 10⁻³. Выбросы указываются как положительные значения, а абсорбция - как отрицательные (уравнение 4, как ожидается, приведет к потере углерода).

Оценка изменения запасов углерода на землях, преобразованных с целью добычи торфа, состоит из двух основных элементов, как показано в Уравнение 4.1. Уравнение 4.1. рассчитывает потерю углерода.

Уравнение 4.1. Изменение запасов углерода на землях, преобразованных для добычи торфа за один год.

$$\Delta C_{LW_{peat}} = \Delta C_{LW_{peat_{LB}}} + \Delta C_{LW_{peat_{Soils}}}$$

Где,

$\Delta C_{LW_{peat}}$ = годовое изменение запасов углерода на землях, преобразованных для добычи торфа, тонн С год⁻¹;

$\Delta C_{LW_{peat_{LB}}}$ = годовое изменение запасов углерода в живой биомассе, тонн С год⁻¹;

$\Delta C_{LW_{peat_{Soils}}}$ = годовое изменение запасов углерода в почвах, тонн С год⁻¹;

Изменения запасов углерода в живой биомассе, связанные с преобразованием земель для добычи торфа, оцениваются по уравнению 4.2.

Уравнение 4.2. Годовое изменение запасов углерода в живой биомассе на землях, преобразованных для добычи торфа.

$$\Delta C_{LW_{peat_{LB}}} = \sum A_i \cdot (B_{After} - B_{Before})_i \cdot CF$$

Где,

$\Delta C_{LW_{peat_{LB}}}$ = годовое изменение запасов углерода в живой биомассе на землях, преобразованных для добычи торфа, тонн С год⁻¹;

A_i = площадь земель, ежегодно переводимых на добычу торфа из первоначального землепользования i , га в год⁻¹;

B_{Before} = надземная биомасса непосредственно перед преобразованием в добычу торфа, тонн/га⁻¹;

B_{After} = надземная биомасса сразу после преобразования в добычу торфа, тонн/га⁻¹ (по умолчанию = 0)

CF = доля углерода в сухом веществе (по умолчанию = 0,5), тонн С (тонн в сутки)⁻¹;

Как видно из уравнения, количество живой надземной биомассы, которая вырубается для добычи торфа оценивается путем умножения площади земли, ежегодно преобразуемой для добычи торфа, на разницу в углеродных запасах между биомассой в исходном использовании земли до преобразования и в торфянике после преобразования.

Если леса преобразованы в торфяники, а вырубленная древесина отражена в статистике лесозаготовок, то последнюю необходимо

скорректировать с учетом количества древесины, заготовленной на торфяниках, чтобы избежать двойного учета. Если предыдущим землепользованием были пастбища, то значения по умолчанию для надземной биомассы должны быть взяты из таблицы 8.

Таблица 8. Оценки по умолчанию для устойчивой биомассы пастбищ (в сухом веществе) и надземной чистой первичной продукции, классифицированных по климатическим зонам IPCC [41,40]

Климатические зоны IPCC	Пиковая надземная живая биомасса (тонн/га ⁻¹)			Наземная чистая первичная выработка (ANPP) (тонн/га-1 год-1)		
	Среднее значение	Кол-во исследований	Ошибка	Среднее значение	Кол-во исследований	Ошибка
Холодная умеренная - сухая	1.7	3	±75%	1.8	5	±75%
Холодная умеренная - сухая	1.7	10	±75%	2.2	18	±75%
Холодная умеренная - влажная	2.4	6	±75%	5.6	17	±75%
Теплая умеренная - сухая	1.6	8	±75%	2.4	21	±75%
Теплая умеренная - влажная	2.7	5	±75%	5.8	13	±75%

Выбросы CO₂ из почв происходят на нескольких этапах процесса образования торфа, как показано в уравнении 4.3.

Уравнение 4.3. Годовое изменение запасов углерода в почвах на землях, преобразованных для добычи торфа

$$\Delta C_{LW_{peatSoils}} = \Delta C_{drainage} + \Delta C_{extraction} + \Delta C_{stockpiling} + \Delta C_{restoration}$$

Где,

$\Delta C_{LW_{peatSoils}}$ = годовое изменение запасов углерода в почвах на землях, преобразованных для добычи торфа, тонн в год⁻¹;

$\Delta C_{\text{drainage}}$ = годовое изменение запасов углерода в почвах во время осушения, тонн в год⁻¹;

$\Delta C_{\text{extraction}}$ = годовое изменение запасов углерода в почвах при добыче торфа (без учета количества углерода в извлеченном торфе), тонн в год⁻¹;

$\Delta C_{\text{stockpiling}}$ = годовое изменение запасов углерода в почвах при накоплении торфа перед вывозом для сжигания, тонн в год⁻¹;

$\Delta C_{\text{restoration}}$ = ежегодное изменение запасов углерода в почвах в связи с практикой, проводимой для восстановления ранее обрабатываемых земель, тонн в год⁻¹;

2.6. Земли, преобразованные в населенные пункты

В соответствии с Земельным кодексом РФ статьи 83 землями, выделенными под населенные пункты «признаются земли, используемые и предназначенные для застройки и развития населенных пунктов» [2].

Данная категория земли включает в себя не только зоны для строительства жилых зданий, но и объекты культурного, бытового или иного назначения, в том числе и транспортную развязку (дороги), инженерную инфраструктуру и связь.

В данной части нашего исследования особое внимание посвящено той части категории земель, которая может повлиять на поток CO₂ находящийся между атмосферным и наземным углеродным резервуарам.

На это может повлиять весь древесный массив находящийся в черте города (например, в парках, садах, зонах общественной территории, а также растущие вдоль дорог деревья), только лишь с тем условием, что такие деревья функционально или административно связаны с населенный пунктом.

Хотя мертвое органическое вещество и почвенные углеродные бассейны также могут быть источниками или поглотителями CO₂ в населенных пунктах, а выбросы CH₄ и N₂O могут быть результатом практики управления

городскими землями, мало что известно о роли и величине этих бассейнов в общем потоке парниковых газов. Поэтому основное внимание в методологических обсуждениях уделяется подкатегории изменения запасов углерода в живой биомассе, где были проведены некоторые исследования [38,37].

Уравнение 5. Ежегодное изменение запасов углерода в живой биомассе на лесных землях, преобразованных в населенные пункты

$$\Delta C_{FS_{LB}} = A \cdot (C_{After} - C_{Before})$$

Где,

$\Delta C_{FS_{LB}}$ =ежегодное изменение запасов углерода в живой биомассе в результате преобразования лесных угодий в населенные пункты, тонн в год⁻¹;

A =площадь земель, ежегодно переводимых из лесных угодий в населенные пункты, га/год⁻¹;

C_{After} =запасы углерода в живой биомассе сразу после преобразования в населенные пункты, т/га⁻¹;

C_{Before} =запасы углерода в живой биомассе на лесных землях непосредственно перед преобразованием в населенные пункты, т/га⁻¹;

2.7. Земли, преобразованные в «другие земли»

Хотя это маловероятно, земли могут быть преобразованы в “Другие земли”, например, в результате обезлесения с последующей деградацией. Это преобразование землепользования, либо начинающееся с человеческой деятельности, либо с естественной движущей силы, влияющей на управление землей требует расчета выбросов CO₂, поскольку акт преобразования высвобождает углерод, ранее содержащийся на земле, и выбросы и/или абсорбция в результате деятельности по управлению прекращаются. Выбросы с земель, преобразованных в голую почву в результате развития населенных

пунктов, должны быть включены в категорию землепользования “Поселения” (см. Раздел - Земли, преобразованные в Населенные пункты.).

Сводное уравнение для изменения запасов углерода на землях, преобразованных в “Другие земли”, показано в уравнении 6.

Уравнение 6. Ежегодное изменение запасов углерода на землях, преобразованных в “Другие земли”

$$\Delta C_{LO} = \Delta C_{LO_{LB}} + \Delta C_{LO_{Soils}}$$

Где,

ΔC_{LO} = ежегодное изменение запасов углерода на землях, преобразованных в “Другие земли”, тонн в год⁻¹;

$\Delta C_{LO_{LB}}$ = ежегодное изменение запасов углерода в живой биомассе на землях, преобразованных в “Другие земли”, тонн в год⁻¹;

$\Delta C_{LO_{Soils}}$ = ежегодное изменение запасов углерода в почвах на землях, преобразованных в “Другие земли”, тонн в год⁻¹;

Уравнение 6.1. суммирует, как оценить изменение запасов углерода в живой биомассе на земле, преобразованной в “Другую землю”. Среднее изменение запасов углерода в расчете на единицу площади оценивается как равное изменению запасов углерода в результате удаления живой биомассы из первоначальных видов землепользования. Учитывая определение “Другой земли”, предположение по умолчанию состоит в том, что запас углерода после преобразования равен нулю.

Уравнение 6.1. Ежегодное изменение запасов углерода в живой биомассе на землях, преобразованных в “другие земли”

$$\Delta C_{LO_{LB}} = A_{Conversion} \cdot (B_{After} - B_{Before}) \cdot CF$$

Где,

$\Delta C_{LO_{LB}}$ = ежегодное изменение запасов углерода в живой биомассе на землях, преобразованных в “Другие земли”, тонн в год⁻¹;

$A_{Conversion}$ = площадь земли, ежегодно переводимой в “Другие земли” из некоторых первоначальных видов землепользования, га в год⁻¹;

B_{After} = количество живой биомассы сразу после преобразования в “Другие земли”, тонн/га⁻¹;

B_{Before} = количество живой биомассы сразу перед преобразованием в “Другие земли”, тонн/га⁻¹;

CF = доля углерода в сухом веществе (по умолчанию = 0,5), тонн С (тонн в сутки)

ГЛАВА 3. ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ

3.1. Земельные ресурсы тестового хозяйства и их использование

Апробация предложенных подходов проводилась на примере территории земель хозяйства ВНИИМЗ Калининского района Тверской области Российской Федерации (рисунок 3). Административный центр хозяйства - Эммаусское сельское поселение. Координаты посёлка - $56^{\circ}46'55''$ северной широты $36^{\circ}06'55''$ восточной долготы.



Рисунок 3 – Расположение посёлка Эммаусс Калининского района Тверской области.

Калининский район расположен на юге Тверской области и граничит с такими районами как Лихославльский, Рамешковский, Кимрский, Конаковский, Лотошинский и Старицкий с Торжокским, так же район граничит на юге с Московской областью.

Поселок Эммаусс находится в 15 километрах от центра Твери и в 3 километрах от границы города. Численность населения на данным Всероссийской переписи населения на 1 января 2010 года составила 3267 человек [74].

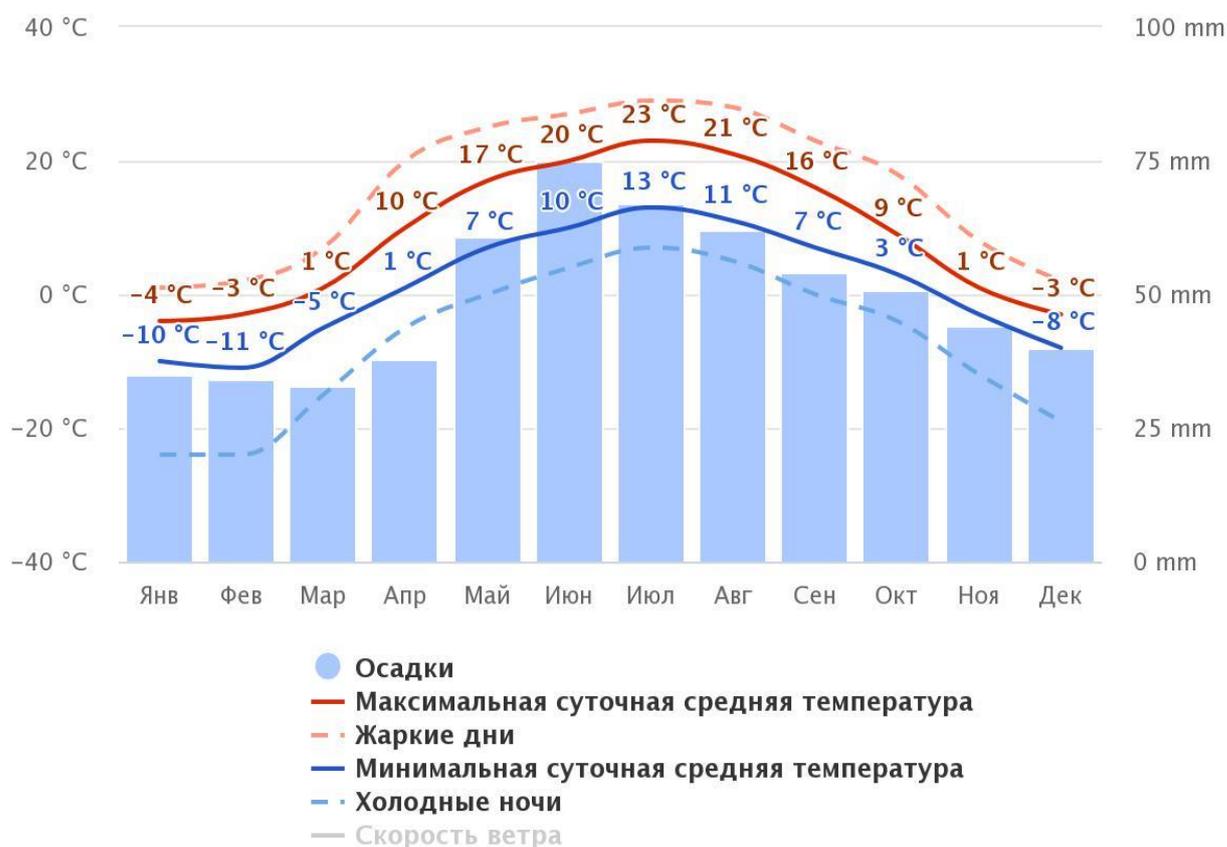
Село Эммаус расположено в непосредственной близости от автомагистрали М 10. Просёлок располагается у берега реки Волга, а школа-интернат находится восточнее посёлка у залива Волги.

На данный момент посёлок, село и школа-интернат фактически составляют единый населённый пункт.

3.2. Метеоусловия

На территории Калининского района Тверской области умеренно-континентальный климат. Характерными чертами является переход от континентального климата восточных районов Европейской территории страны к более влажному климату северо-западных регионов.

Средняя температура в январе составляет -8°C , а в июле 20°C . На рисунке 4 представлены данные о средней температуре и количестве осадков на территории посёлка Эммаусс (по данным метеорологической службы meteoblue).



meteoblue

Рисунок 4. Средняя температура и количество осадков (Калининский район посёлок Эммаусс) [57].

Красная линия указывает на максимальные суточные значения температуры в течение месяца по данным за последние 30 лет, синяя же линия указывает минимальные значения температуры.

На рисунке 5 представлена диаграмма максимальной температуры в Эммаусе. По диаграмме мы можем сделать вывод о том за какое количество дней в каждом месяце достигается определенная температура. Черной линией выделено среднее количество морозных дней, когда температура воздуха меньше или равна 0°C.

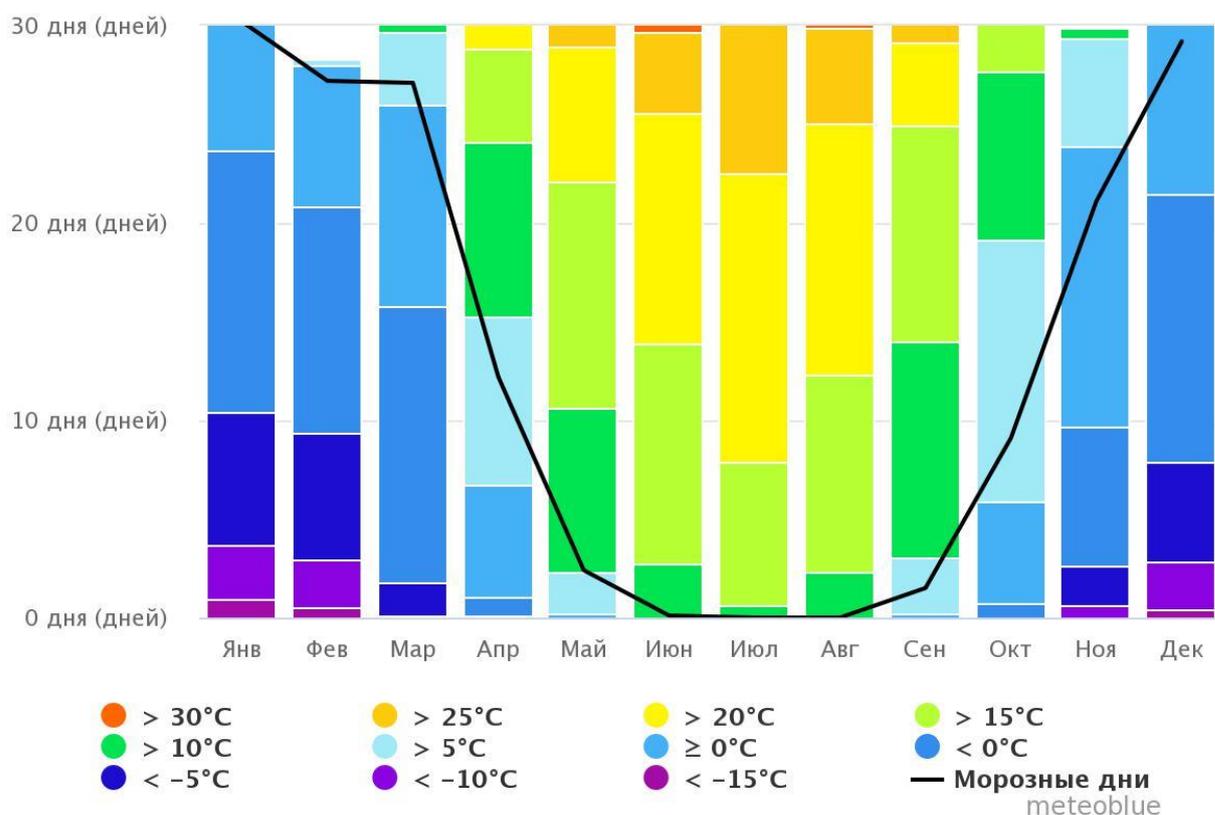


Рисунок 5 - Соотношение максимальных температур и количества дней [57].

3.3. Рельеф

Тверская область расположена в центральной части Восточно-Европейской равнины. В целом Тверская область имеет характерный

равнинный рельеф, где присутствует чередование низменностей и возвышенностей.

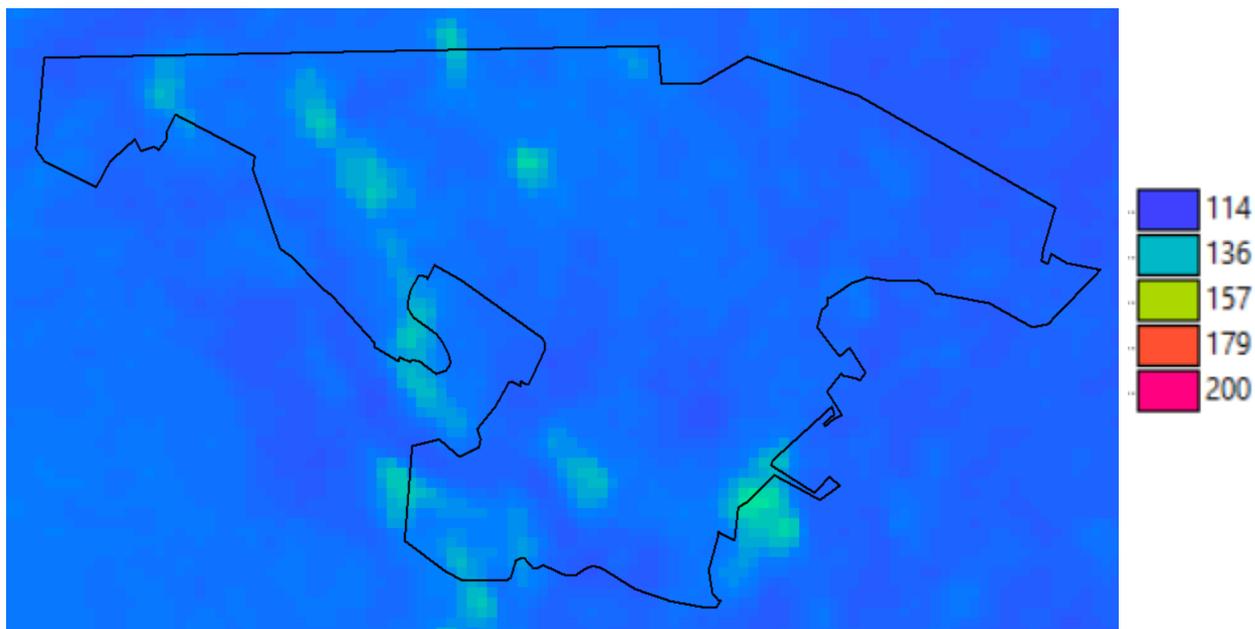


Рисунок 6 – Цифровая модель местности SRTM
(черная линия – граница хозяйства, цветом показана абсолютная
высота в метрах)

Радарная топографическая съемка SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) – глобальная цифровая модель рельефа. Радиолокационная топографическая миссия шаттла Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) - это международная исследовательская работа, которая получила цифровые модели рельефа в почти глобальном масштабе от 56°S до 60°N для создания наиболее полной цифровой топографической базы данных Земли с высоким разрешением до выпуска ASTER GDEM в 2009 году. Съемка была произведена в начале 2000 года за 11 дней с помощью специальной радарной съемки [58].

Данные съемки поставляются в нескольких вариантах – сетка с размером ячейки равной 1 и 3 угловые секунды. Данные представляют собой матрицу из 1201x1201 (для трехсекундной) или 3601x3601 (для односекундной версии) значений. Данные высот SRTM предназначены для научного использования с географической информационной системой (ГИС) или другим специальным прикладным программным обеспечением.

Формат файла изображения с географической привязкой (GeoTIFF) представляет собой файл TIFF со встроенной географической информацией. Размер одного тейла составляет приблизительно 25 МБ для файлов данных 1 arc-second и приблизительно 3 МБ для файлов данных 3 arc-second [44].

3.4. Почвы

Географическое положение области, рельеф, климат и ряд других факторов способствовали развитию подзолистого, глеевого и болотного процессов почвообразования, что привело к формированию весьма разнообразного и сложного почвенного покрова на территории Тверской области.

Дерново-подзолистые почвы широко распространены на юге лесной зоны Восточно-Европейской равнины. Характерны для хвойно-лиственных и хвойно-широколиственных мохово-травянистых и травянистых лесов преимущественно на суглинистых породах различного генезиса [48]. Почвы характеризуются небольшим содержанием гумуса (от 2 до 6%).

По мере развития дернового процесса происходит накапливание в верхнем слое почвы органического вещества и усиливается оглеение (восстановительный процесс). Луговая стадия дернового периода процесса почвообразования переходит к болотной стадии и дерново-подзолистые почвы переходят в дерново-подзолистые заболоченные почвы – подзолисто-глееватые. По мере дальнейшего развития переходят в торфяно-подзолисто-глеевые и торфяно-глеевые. Необходимо так же отметить, что в различных частях территории дерново-подзолистой зоны процесс почвообразования протекает с неодинаковой интенсивностью в зависимости от климата, рельефа и других факторов [71].

Основными культурами севооборотов для дерново-подзолистых почв являются пропашные, зерновые и однолетние и многолетние травы.

На территории хозяйства ВНИИМЗ преимущественно расположены дерново-среднеподзолистые поверхностно-слабоглееватые осушенные почвы

(18,7%), а так же дерново-среднеподзолистые поверхностно-глееватые осушенные слабокаменистые почвы (29,2%).

Со всем списком почв на исследуемом участке можно ознакомиться в таблице и на рисунке 6.

Таблица – Почвенный покров на территории тестового хозяйства.

№	Название почвы	Механический состав	Площадь	%	Почвообразующие и подстилающие породы
1	Дерново-среднеподзолистые эрозийноопасные	супесчаный	28829,57	0,97	глубокие двучленные отложения (пески подстилаются мореной на глубине более 50 см)
2	Дерново-среднеподзолистые слабокаменистые осушенные поверхностно-слабоглеевые	супесчаный	263463,69	8,85	глубокие двучленные отложения (пески подстилаются мореной на глубине более 50 см)
3	Дерново-среднеподзолистые поверхностно-слабоглееватые осушенные	супесчаный	556922,15	18,71	глубокие двучленные отложения (пески подстилаются мореной на глубине более 50 см)
4	Дерново-среднеподзолистые поверхностно-слабоглееватые	супесчаный	156125,88	5,25	глубокие двучленные отложения (пески подстилаются мореной на глубине более 50 см)
5	Дерново-среднеподзолистые осушенные поверхностно-глееватые	супесчаный	265151,25	8,91	глубокие двучленные отложения (пески подстилаются мореной на глубине более 50 см)
6	Дерново-среднеподзолистые поверхностно-глееватые осушенные слабокаменистые	супесчаный	869722,75	29,22	глубокие двучленные отложения (пески подстилаются мореной на глубине более 50 см)
7	Дерново-среднеподзолистые поверхностно-глееватые осушенные слабокаменистые	супесчаный	64623,81	2,17	пески на морене карбонатной

8	Дерново-среднеподзолистые поверхностно-глееватые слабокаменистые	супесчаный	113633,38	3,82	глубокие двучленные отложения (пески подстилаются мореной на глубине более 50 см)
9	Дерново-сильноподзолистые профильноглееватые слабокаменистые осушенные	легкосуглинистый	44383,86	1,49	морена
10	Дерново-сильноподзолистые профильноглееватые	супесчаный	71698,13	2,41	глубокие двучленные отложения (пески подстилаются мореной на глубине более 50 см)
11	Дерново-сильноподзолистые профильноглееватые осушенные	супесчаный	67092,06	2,25	мелкие двучленные отложения (пески подстилаются мореной на глубине более 50 см)
12	Дерново-сильноподзолистые поверхностно-глееватые в комплексе до 10% с дерново-сильноподзолистыми профильноглееватыми	супесчаный	17398,19	0,58	глубокие двучленные отложения (пески подстилаются мореной на глубине более 50 см)
13	Дерново-сильноподзолистые профильноглееватые осушенные	легкосуглинистые	308160,88	10,35	морена

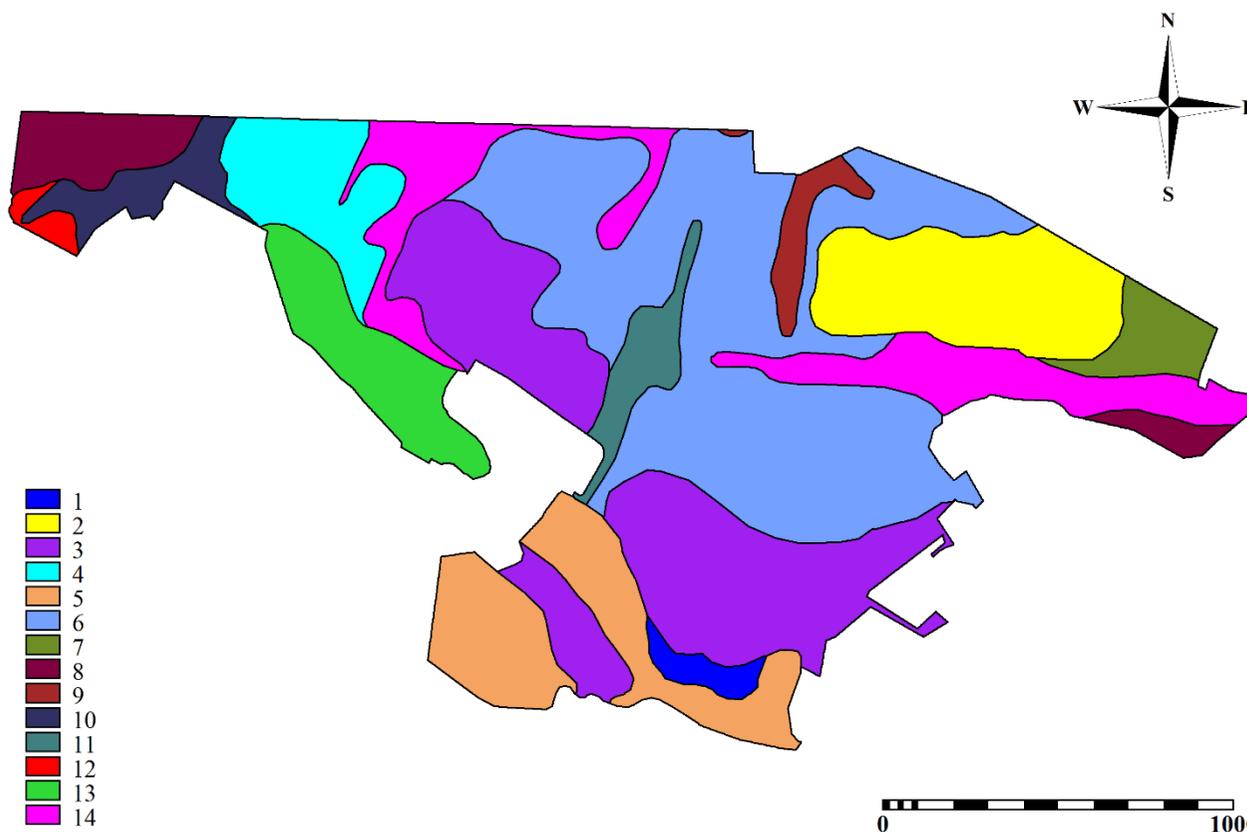


Рисунок 6 – Почвенная карта посёлка Эммаусс Калининского района Тверской области

(1 - Дерново-среднеподзолистые эрозионноопасные; 2- Дерново-среднеподзолистые слабокаменистые осушенные поверхностно-слабоглеевые; 3 - Дерново-среднеподзолистые поверхностно-слабоглееватые осушенные; 4 - Дерново-среднеподзолистые поверхностно-слабоглееватые; 5 - Дерново-среднеподзолистые осушенные поверхностно-глееватые; 6 - Дерново-среднеподзолистые поверхностно-глееватые осушенные слабокаменистые; 7 - Дерново-среднеподзолистые поверхностно-глееватые осушенные слабокаменистые; 8 - Дерново-среднеподзолистые поверхностно-глееватые слабокаменистые; 9 - Дерново-сильноподзолистые профильноглееватые слабокаменистые осушенные; 10 - Дерново-сильноподзолистые профильноглееватые; 11 - Дерново-сильноподзолистые профильноглееватые осушенные; 12 - Дерново-сильноподзолистые поверхностно-глееватые в комплексе до 10% с дерново-сильноподзолистыми профильноглееватыми; 13 - Перерытые земли; 14 - Дерново-сильноподзолистые профильноглееватые осушенные)

3.5. Использование земель

Для анализа текущего землепользования использовались снимки, полученные с помощью беспилотного летательного аппарата, подготовленные на всю территорию хозяйства. Аэрофотосъемка проводилась с помощью проложения перекрывающихся между собой маршрутов. При дешифрировании был задействован камеральный метод – характеристики и распознавание объектов проводилось путем визуального дешифрирования угодий по снимкам.

Анализируя текущее использование земель, приходим к выводу, что большая часть земель занята землями сельскохозяйственного назначения, часть из которых заброшена, а также лугами.

Текущее использование земель изображено на рисунке 7.

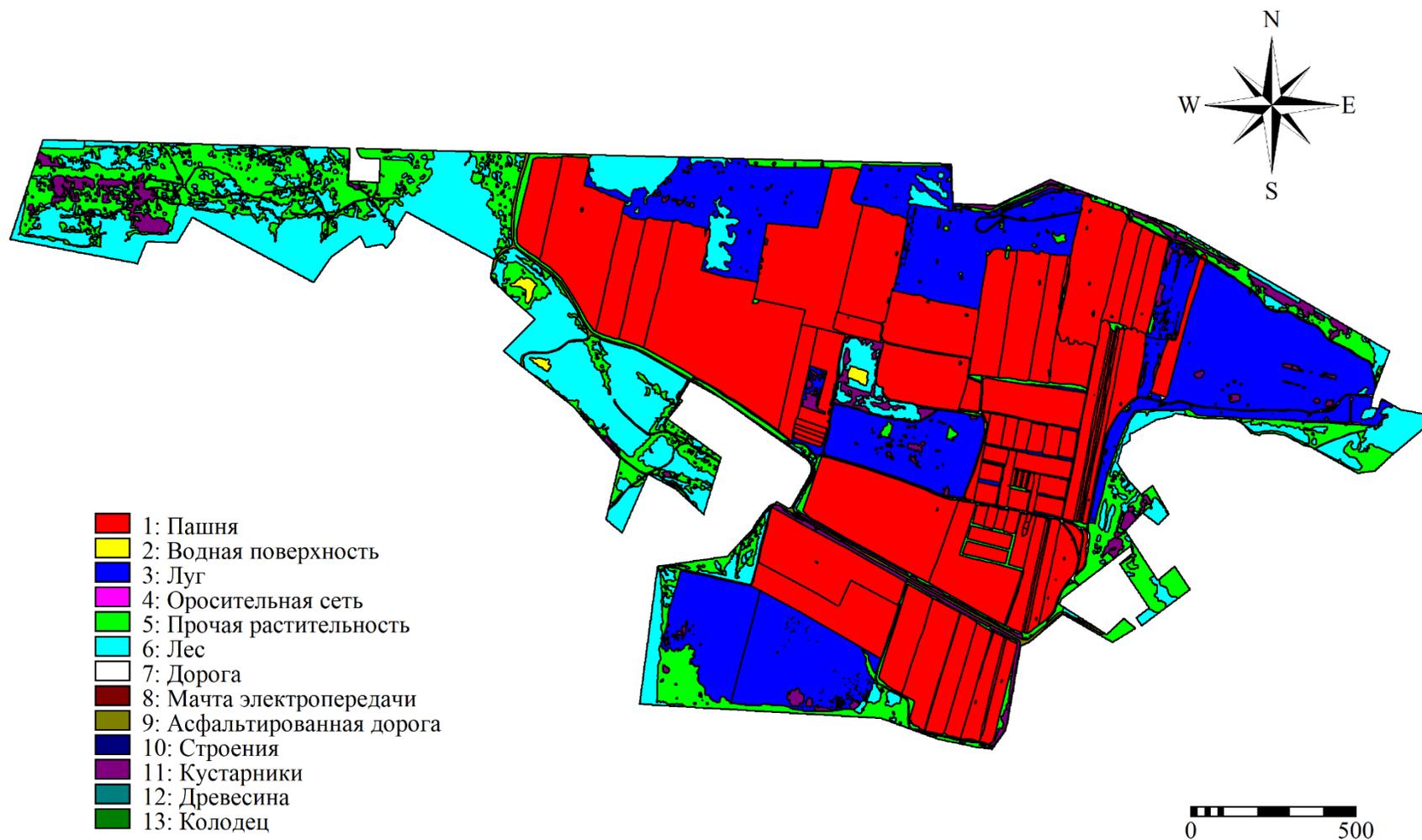


Рисунок 7 – Карта фактического использования земель хозяйства Эммаусс Калининского района Тверской области

3.6. Программное обеспечение ГИС ILWIS 3

The Integrated Land and Water Information System (ILWIS) - интегрированная информационная система по земельным и водным ресурсам. Данное программное обеспечение для геоинформационных систем и дистанционного зондирования было разработано в 1988 году. Благодаря ПО есть возможность обработки снимков, проведение пространственного анализа, а также цифрового картографирования.

Он прост в освоении и использовании, ПО имеет полную онлайн-справку, обширные учебные пособия для непосредственного использования на учебных курсах и 25 тематических исследований различных дисциплин.

С 1 июля 2007 года программное обеспечение ILWIS находится в свободном доступе в качестве программного обеспечения с открытым исходным кодом (двоичные файлы и исходный код) в рамках инициативы 52°North (лицензия GPL) [43].

Интерфейс программного обеспечения представлен на рисунке 8.

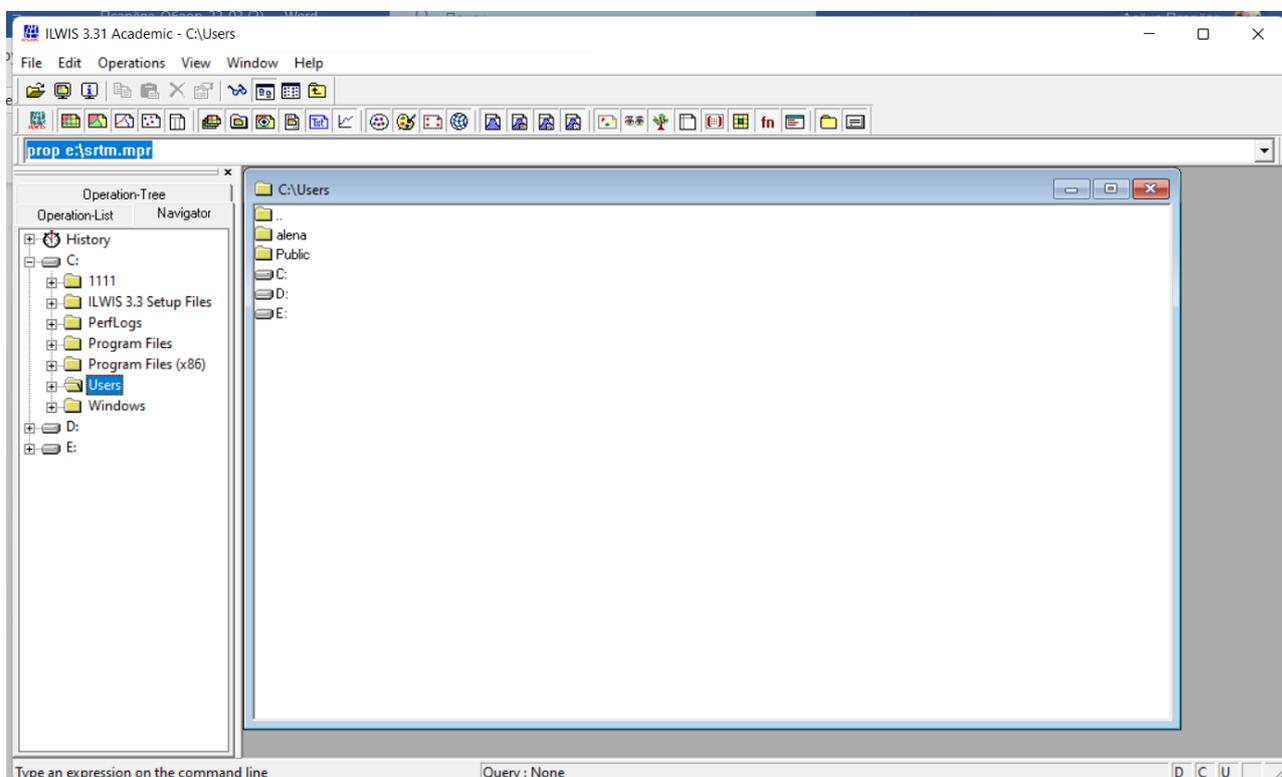


Рисунок 8 – Интерфейс программного обеспечения ILWIS 3.3

Программное обеспечение имеет обширный функционал:

- Работа с различными типами данных – векторными и растровыми;
- Поддержка импорта и экспорта большого количества форматов данных;
- Возможность оцифровки и планшета;
- Большой набор инструментов для обработки снимков и изображений;
- Ортофототрансформирование, геопривязка;
- Расширенное моделирование и анализ пространственных данных;
- 3D визуализация с интерактивным редактированием для оптимального просмотра результатов;
- Богатая библиотека проекций и систем координат;
- Геостатистический анализ с кригингом для улучшенной интерполяции;
- Создание и визуализация пар стереоизображений;
- Пространственная многокритериальная оценка;
- Набор операций по DEMs/DTMs и гидрологической обработке.

Функционал ILWIS для векторов включает: оцифровку с помощью мыши и/или дигитайзера, интерполяцию из изолиний или точек, расчет плотности сегментов или точек, анализ шаблонов.

Функционал ILWIS для растров включает: расчет расстояний, создание цифровой модели рельефа (ЦМР), расчет уклона/аспекта, создание карт атрибутов, классификация карт, работа с картами с помощью iff-условий, с помощью булевой логики, пересечение карт и т.д.

Для спутниковых снимков: создание гистограмм, цветовых композитов, выборка и классификация, фильтрация, многополосная статистика. Кроме того, ILWIS предоставляет процедуры импорта и экспорта, редактирования точечных, сегментных, полигональных и растровых карт, изменения проекции/системы координат карт, а также возможности вывода с аннотацией.

В Windows вы можете запустить одну операцию и продолжать ее выполнение, пока вы запускаете одно или несколько дополнительных приложений. Это своего рода многозадачность. Вы можете работать как с прикладными программами Windows, так и DOS, выполнять один или

несколько расчетов ILWIS в фоновом режиме и в то же время отображать карты, выполнять другие операции ILWIS, печатать и т.д.

3.7. Стратегия исследований

Для начала исследований нами была собрана информация об объекте исследования – тестовом участке, а также статистические данные по секвестрации углерода на различных типах угодий. С помощью данных о земельных ресурсах были подготовлены карты – рельефа, почвенная карта и карта текущего использования земель. После отбора типов угодий для нашего исследования мы подготовили карты оценки пригодности по рельефу и почвам для разных типов угодий.

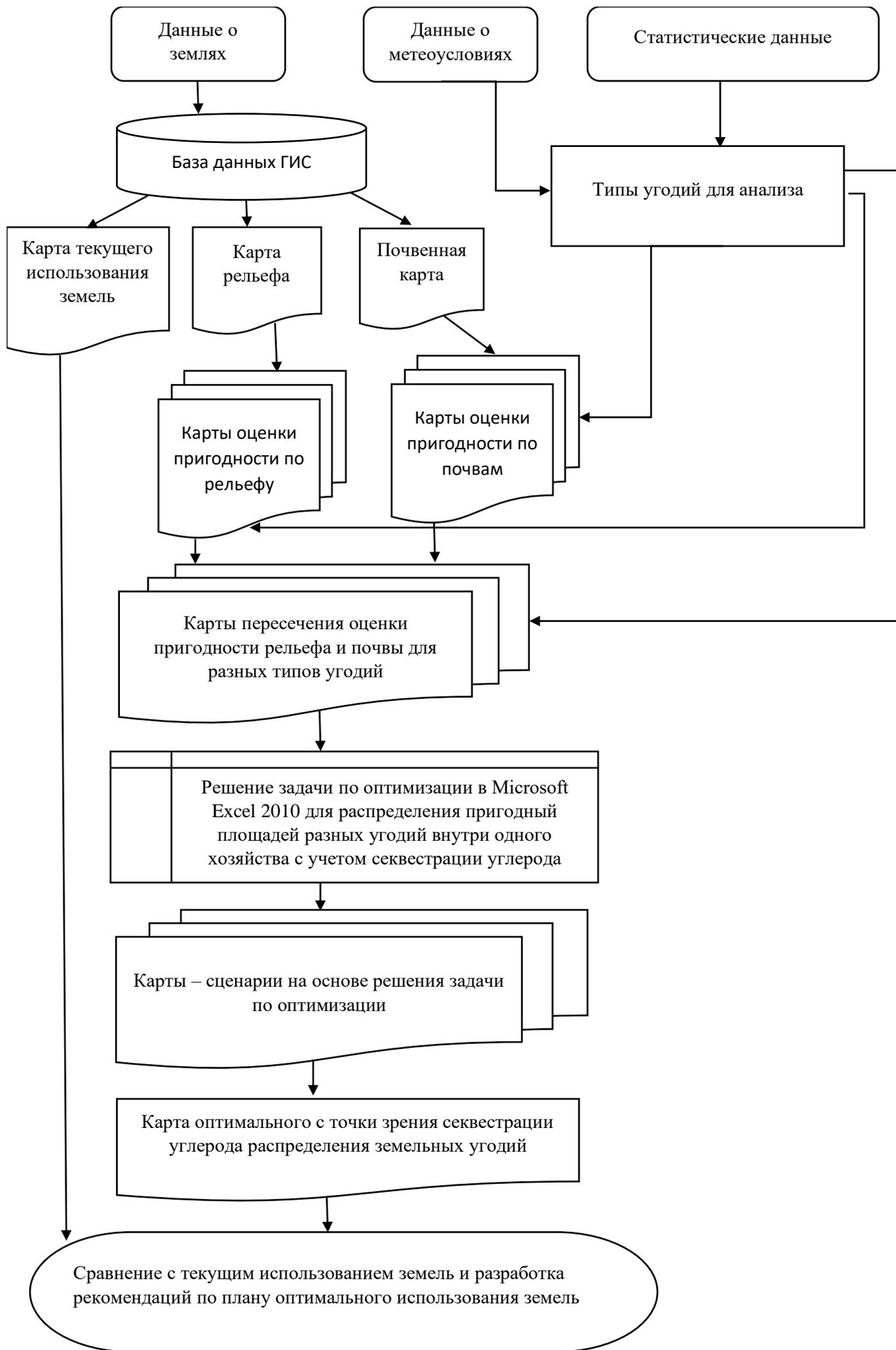
Далее мы сопоставили эти карты и получили карты пересечения оценки пригодности рельефа и почвы для разных типов угодий. С помощью карт мы также определили площади пригодных земель и с помощью решения задачи по оптимизации методом линейного программирования получили площади распределения типов угодий на территории хозяйства.

После этого мы подготовили карты-сценарии размещения угодий с учетом секвестрации угодий и выбрали оптимальный для наших целей вариант карты.

После подготовки карты мы провели сравнительный анализ текущего состояния земель и карты оптимального с точки зрения секвестрации углерода распределения земельных угодий.

Предлагаемая схема проведения исследований представлена на рисунке 9.

Рисунок 9 - Предлагаемая карта создания сценария оптимального с точки зрения секвестрации углерода размещения земельных угодий хозяйства



ГЛАВА 4. РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

4.1. Оценка пригодности земель по рельефу

Для оценки пригодности земель по рельефу, как уже отмечалось ранее, мы использовали цифровую модель местности SRTM (рисунок 6). Для этого с помощью программного обеспечения ILWIS были созданы карты оценки пригодности под каждый тип угодья по уклонам местности. Выделили три категории для использования – пригодно, ограниченно пригодно, непригодно, а так же под наши цели выбрали 4 типа угодий – пашни, пастбища, леса и болота. Оценка пригодности происходила по следующему принципу.

Для пашни (рисунок 10):

- Менее 2 градусов – пригодно
- 2 -5 градусов – ограниченно пригодно
- Более 5 градусов – непригодно

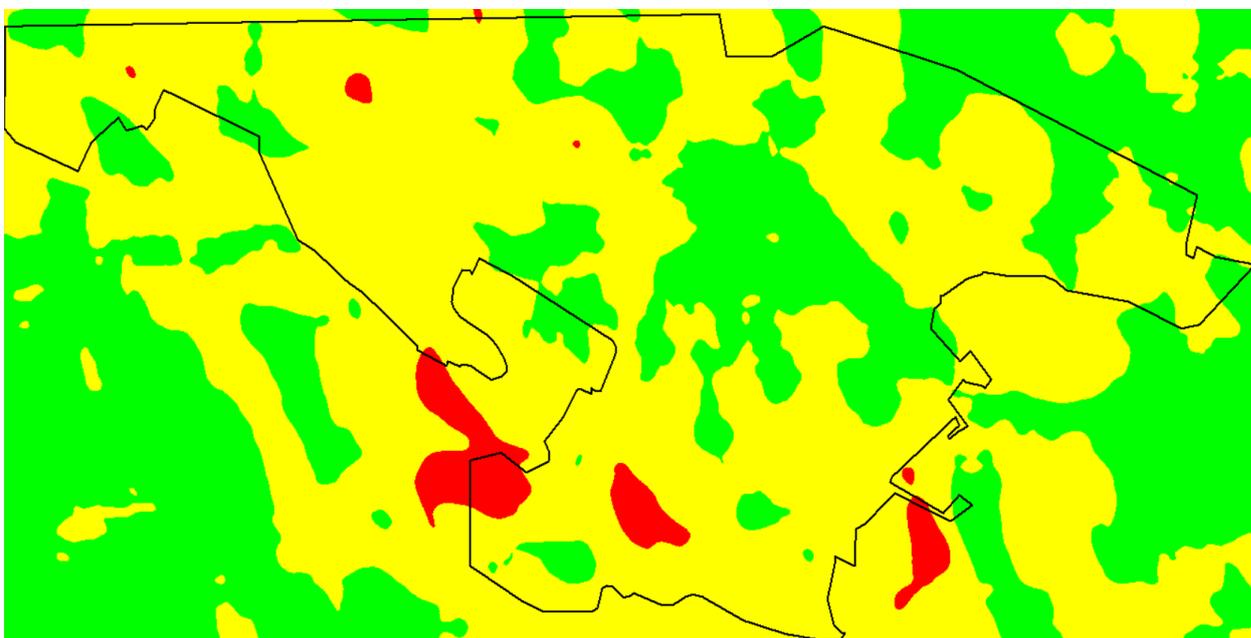


Рисунок 10 – Карта оценки пригодности рельефа для пашни (черный контур – граница хозяйства, зеленый цвет – пригодные земли, желтый цвет – ограниченно пригодные, красный цвет – непригодные земли)

Для пастбища (рисунок 11):

- Менее 5 градусов – пригодно
- 5 – 8 градусов – ограниченно пригодно
- Более 8 градусов – непригодно

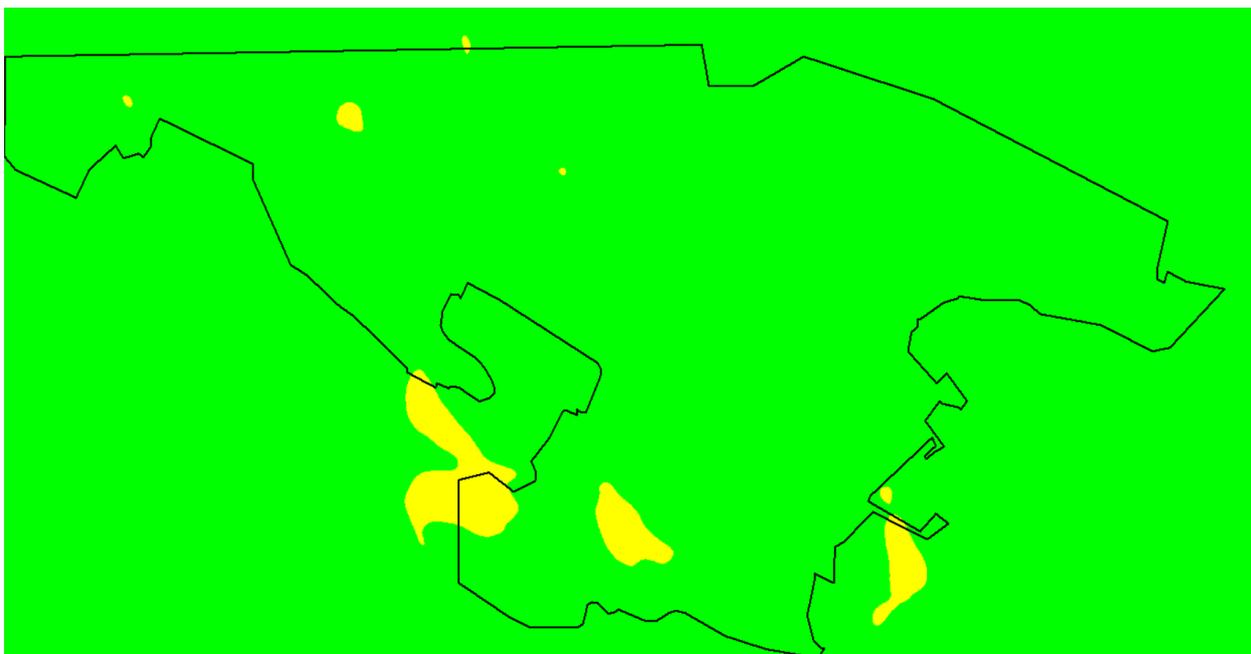


Рисунок 11 - Карта оценки пригодности рельефа для пастбища
(черный контур – граница хозяйства, зеленый цвет – пригодные земли,
желтый цвет – ограниченно пригодные, красный цвет – непригодные земли)

Для леса (рисунок 12):

- Менее 8 градусов – пригодно
- 8 – 12 – ограниченно пригодно
- Более 12 градусов – непригодно

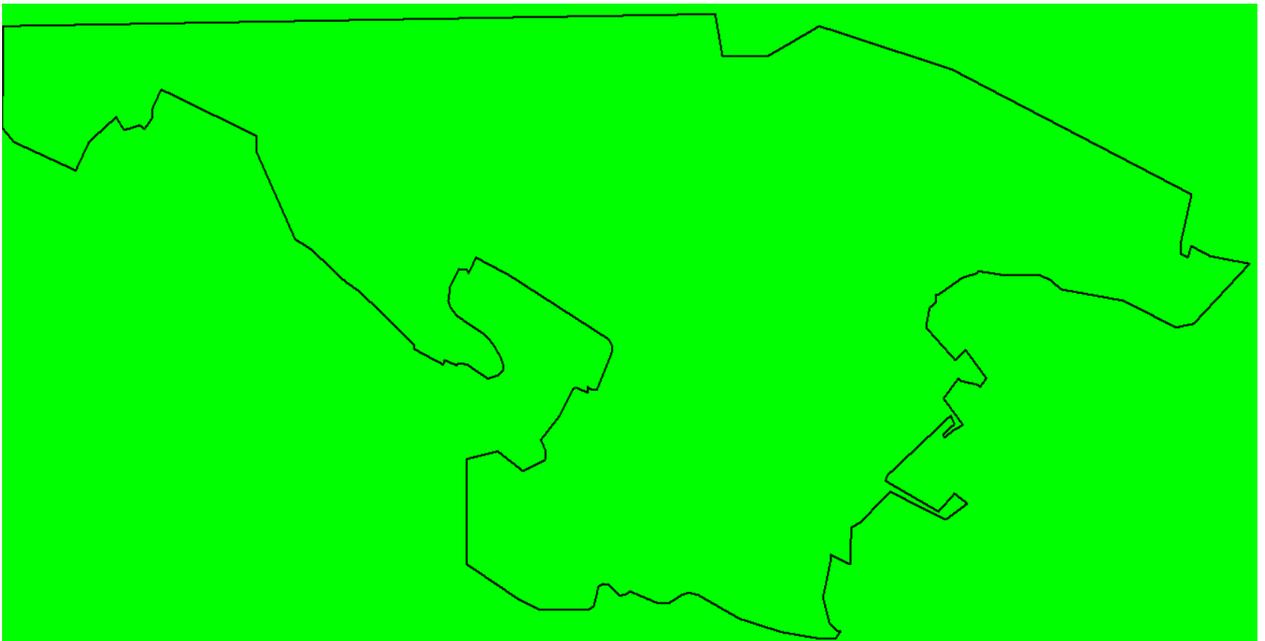


Рисунок 12 - Карта оценки пригодности рельефа для леса
(черный контур – граница хозяйства, зеленый цвет – пригодные земли)

Для болота (рисунок 13):

- Менее 2 градусов – пригодно
- Более 2 градусов – непригодно

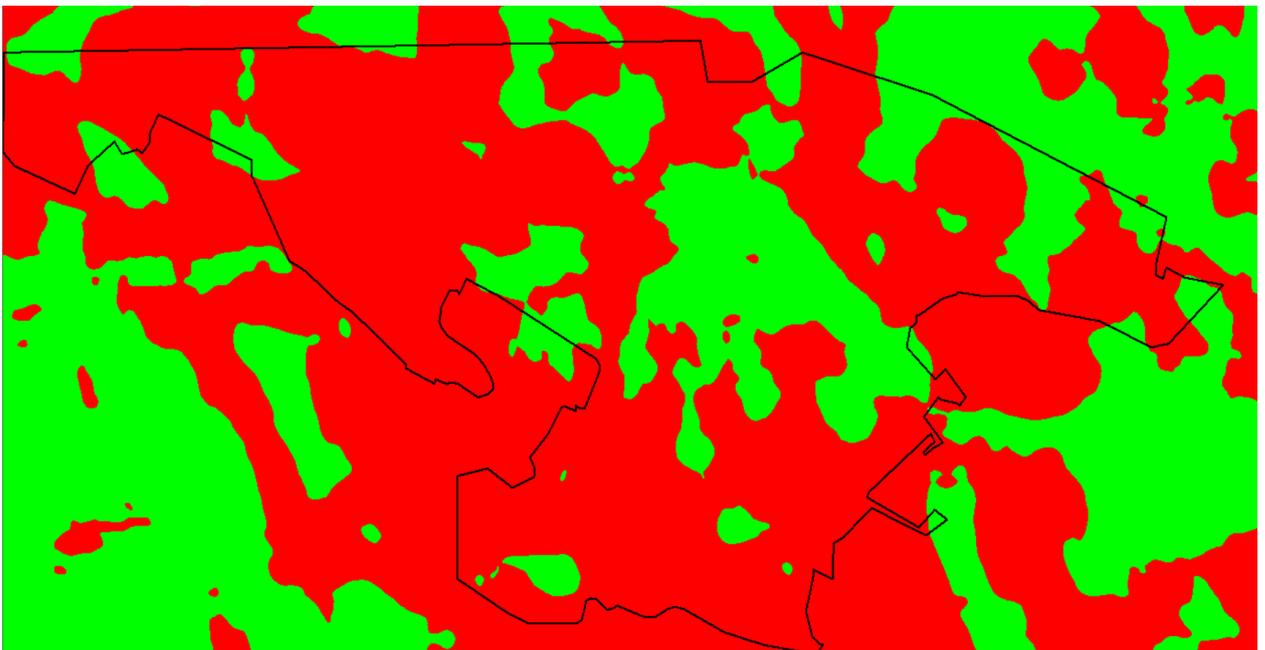


Рисунок 13 – Карта оценки пригодности рельефа для болота

(черный контур – граница хозяйства, зеленый цвет – пригодные земли, красный цвет – непригодные земли)

4.2. Оценка пригодности земель по почвам

Используя почвенную карту (рисунок 6), были оценены почвенные условия так же по трём категориям – пригодны, ограниченно пригодны, непригодны. Результаты оценки представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Оценка пригодности почв под конкретные угодья.

№	Название почвы	Площадь (м ²)	Пашня	Лес	Пастбища	Болота
1	Дерново-среднеподзолистые эрозийноопасные	28829,57	о	п	н	н
2	Дерново-среднеподзолистые слабокаменистые осушенные поверхностно-слабоглеевые	263463,69	о	п	п	н
3	Дерново-среднеподзолистые поверхностно-слабоглееватые осушенные	556922,15	п	п	п	н
4	Дерново-среднеподзолистые поверхностно-слабоглееватые	156125,88	п	п	п	н
5	Дерново-среднеподзолистые осушенные поверхностно-глееватые	265151,25	п	п	о	н
6	Дерново-среднеподзолистые поверхностно-глееватые осушенные слабокаменистые	869722,75	о	п	п	н
7	Дерново-среднеподзолистые поверхностно-глееватые осушенные слабокаменистые	64623,81	о	п	п	н
8	Дерново-среднеподзолистые поверхностно-глееватые слабокаменистые	113633,38	о	п	о	н

№	Название почвы	Площадь (м ²)	Пашня	Лес	Пастбища	Болота
9	Дерново-сильнопodzолистые профильноглееватые слабокаменистые осушенные	44383,86	о	о	п	о
10	Дерново-сильнопodzолистые профильноглееватые	71698,13	о	п	о	о
11	Дерново-сильнопodzолистые профильноглееватые осушенные	67092,06	п	п	п	о
12	Дерново-сильнопodzолистые поверхностно-глееватые в комплексе до 10% с дерново-сильнопodzолистыми профильноглееватыми	17398,19	о	о	о	о
13	Перерытые земли	149436,25	н	о	о	н
14	Дерново-сильнопodzолистые профильноглееватые осушенные	308160,88	п	о	п	о
	Всего	2976641,8				

(п – пригодно, о – ограниченно пригодно, н – непригодно)

Так же были созданы карты пригодности почв для каждого выбранного типа угодий. Оценка пригодности почв для пашни представлена на рисунке 14, для пастбища – на рисунке 15, для леса – на рисунке 16, для болота - на рисунке 17



Рисунок 14 – Оценка пригодности почв для пашни
(р – пригодно; о – ограниченно пригодно; n – непригодно)

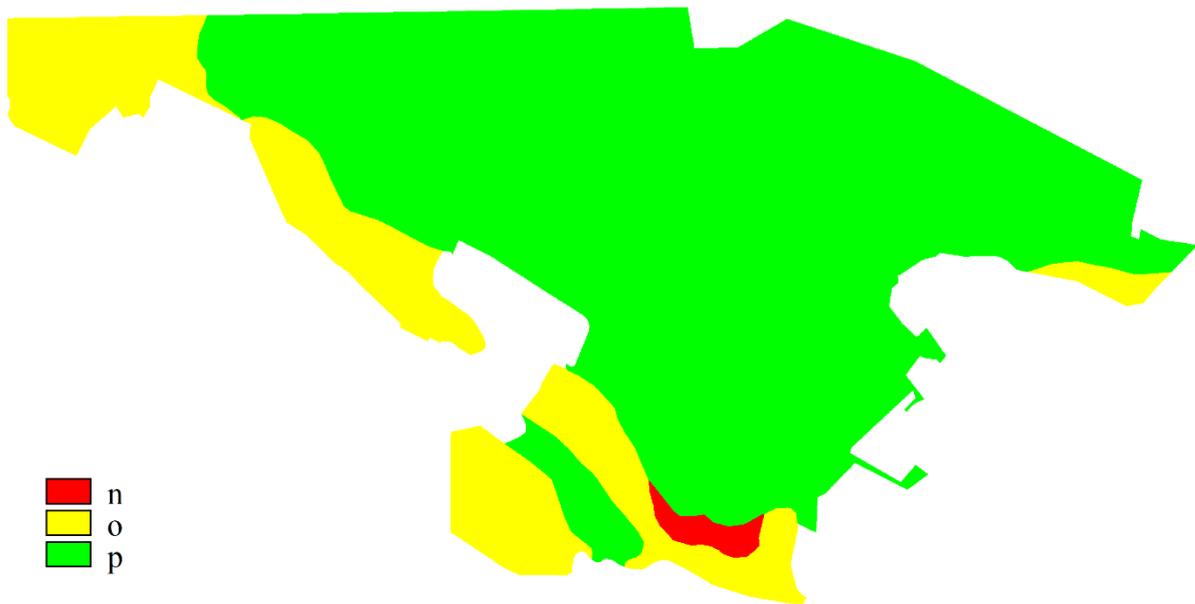


Рисунок 15 – Оценка пригодности почв для пастбища
(р – пригодно; о – ограниченно пригодно; n – непригодно)



Рисунок 16 – Оценка пригодности почв для леса
(р – пригодно; о – ограниченно пригодно; n – непригодно)



Рисунок 17 – Оценка пригодности почв для болота
(р – пригодно; о – ограниченно пригодно; n – непригодно)

4.3. Оценка пригодности земель для разных типов угодий

Для расчёта площадей земель пригодных, ограниченно пригодных и непригодных было выполнено пересечение двух карт – карт оценки пригодности рельефа и карт оценки пригодности почв для выбранных типов угодий.

Карта пересечения оценки пригодности рельефа и почвы для пашни представлена на рисунке 18, для пастбища на рисунке 19, для леса на рисунке 20 и для болота на рисунке 21.

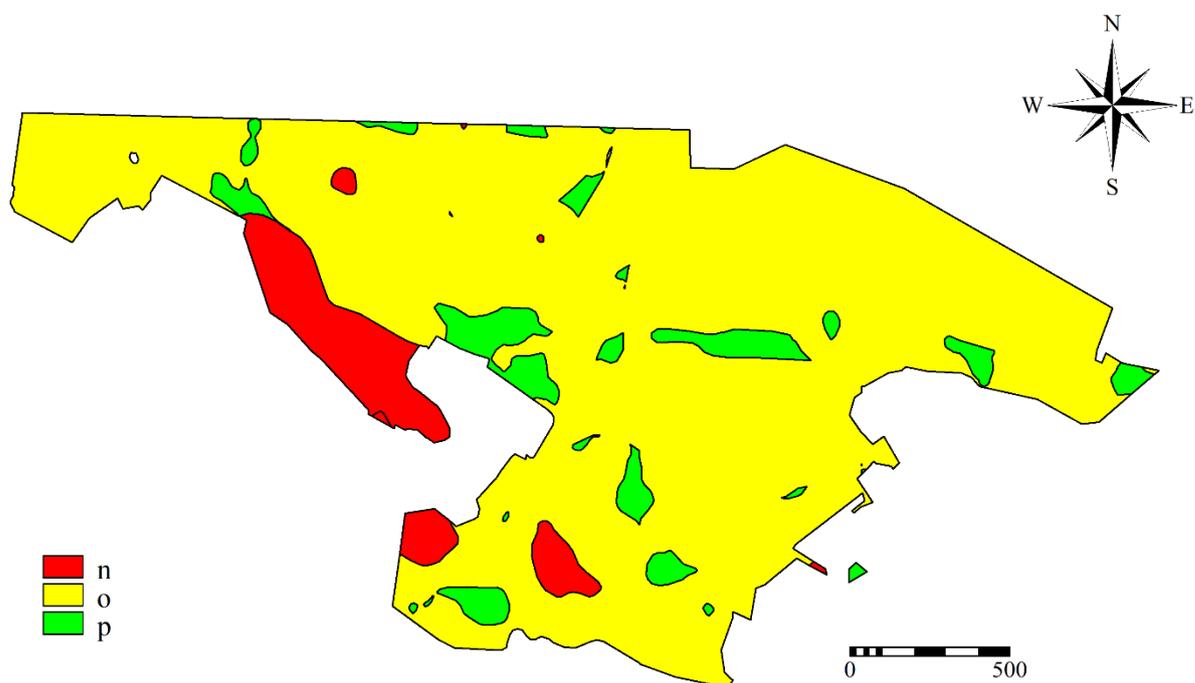


Рисунок 18 -Карта пересечения оценки пригодности рельефа и почвы для пашни

(р – пригодно; о – ограниченно пригодно; n – непригодно)

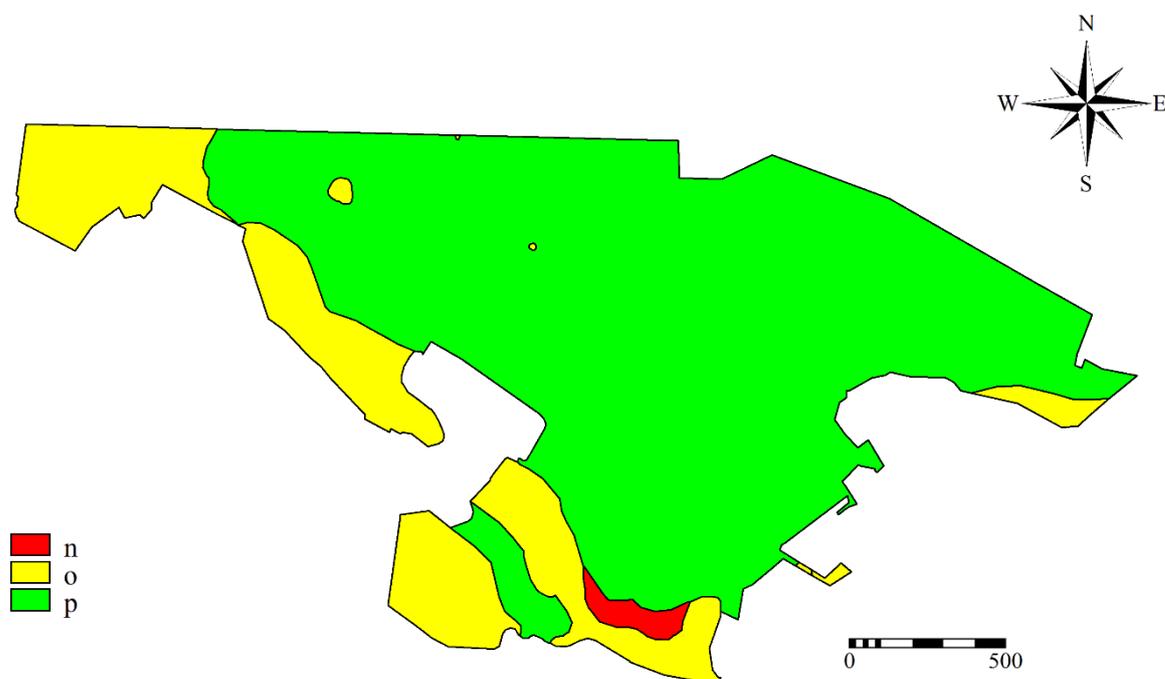


Рисунок 19 - Карта пересечения оценки пригодности рельефа и почвы для пастбища (р – пригодно; о – ограниченно пригодно; n – непригодно)

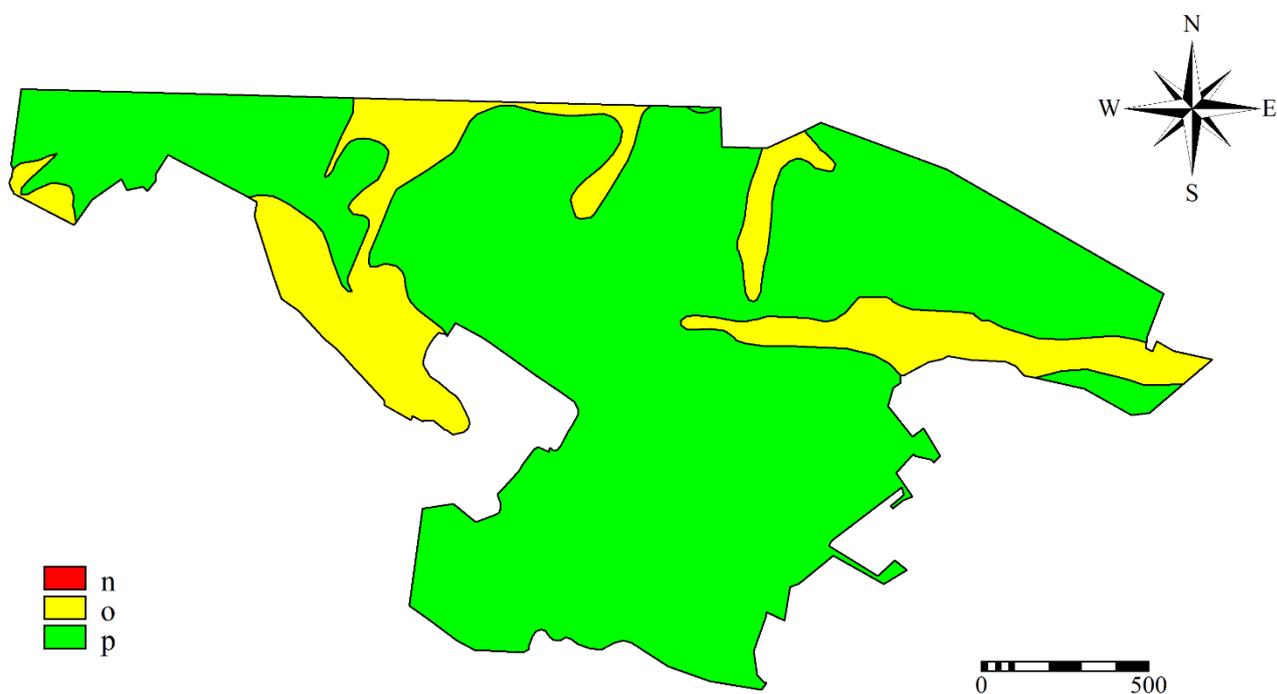


Рисунок 20 – Карта пересечения оценки пригодности рельефа и почвы для леса (р – пригодно; о – ограниченно пригодно; n – непригодно)

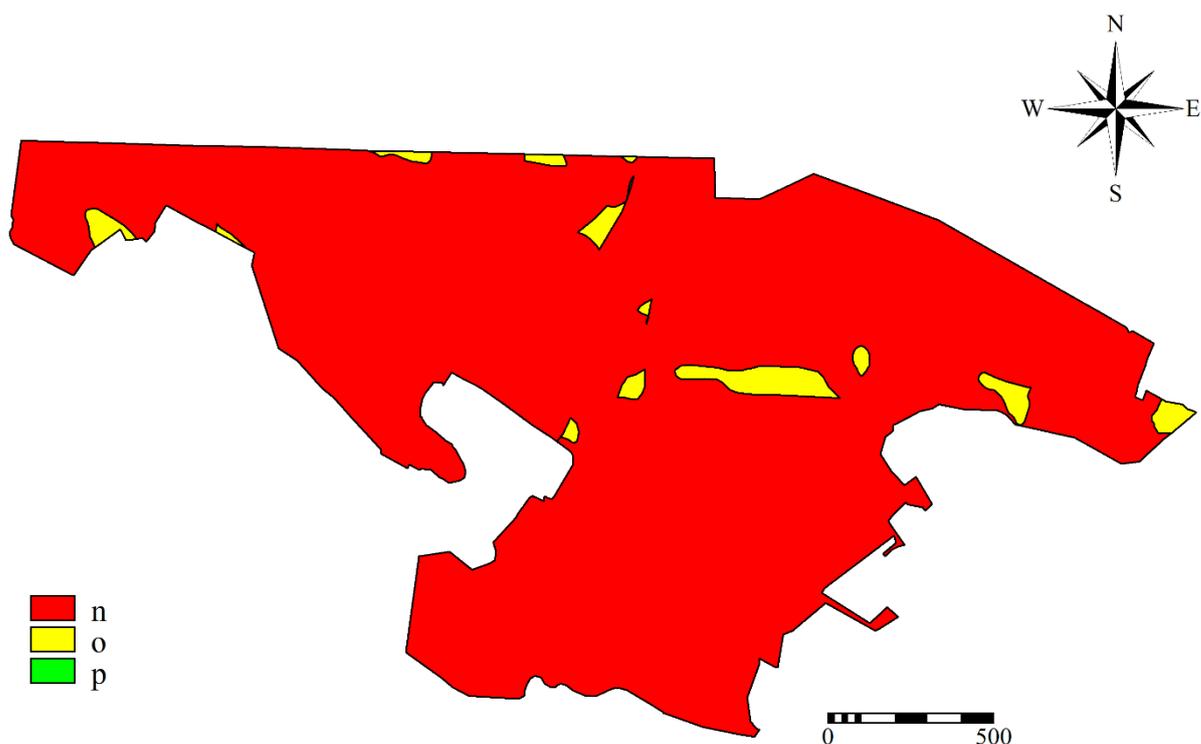


Рисунок 21 – Карта пересечения оценки пригодности рельефа и почвы для болота

(р – пригодно; о – ограниченно пригодно; n – непригодно)

Таким образом, была рассчитана площадь под каждую категорию оценки для различных типов угодий. Конечный результат представлен в таблице 11.

Таблица 11 – Площадь пригодных земель для различных типов угодий.

Пригодность земель (площадь) (м ²)			
Для пастбищ			Всего
непригодно	ограничено пригодно	пригодно	
28986	627028	2320629	
Для пашни			2976642
208002	2572442	196198	
Для лесных угодий			2976642
0	518833	2457809	
Для водно-болотных угодий			2976642
2890132	86510	0	

4.3. Потенциальные культуры и способы использования земель для разных типов угодий

Распределение средних запасов углерода подстилки на территории Российской Федерации представлены в таблице 12. Опираясь на данные таблицы, можно сделать вывод, что около половины всех запасов углерода находятся в подзоне средней тайги, 17% в тундровой зоне и 12% в подзоне южной тайги [54]. Оценивая данные, необходимо отметить, что на почвенные ресурсы лесных экосистем приходится чуть меньше половины общих запасов углерода в почвах России (примерно 46%). В это же время вклад водно-болотных угодий в суммарные запасы углерода в почвах России составляет в среднем 20%.

Таблица 12 - Среднее содержание органического углерода в почве (подстилка и метровый слой почвы под ней) по категориям земель, кг С/м² [54]

Зона	Не продуктивные* (Территории, лишенные растительности).	Лес	Редины	Гари	Пахотные	Сенокосы и пастбища	Залежи	Болота	Травы, кустарники	Среднее, кг С/м²
Тундра	1,96	20,24	24,31	13,72	0	11,92	6,71	39,99	14,02	17,83
Лесотундра, редкостойная и северная тайга	5,22	21,44	26,24	11,07	9,75	12,16	10,9	43,4	14,37	24,45
Средняя тайга	2,78	15,62	14,91	15,19	18,95	11,64	14,77	44,92	14,41	17,07
Южная тайга	4,09	19,38	15,65	25,86	13,11	11,64	11,01	63,26	20,91	21,22
Смешанные леса	6,39	16,9	20,08	25,02	20,02	17,09	18,75	36,5	20,98	18,5
Степь	6,26	23,61	27,44	24,63	24,33	20,7	24,21	19,79	21,49	22,87
Полупустыни и пустыни	1,83	17,39	19,12	12,27	13,31	8,95	10,24	12,08	8,33	9,36
Среднее	1,82	17,6	19,99	14,92	22,28	16,05	17,14	44,17	14,63	19,19

Важную роль в оценке эмиссии парниковых газов играют сельскохозяйственные почвы, так как 25-40% углерода имеет почвенное происхождение в наземных экосистемах [56].

По данным исследований, сравнение различных культур и способов использования пашни на дерново-подзолистых почвах показала, что наибольшая эмиссия С–СО₂ наблюдалась в посевах однолетнего люпина. Многолетние же исследования показали, что продуцирование углекислого газа одной и той же культуры может изменяться в зависимости от гидротермических условий [79].

Оценивая данные, можно прийти к выводу, что по многолетним данным наибольшее количество продуцированного С-СО₂ приходится на залежи, так как в почве находится большее количество свежих растительных остатков и интенсивно происходит процесс минерализации. Максимальное значение эмиссии также приходится на посевы однолетнего люпина, а далее уже по интенсивности выделения идут такие культуры как озимая пшеница и ячмень, а затем уже картофель. Эмиссия С–СО₂ под разными культурами в разные годы (без удобрений) представлена в таблице 13.

Таблица 13 -Эмиссия С–СО₂ под разными культурами в разные годы (без удобрений), кг/га [79]

Культура	2006 г. Май-ноябрь	2007 г. Апрель-октябрь	2008 г. Апрель-октябрь	2009 г. Май-октябрь	2010 г. Апрель-октябрь	2011 г. Май-октябрь	2012 г. Май-октябрь	2013 г. Май-ноябрь	среднее
Ячмень	1665	-	-	-	2021	-	2000	1554	1810
Люпин	1946	2375	-	-	-	3302	2618	2962	2641
Пар	823	1769	1856	1109	1689	964	1036	1120	1269
Озимая пшеница	-	2067	2534	-	-	-	1275	-	1959
Картофель	-	-	-	1540	-	-	1019	1902	1487
Залежь	-	-	3919	2534	3531	2867	1598	2119	2761

Для оценки полной картины запасов углерода в различных типах угодий использовались данные о запасе углерода в травяных экосистемах из справочника «Продуктивность травяных экосистем» [64]. Биологический потенциал ландшафта в первую очередь определяет первичная продукция, создаваемая зелеными растениями. В таблице 14 представлены данные по Северной Евразии с учетом различных типов луга.

В таблице 15 представлены средние значения запаса углерода в слое почвы 0–30 см и в подстилке (таблица 16) (тонн С га-1) в различных возрастных классах древесных пород

Таблица 14 - Запас углерода в различных типах травяных экосистемах Северной Евразии, т/га·год [64]

	Среднее	Минимум	Максимум
Пойменный луг	16,3	8,7	28,6
Заболоченный луг	27,8	18,9	35,1
Суходольный луг	17,1	8,7	30,7
Остепененный луг	20,4	15,5	26,5
Луговая степь	27,3	15	47,9
Настоящая засушливая степь	20	7,2	41
Сухая степь	10,9	7,7	13,8

Таблица 15 – Средние значения запаса углерода в слое почвы 0–30 см (тонн С га-1) в различных возрастных классах древесных пород

(зона 1 - северная тайга, 2 - средняя тайга, 3 - южная тайга и более южные климатические зоны)

Средние значения запаса углерода слоя почвы 0 - 30 см (тонн С га-1) в молодняках 1 класса возраста преобладающих древесных пород		Средние значения запаса углерода слоя почвы 0 - 30 см (тонн С га-1) в молодняках 2 класса возраста преобладающих древесных пород				Средние значения запаса углерода слоя почвы 0 - 30 см (тонн С га-1) в средневозрастных и более старших группах возраста преобладающих древесных пород				Средние значения запаса углерода почвы (тонн С га-1) для 0-й возрастной группы (временно не покрытые лесом земли) по преобладающим древесным породам							
Преобладающая порода	Зона	Макрорегион				Макрорегион				Макрорегион				Макрорегион			
		Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток	Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток	Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток	Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток
Сосна	1	81,2	127	127	127	86,4	135,2	135,2	135,2	86,4	135,2	135,2	135,2	75,9	118,8	118,8	118,8
	2	43,8	104,7	75	49,7	46,6	111,4	79,8	52,9	46,6	111,4	79,8	52,9	41	97,9	70,1	46,5
	3	67,2	90,4	74,6	74,6	71,5	96,2	79,4	79,4	71,5	96,2	79,4	79,4	62,8	84,6	69,8	69,8
Ель	1	114,8	79,8	94,1	94,1	122,2	84,9	100,1	100,1	122,2	84,9	100,1	100,1	107,4	74,6	88	88
	2	60,1	103,7	132,7	132,7	64	110,4	141,2	141,2	64	110,4	141,2	141,2	56,3	97	124,1	124,1
	3	74,5	108,7	146,9	146,9	79,3	115,7	156,3	156,3	79,3	115,7	156,3	156,3	69,7	101,7	137,4	137,4
Пихта	1	86,7	86,7	94,9	94,9	92,3	92,3	101	101	92,3	92,3	101	101	81,1	81,1	88,8	88,8
	2	86,7	86,7	94,9	94,9	92,3	92,3	101	101	92,3	92,3	101	101	81,1	81,1	88,8	88,8
	3	91,2	91,2	70,5	74,6	97,1	97,1	75	79,4	97,1	97,1	75	79,4	85,4	85,4	65,9	69,8
Лиственница	1	148	93,3	93,3	93,3	157,5	99,3	99,3	99,3	157,5	99,3	99,3	99,3	138,4	87,3	87,3	87,3
	2	81,3	81,3	81,3	71,1	86,5	86,5	86,5	75,7	86,5	86,5	86,5	75,7	76	76	76	66,5

Средние значения запаса углерода слоя почвы 0 - 30 см (тонн С га-1) в молодняках 1 класса возраста преобладающих древесных пород						Средние значения запаса углерода слоя почвы 0 - 30 см (тонн С га-1) в молодняках 2 класса возраста преобладающих древесных пород				Средние значения запаса углерода слоя почвы 0 - 30 см (тонн С га-1) в средневозрастных и более старших группах возраста преобладающих древесных пород				Средние значения запаса углерода почвы (тонн С га-1) для 0-й возрастной группы (временно не покрытые лесом земли) по преобладающим древесным породам			
Преобладающая порода	Зона	Макрорегион				Макрорегион				Макрорегион				Макрорегион			
		Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток	Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток	Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток	Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток
	3	69,3	69,3	119,3	178,3	73,7	73,7	126,9	189,8	73,7	73,7	126,9	189,8	64,8	64,8	111,5	166,8
Кедр	1	151,7	151,7	158,7	158,7	161,4	161,4	168,9	168,9	161,4	161,4	168,9	168,9	141,9	141,9	148,5	148,5
	2	151,7	151,7	126,4	126,4	161,4	161,4	134,5	134,5	161,4	161,4	134,5	134,5	141,9	141,9	118,2	118,2
	3	125,8	125,8	125,8	125,8	133,9	133,9	133,9	133,9	133,9	133,9	133,9	133,9	117,7	117,7	117,7	117,7
Твердолиственные	1	47,2	47,2	47,2	47,2	50,2	50,2	50,2	50,2	50,2	50,2	50,2	50,2	44,1	44,1	44,1	44,1
	2	47,2	47,2	47,2	47,2	50,2	50,2	50,2	50,2	50,2	50,2	50,2	50,2	44,1	44,1	44,1	44,1
	3	46	90,8	76,6	76,6	49	96,7	81,5	81,5	49	96,7	81,5	81,5	43,1	85	71,6	71,6
Береза	1	85,3	144,3	144,3	144,3	91	153,9	153,9	153,9	93,8	158,7	158,7	158,7	82,5	139,5	139,5	139,5
	2	68,1	68,1	125	125	72,6	72,6	133,3	133,3	74,9	74,9	137,4	137,4	65,8	65,8	120,8	120,8
	3	75,8	97,1	94,6	94,6	80,9	103,5	100,9	100,9	83,4	106,8	104,1	104,1	73,3	93,9	91,5	91,5
Осина	1	62,3	62,3	82,3	82,3	66,4	66,4	87,7	87,7	68,5	68,5	90,5	90,5	60,2	60,2	79,5	79,5
	2	62,3	62,3	82,3	82,3	66,4	66,4	87,7	87,7	68,5	68,5	90,5	90,5	60,2	60,2	79,5	79,5
	3	62,3	62,3	82,3	82,3	66,4	66,4	87,7	87,7	68,5	68,5	90,5	90,5	60,2	60,2	79,5	79,5
	1	97,1	74,2	74,2	74,2	103,6	79,1	79,1	79,1	106,8	81,6	81,6	81,6	93,9	71,7	71,7	71,7

Средние значения запаса углерода слоя почвы 0 - 30 см (тонн С га-1) в молодняках 1 класса возраста преобладающих древесных пород						Средние значения запаса углерода слоя почвы 0 - 30 см (тонн С га-1) в молодняках 2 класса возраста преобладающих древесных пород				Средние значения запаса углерода слоя почвы 0 - 30 см (тонн С га-1) в средневозрастных и более старших группах возраста преобладающих древесных пород				Средние значения запаса углерода почвы (тонн С га-1) для 0-й возрастной группы (временно не покрытые лесом земли) по преобладающим древесным породам			
Преобладающая порода	Зона	Макрорегион				Макрорегион				Макрорегион				Макрорегион			
		Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток	Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток	Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток	Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток
Прочие мягколиственные	2	97,1	74,2	74,2	74,2	103,6	79,1	79,1	79,1	106,8	81,6	81,6	81,6	93,9	71,7	71,7	71,7
	3	55,4	55,4	55,4	55,4	59,1	59,1	59,1	59,1	61	61	61	61	53,6	53,6	53,6	53,6
Кедровый стланик	1	145,4	145,4	145,4	145,4	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	136	136	136	136
	2	145,4	145,4	145,4	145,4	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	136	136	136	136
	3	145,4	145,4	145,4	145,4	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	154,7	136	136	136	136

Таблица 16 - Средние значения запаса углерода в подстилке (тонн С га-1) в различных возрастных классах древесных пород (зона 1 - северная тайга, 2 - средняя тайга, 3 - южная тайга и более южные климатические зоны)

		Средние значения запаса углерода подстилки (тонн С га-1) в молодняках 1 класса возраста преобладающих древесных пород				Средние значения запаса углерода подстилки (тонн С га-1) в молодняках 2 класса возраста преобладающих древесных пород				Средние значения запаса углерода подстилки (тонн С га-1) в средневозрастных и более старших группах возраста преобладающих древесных пород				Средние значения запаса углерода подстилки (тонн С га-1) в средневозрастных и более старших группах возраста преобладающих древесных пород			
Преобладающая порода	Зона	Макрорегион				Макрорегион				Макрорегион				Макрорегион			
		Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток	Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток	Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток	Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток
Сосна	1	11,4	2,6	7	1,7	13,8	3,2	8,5	2,1	13,8	3,2	8,5	2,1	8,9	2,1	5,5	1,3
	2	14,2	20	4,3	4,3	17,2	24,2	5,2	5,2	17,2	24,2	5,2	5,2	11,1	15,6	3,3	3,3
	3	7,4	6,4	5,5	5,5	9	7,7	6,6	6,6	9	7,7	6,6	6,6	5,8	5	4,2	4,2
Ель	1	13	12,7	12,7	12,7	15,7	15,4	15,4	15,4	15,7	15,4	15,4	15,4	10,1	9,9	9,9	9,9
	2	8,8	8,8	8,8	7,7	10,6	10,6	10,6	9,4	10,6	10,6	10,6	9,4	6,8	6,8	6,8	6
	3	9	7,4	8,2	5,4	10,9	8,9	9,9	6,5	10,9	8,9	9,9	6,5	7	5,7	6,3	4,2
Пихта	1	3,6	3,6	3,6	3,6	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	2,8	2,8	2,8	2,8
	2	3,6	3,6	3,6	3,6	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	4,4	2,8	2,8	2,8	2,8
	3	5,1	5,1	5,1	5,1	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	6,2	4	4	4	4
Лиственница	1	13,7	13,7	10,6	4,9	16,5	16,5	12,8	5,9	16,5	16,5	12,8	5,9	10,6	10,6	8,2	3,8
	2	6	6	6	6	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	7,3	4,7	4,7	4,7	4,7
	3	4,5	4,5	4,5	4,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	3,5	3,5	3,5	3,5
Кедр	1	5,5	5,5	5,5	1,8	6,7	6,7	6,7	2,1	6,7	6,7	6,7	2,1	4,3	4,3	4,3	1,4
	2	7,1	7,1	7,1	7,1	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	8,6	5,5	5,5	5,5	5,5
	3	2,8	2,8	2,8	3,9	3,4	3,4	3,4	4,8	3,4	3,4	3,4	4,8	2,2	2,2	2,2	3,1
Твердолиственные	1	4,5	4,5	4,5	3,9	5,4	5,4	5,4	4,7	5,4	5,4	5,4	4,7	3,5	3,5	3,5	3
	2	4,5	4,5	4,5	3,9	5,4	5,4	5,4	4,7	5,4	5,4	5,4	4,7	3,5	3,5	3,5	3

		Средние значения запаса углерода подстилки (тонн С га-1) в молодняках 1 класса возраста преобладающих древесных пород				Средние значения запаса углерода подстилки (тонн С га-1) в молодняках 2 класса возраста преобладающих древесных пород				Средние значения запаса углерода подстилки (тонн С га-1) в средневозрастных и более старших группах возраста преобладающих древесных пород				Средние значения запаса углерода подстилки (тонн С га-1) в средневозрастных и более старших группах возраста преобладающих древесных пород				
Преобладающая порода	Зона	Макрорегион				Макрорегион				Макрорегион				Макрорегион				
		Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток	Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток	Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток	Европейско-Уральская часть	Западная Сибирь	Восточная Сибирь	Дальний Восток	
		3	4,5	4,5	4,5	3,9	5,4	5,4	5,4	4,7	5,4	5,4	5,4	4,7	3,5	3,5	3,5	3
Береза	1	14,7	2,7	2,7	2,7	18,1	3,4	3,4	3,4	19,8	3,7	3,7	3,7	12,7	2,4	2,4	2,4	
	2	10,1	2,4	2,4	2,4	12,4	3	3	3	13,6	3,3	3,3	3,3	8,7	2,1	2,1	2,1	
	3	4,6	4,6	2,1	4,8	5,6	5,6	2,6	5,9	6,2	6,2	2,9	6,5	4	4	1,8	4,2	
Осина	1	7,6	7,6	7,6	7,6	9,4	9,4	9,4	9,4	10,3	10,3	10,3	10,3	6,6	6,6	6,6	6,6	
	2	7,6	7,6	7,6	7,6	9,4	9,4	9,4	9,4	10,3	10,3	10,3	10,3	6,6	6,6	6,6	6,6	
	3	3,6	3,6	1,9	1,9	4,4	4,4	2,4	2,4	4,9	4,9	2,6	2,6	3,1	3,1	1,7	1,7	
Прочие мягколиственные	1	5	5	5	5	6,1	6,1	6,1	6,1	6,7	6,7	6,7	6,7	4,3	4,3	4,3	4,3	
	2	5	5	5	5	6,1	6,1	6,1	6,1	6,7	6,7	6,7	6,7	4,3	4,3	4,3	4,3	
	3	5	5	5	5	6,1	6,1	6,1	6,1	6,7	6,7	6,7	6,7	4,3	4,3	4,3	4,3	
Кедровый стланик	1	1,6	1,6	1,6	1,6	2	2	2	2	2	2	2	2	1,3	1,3	1,3	1,3	
	2	1,6	1,6	1,6	1,6	2	2	2	2	2	2	2	2	1,3	1,3	1,3	1,3	
	3	1,6	1,6	1,6	1,6	2	2	2	2	2	2	2	2	1,3	1,3	1,3	1,3	

Для того чтобы произвести расчеты запасов углеродов конкретно подходящей под наши нужды древесной породы воспользовались «Способом расчета поглощения углерода деревьями в городских и пригородных условиях» разработанной Управлением энергетической информации Министерства энергетики США [36].

Для этого изначально нам необходимо узнать группы возраста для различных древесных пород (таблица 18)

Таблица 18 – Группы возраста по древесной породе

Главная порода	Группа возраста по древесной породе				
	Молодняки		Средневозрастные	Преспевающие	Спелые
	Первый класс	Второй класс			
Осина	1-10	11-20	21-31	31-40	>41
Береза	1-10	11-20	21-41	41-50	>51
Ель и сосна	1-20	21-40	41-80	81-100	>101

Чтобы использовать этот метод, необходимо знать породу, год посадки и возраст деревьев при посадке. Таблицы, включенные для оценки поглощения, были разработаны для обычных деревьев, выращенных в питомнике. Поэтому деревья стандартного размера при посадке обозначаются как возраст 0.

Результаты расчёта представлены в таблице 19

Таблица 19 – Расчет секвестрации углерода отдельными породами деревьев

Характеристики видов			Возраст дерева	Количество деревьев в возрасте 0 лет	Коэффициент выживаемости	Количество уцелевших деревьев	Годовой коэффициент запаса углерода (кг/дерево)	Секвестрация углерода	Среднее
Название	Вид	Скорость роста							
Сосна европейская, Pinus nigra	Хвойные породы	Медленно	0	100	0,873	87,3	0,3	27,7	13,04
			10	100	0,568	56,8	1,6	90,2	
			20	100	0,488	48,8	3,4	163,8	
			40	100	0,291	29,1	7,7	224,4	
			59	100	0,194	19,4	13,6	263,1	
Береза белая, Betula papyrifera	Твердые породы древесины	Средне	0	100	0,873	87,3	0,9	75,2	48,65
			10	100	0,576	57,6	5,1	292,6	
			20	100	0,462	46,2	10,5	486,2	
			40	100	0,302	30,2	23,5	708,2	
			50	100	0,232	23,2	30,8	713,5	
			59	100	0,178	17,8	37,6	670,1	

Далее для создания максимально продуктивного сценария запасов углерода на территории хозяйства была подготовлена таблица с осредненными запасами углерода для различных типов угодий для природных условий региона исследований (таблица 20).

Таблица 20 – Запасы органического углерода в различных типах растительности

Растительность	Почвы	Гранулометрический состав	Запасы С орг, кг/кв.м		
			min	max	среднее
Пахотные, гумусированность от низкой до средней	Дерново-подзолы, дерново-подзолистые почвы	Супесчаные, легко-, средне-, тяжелосуглинистые	4,40	7,8	6,1
Леса	Дерново-подзолы, дерново-подзолистые почвы	Все градации	5,30	8,7	7
Переувлажненные, заболоченные леса	Подзолы глеевые, дерново-подзолисто-глеевые, торфяно- и торфянисто-подзолисто-глеевые, дерново-глеевые и перегнойно-глеевые	Все градации	10,00	25	17,5
Болота	Низинные	Без учета градаций	24,00	65	44,5
Луга, луговые степи, лугово-кустарниковая растительность	Пойменные слабокислые и нейтральные, лугово-черноземные	Все градации	21,20	36,8	29

Современный пул почвенного углерода оценивали, умножая запасы углерода в почвах определенных типов землепользования, классификационной принадлежности и гранулометрического состава.

4.5. Решение задач оптимизации в Microsoft Excel 2010

Оптимизация – это деятельность, которая направлена на получение наилучших результатов, при заданных условиях. Такие задачи находят широкое применение в науке, технике, экономике и других сферах жизнедеятельности.

Поиск оптимального решения при распределении ресурсов привели к созданию математических моделей. При решении задач используются методы математического программирования или планирования. Применение таких математических моделей позволяет благодаря программному обеспечению произвести анализ допустимых решений и провести поиск наиболее рационального решения задачи.

Использование метода линейного программирования позволило определить оптимальный состав угодий для территории хозяйства с учетом пригодности земель и информации о содержании углерода. Метод математического планирования позволяет подготовить нам рациональную структуру угодий, с учётом максимального поглощения углерода в каждом типе угодий. Для решения задачи по оптимизации необходимо знать площади пригодных и ограниченно пригодных земель для каждого типа угодий, а также общую площадь всего хозяйства. Решение задачи осуществляется с использованием максимизируемого критерия оптимальности – среднего запаса углерода. Таким образом, мы получаем распределение площадей с максимальной поглощающей углерод способностью. Решение задачи представлено в таблице 21.

Таблица 21 – Решение задачи по оптимизации

Распределение площадей текущего использования угодий (м²)			
Тип Угодья	Ограниченно пригодно	Пригодно	Запас углерода (кг/м²)
Пашня	2572442	196198	6,1
Пастбище	627028	2320629	29
Лес	518833	2457809	17,5
Болото	86509	0	44,5
Всего угодий	2976642		
Распределение площадей (с максимальным запасом углерода для каждого типа угодья) (м²)			
Тип Угодья	Ограниченно пригодно	Пригодно	сумма пригодных +ограниченно пригодных
Пашня	298	0	298
Пастбище	568908	2320628	2889536
Лес	298	0	298
Болото	86509	0	86510

4.6. Карта распределения площадей для сценария распределения площадей с максимально поглощающей способностью

Из решения задачи (таблица 21) приходим к выводу, что максимальной поглощающей способностью на территории хозяйства обладают земли пастбищ и болот. Поэтому при отрисовке карты сначала были с учетом пригодности выделены земли под болота, после под пастбища и только после этого на оставшихся землях были распределены земли под лес и пашню. Карта оптимального с точки зрения секвестрации углерода распределения земельных угодий представлена на рисунке 21.

Для того чтобы понимать, насколько предложенный сценарий отличается от реального текущего использования было выполнено пересечение двух карт для оценки земель, которые уже используются оптимально с точки зрения секвестрации углерода, а также для того, чтобы понять какое количество площадей используются не оптимально. Для наглядного изображения сравнения двух карт, была подготовлена таблица 22.

Таблица 22 – Сравнение площадей текущего использования и площадей с максимальной поглощающей углерод способностью на территории посёлка Эммаусс.

Оптимальное с точки зрения секвестрации углерода распределения земельных угодий	Текущее использование земель	Площадь, м ²
болото (ограниченно пригодно)	Пашня	40809.1
лес (ограниченно пригодно)	Пашня	423.7
пастбище (пригодно)	Пашня	1254997.8
пастбище (ограниченно пригодно)	Пашня	97264.6
пашня (ограниченно пригодно)	Пашня	276.3
пастбище (пригодно)	Водная поверхность	2260.0
пастбище (ограниченно пригодно)	Водная поверхность	3904.8
болото (ограниченно пригодно)	Луг	10652.7
пастбище (пригодно)	Луг	614018.0
пастбище (ограниченно пригодно)	Луг	110059.5
пастбище (пригодно)	Оросительная сеть	1008.4
пастбище (ограниченно пригодно)	Оросительная сеть	22.9
болото (ограниченно пригодно)	Лес	24469
пастбище (пригодно)	Лес	163456
пастбище (ограниченно пригодно)	Лес	214832
болото (ограниченно пригодно)	Прочая растительность	6597

Оптимальное с точки зрения секвестрации углерода распределения земельных угодий	Текущее использование земель	Площадь, м²
пастбище (пригодно)	Прочая растительность	159202
пастбище (ограниченно пригодно)	Прочая растительность	130736
болото (ограниченно пригодно)	Дорога	958
пастбище (пригодно)	Дорога	24645
пастбище (ограниченно пригодно)	Дорога	6341
пастбище (пригодно)	Мачта электропередачи	1128
пастбище (ограниченно пригодно)	Мачта электропередачи	19
пастбище (пригодно)	Асфальтированная дорога	16365
пастбище (ограниченно пригодно)	Асфальтированная дорога	1625
пастбище (пригодно)	сооружения	208
болото (ограниченно пригодно)	Кустарники	2175
пастбище (пригодно)	Кустарники	61287
пастбище (ограниченно пригодно)	Кустарники	5668
болото (ограниченно пригодно)	Древесина	141
пастбище (пригодно)	Древесина	747
пастбище (пригодно)	Колодец	147

Анализируя данные, мы можем сделать вывод, что примерно одна треть площадей уже используется оптимально с точки зрения секвестрации, и около 67% от общей площади земель требуют трансформации земельных угодий в соответствии с предложенным сценарием их размещения.

Таким образом, для повышения секвестрации углерода хозяйство должно переориентировать свою специализацию на животноводческую и конвертировать пашню (в том числе и заброшенную) в сенокосы и пастбища.

Но, конечно же, необходим экономический анализ целесообразности подобной трансформации системы землепользования хозяйства.

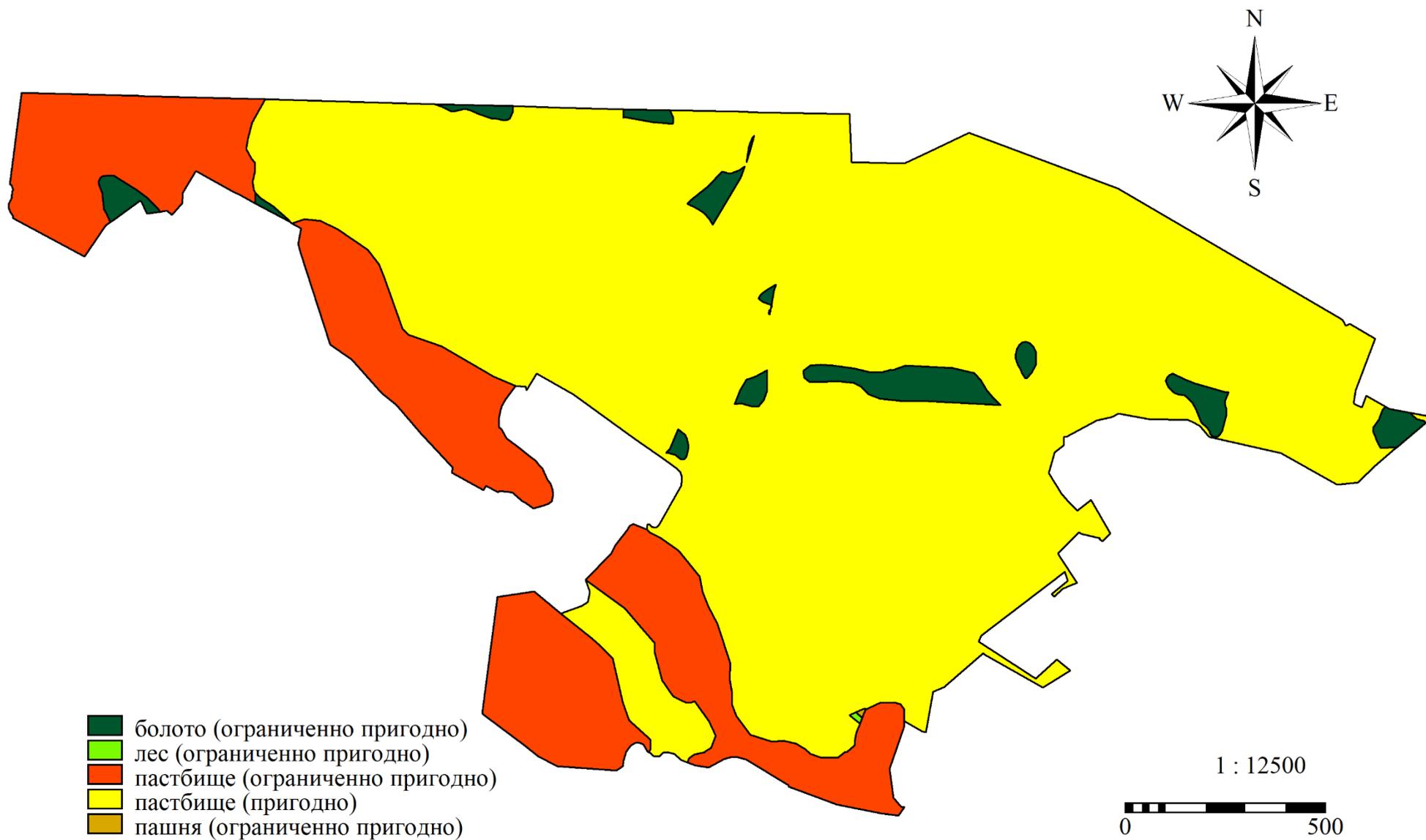


Рисунок 21 – Карта оптимального с точки зрения секвестрации углерода распределения земельных угодий

4.7. Выводы

Изучены методы создания карбоновой фермы, изучена проблематика достижения углеродной нейтральности, а также способы расчётов запасов углерода для различных типов угодий.

Апробация проводилась на землях хозяйства Эммаус Калининского района Тверской области, которая показала каким образом необходимо размещать угодья и какие необходимо учитывать факторы, чтобы добиться максимальной поглощающей способности углерода для территории, с учётом современной научно-технической базы и системы использования земель территории исследования.

Подход может применяться на различных территориях с учётом ряда факторов – почвенного покрова, рельефа местности, климатической зоны и других.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного исследования была изучена проблематика баланса углерода, создания карбоновых ферм и опыт России и зарубежных стран. Была собрана исходная информация и изучены земельные ресурсы хозяйства ВНИИИМЗ (Калининского района Тверской области) и создана почвенно-земельная база данных ГИС для территории хозяйства. Предложен пространственный сценарий оптимального с точки зрения секвестрации углерода размещения земельных угодий хозяйства.

Практическая значимость магистерской диссертации заключается в том, что предложенный подход к созданию сценария размещения земельных угодий с учётом секвестрации углерода может использоваться для любого хозяйства на территории Российской Федерации с учётом особенностей климата, рельефа и почв. Построение подобных пространственных сценариев размещения угодий позволяет оценить возможности повышения поглощения углерода сельскохозяйственными землями конкретных хозяйств, а также оценить потенциал хозяйства для использования его земель в качестве карбоновой фермы.

Результатами магистерской диссертации является сценарий оптимального с точки зрения секвестрации углерода размещение земельных угодий хозяйства.

Все поставленные задачи можно считать выполненными. Результаты исследований по проблематике баланса углерода и создания карбоновых ферм в качестве научной статьи приняты для публикации в сборнике XIV-й МЕЖДУНАРОДНОЙ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ» (Сборник материалов конференции включен в базу данных РИНЦ).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. ЗК РФ Статья 102. Земли водного фонда \ КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/9c9a8abefd385aaf95637582bcc1b9b7be312d95/
2. ЗК РФ Статья 83. Понятие земель населенных пунктов и понятие границ населенных пунктов \ КонсультантПлюс [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_33773/f8352cc9588bf3e40931a5fd5fa6c2f219470405/
3. Указ Президента РФ от 8 февраля 2021 г. N 76 "О мерах по реализации государственной научно-технической политики в области экологического развития Российской Федерации и климатических изменений"
4. "Единый план по достижению национальных целей развития Российской Федерации на период до 2024 года и на плановый период до 2030 года" (утв. распоряжением Правительства РФ от 01.10.2021 N 2765-р) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_398015/ (дата обращения: 23.01.2022).
5. «Черная метка» для климатических маргиналов - Bellona.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://bellona.ru/2017/11/03/climate-black-spot/> (дата обращения: 29.01.2022).
6. 1 августа 1774 года - Джозеф Пристли обнаруживает кислород | New-Science.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://new-science.ru/1-avgusta-1774-goda-dzhozef-pristli-obnaruzhivaet-kislorod/> (дата обращения: 03.01.2022).
7. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use 3 CONSISTENT REPRESENTATION OF LANDS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_03_Ch3_Representation.pdf

8. A European Green Deal | European Commission [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ec.europa.eu/info/strategy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en (дата обращения: 15.01.2022).
9. Akiyama, H., X. Yan, and K. Yagi. 2010. Evaluation of effectiveness of enhanced-efficiency fertilizers as mitigation options for N₂O and NO emissions from agricultural soils: meta-analysis. *Global Change Biology* 16: 1837-1846.
10. An energy sector roadmap to carbon neutrality in China Title of the Report [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/bcf51d31-b7c6-4183-944f-707d05021356/AnenergysectorroadmaptocarbonneutralityinChina.pdf> (дата обращения: 02.02.2022).
11. Batjes, N. (2010) A global framework of soil organic carbon stocks under native vegetation for use with the simple assessment option of the Carbon Benefits Project system. In: p. 79 Wageningen, The Netherlands: ISRIC World Soil Information.
12. Batjes, N. (2011) Soil organic carbon stocks under native vegetation - Revised estimates for use with the simple assessment option of the Carbon Benefits Project system. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 142: 365-373.
13. Bernoux, M., Carvalho, M.D.S., Volkoff, B. and Cerri, C.C. (2002). Brazil's soil carbon stocks. *Soil Science Society of America Journal* 66:888-896.
14. Blandford, D. and K. Hassapoyannes (2018), "The role of agriculture in global GHG mitigation", OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers, No. 112, OECD Publishing, Paris, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://doi.org/10.1787/da017ae2-en> (дата обращения: 15.01.2022).
15. Brady, N.C. and Weil, R.R. (1999). *The Nature and Properties of Soils*. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 881 pp.
16. Brown S., Schroeder P., Kern J.S. (1999) Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. *Forest Ecology and Management*, 123:81-90
17. C. Le Quéré et al.: Global carbon budget 2015.

18. Carbon Farm Planning | Carbon Cycle Institute [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.carboncycle.org/carbon-farm-planning/> (дата обращения: 15.02.2022).
19. CAST. 2011. Carbon sequestration and greenhouse gas fluxes in agriculture: challenges and opportunities. Eds: R. Follet, S. Mooney, J. Morgan, and K. Paustian. Council for Agricultural Science and Technology, Ames, IA.
20. Circular economy action plan [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ec.europa.eu/environment/strategy/circular-economy-action-plan_en (дата обращения: 20.01.2022).
21. COMET-Farm [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://comet-farm.com/> (дата обращения: 15.02.2022).
22. COWI, Ecologic Institute & IEEP (2021) Annexes to Technical Guidance Handbook - setting up and implementing result-based carbon farming mechanisms in the EU. Report to the European Commission, DG Climate Action under Contract No. CLIMA/C.3/ETU/2018/007. COWI, Kongens Lyngby.
23. Deneff, K., S. Archibeque, and K. Paustian, 2011. Greenhouse gas emissions from U.S. agriculture and forestry: A review of emission sources, controlling factors, and mitigation potential. Interim report to USDA under Contract #GS23F8182H.
24. Energy Transition Index Report 2021 | World Economic Forum [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.weforum.org/reports/fostering-effective-energy-transition-2021> (дата обращения: 27.01.2022).
25. EPA. 2014. Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2012. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, D.C.
26. EU Mission: A Soil Deal for Europe | European Commission [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ec.europa.eu/info/research-and-innovation/funding/funding-opportunities/funding-programmes-and-open-calls/horizon-europe/eu-missions-horizon-europe/soil-health-and-food_en (дата обращения: 13.01.2022).
27. Eve, M., D. Pape, M. Flugge, R. Steele, D. Man, M. Riley-Gilbert, and S. Biggar, (Eds). 2014. Quantifying Greenhouse Gas Fluxes in Agriculture and Forestry:

- Methods for Entity-Scale Inventory. Technical Bulletin Number 1939. Office of the Chief Economist, U.S. Department of Agriculture, Washington, DC.
28. Farm to Fork Strategy [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ec.europa.eu/food/farm2fork_en (дата обращения: 25.01.2022).
29. Five expert views on China’s pledge to become carbon neutral by 2060 | ODI: Think change [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://odi.org/en/insights/five-expert-views-on-chinas-pledge-to-become-carbon-neutral-by-2060/> (дата обращения: 03.02.2022).
30. *Food and Agriculture Organization*, FAO Forestry [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fao.org/forestry/en/>
31. ICF International. 2013. Greenhouse gas mitigation options and costs for agricultural land and animal production within the United States. Prepared for U.S. Dept. of Agriculture, Climate Change Program Office, Washington, DC. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.usda.gov/oce/climate_change/mitigation_technologies/GHG_Mitigation_Options.pdf (дата обращения: 15.02.2022).
32. IPCC Good Practice Guidance for LULUCF/Cropland/3.3.1.1.1 METHODOLOGICAL ISSUES [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/GPG_LULUCF_FULLEN.pdf
33. Jobbagy, E.G. and Jackson, R.B. (2000). The vertical distribution of soil organic carbon and its relation to climate and vegetation. *Ecological Applications* 19(2): 423-436.
34. Maillard, E. and D.A. Angers. 2014. Animal manure application and soil organic carbon stocks: a metaanalysis. *Global Change Biology* 20: 666-679.
35. Martineau, H.; Wiltshire, J.; Webb, J.; Hart, K.; Keenleyside, C.; Baldock, D.; Bell, H.; Watterson, J. Effective Performance of Tools for Climate Action Policy. Meta-Review of Common Agricultural Policy (CAP) Mainstreaming. Report for European Commission—DG. Climate Action; Ricardo-AEA Ltd.: Glasgow, UK, 2016
36. Method for Calculating Carbon Sequestration by Trees in Urban and Suburban Settings/1998 Sequestration Worksheet [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

- <https://www3.epa.gov/climatechange/Downloads/method-calculating-carbon-sequestration-trees-urban-and-suburban-settings.pdf>
37. Nowak D.J. and Crane D.E. (2002). Carbon storage and sequestration by urban trees in the United States. *Environmental Pollution* 116(3): pp. 381-389.
38. Nowak D.J., Rowntree R.A., McPherson E.G., Sisinni S.M., Kerkmann E.R., and Stevens J.C. (1996). Measuring and analyzing urban tree cover. *Landscape and Urban Planning* 36: pp. 49-57.
39. Ogle, S.M., F.J. Breidt, K. Paustian. 2005. Agricultural management impacts on soil organic carbon storage under moist and dry climatic conditions of temperate and tropical regions. *Biogeochemistry* 72:87-121.
40. Olson, R. J., J. M. O. Scurlock, S. D. Prince, D. L. Zheng, and K. R. Johnson (eds.). 2001. NPP Multi-Biome: NPP and Driver Data for Ecosystem Model-Data Intercomparison. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.daac.ornl.gov/NPP/html_docs/EMDI_des.html
41. ORNL DAAC NPP database [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.daac.ornl.gov/NPP/html_docs/npp_site.html].
42. Russian Federation | Climate Action Tracker [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://climateactiontracker.org/countries/russian-federation/> (дата обращения: 03.02.2022).
43. University of twente – ILWIS [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.itc.nl/ilwis/>
44. USGS EROS Archive - Digital Elevation - Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) 1 Arc-Second Global | Геологическая служба [Электронный ресурс]. – Режим доступа: США <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-digital-elevation-shuttle-radar-topography-mission-srtm-1#overview> (дата обращения 03.03.2022)
45. Veldkamp E. (2001). Changes in soil carbon stocks following conversion of forest to pasture in the tropics. In: Holland E.A. (ed.): *Notes from Underground: Soil Processes and Global Change*. NATO ASI Series Berlin: Springer: in press.

46. What is Carbon Farming? | Carbon Cycle Institute [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.carboncycle.org/what-is-carbon-farming/> (дата обращения: 14.02.2022).
47. Агентство з відновлюваної енергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rea.org.ua/> (дата обращения: 30.12.2021).
48. Атлас почв Российской федерации - Дерново-подзолистые почвы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://soil-db.ru/soilatlas/razdel-3-pochvy-rossiyskoy-federacii/dernovo-podzolistye-pochvy>
49. Битва за климат: карбоновое земледелие как ставка России [Текст] : экспертный доклад / под ред. А. Ю. Иванова, Н. Д. Дурманова (рук-ли авт. кол.) ; М. П. Орлов, К. В. Пиксендеев, Ю. Е. Ровнов и др. ; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». — М. :Изд. дом Высшей школы экономики, 2021. — 120 с. — 100 экз. — ISBN 978-5-7598-2519-7 (в обл.). — ISBN 978-5-7598-2281-3 (e-book).
50. Власти начали подготовку к будущему с низким спросом на углеводороды — РБК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/economics/04/08/2021/610997ea9a79478e2cba172a?> (дата обращения: 25.01.2022).
51. Власти составили план перехода к низкоуглеродной экономике — РБК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/economics/11/02/2022/62055f659a79471065483290> (дата обращения: 29.01.2022).
52. Выпущено новое публичное приложение изображений Landsat | NASA [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://translated.turbopages.org/proxy_u/en-ru.ru.9d704246-62926205-8de1f5d3-74722d776562/https/www.nasa.gov/content/new-public-application-of-landsat-images-released/#.UynQuvldWht
53. Европейская Комиссия предложила социально-экономические преобразования для достижения климатических целей - Европейская служба внешних связей [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

https://eeas.europa.eu/ru/eu-information-russian/102124/европейская-комиссия-предложила-социально-экономические-преобразования-для-достижения_ru

(дата обращения: 21.01.2022).

54. Запасы органического углерода в почвах России // ПОЧВОВЕДЕНИЕ, 2013, № 2, с. 123–132
55. Коломыц Эрланд Георгиевич, Сулова Наталья Анатольевна Методы расчетов углеродного баланса лесных экосистем при глобальных изменениях климата // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2019. №2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/metody-raschetov-uglerodnogo-balansa-lesnyh-ekosistem-pri-globalnyh-izmeneniyah-klimata> (дата обращения: 19.01.2022).
56. Кудеяров, В.Н. Потоки и пулы углерода в наземных экосистемах России / В.Н. Кудеяров [и др.]. – М.: Наука, 2007. – 315 с.
57. Моделирование исторических данные о климате и погоде для Эммаусс – meteoblue [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.meteoblue.com/ru/погода/historyclimate/climatemodelled/Эммаусс_Россия_563481
58. Официальный сайт Jet Propulsion Laboratory: SRTM. [Электронный ресурс]. – 2019. – URL: <https://www2.jpl.nasa.gov/srtm/> (дата обращения 12.02.2022)
59. Планета опасно нагревается, виноват - человек. Ученые вынесли приговор, а весь мир подписался под ним - BBC News Русская служба [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.bbc.com/russian/news-58108970> (дата обращения: 29.12.2021).
60. Политика и нормативные документы ЕС – WESCOOP [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://wecoop.eu/ru/regional-knowledge-centre/eu-policies-regulations/> (дата обращения: 10.02.2022).
61. Поставщики в ЕС с 2026 года начнут платить в рамках углеродного регулирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.interfax.ru/business/777946> (дата обращения: 03.02.2022).

62. Почему нам нужны возобновляемые источники энергии? [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.rea.org.ua/dieret/WHY/why.html> (дата обращения: 30.12.2021).
63. Правительство утвердило расходы на снижение выбросов парниковых газов до 2050 года | Forbes.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.forbes.ru/society/444717-pravitel-stvo-utverdilo-rashody-na-snizenie-vybrosov-parnikovyyh-gazov-do-2050-goda> (дата обращения: 30.01.2022).
64. Продуктивность травяных экосистем: справочник / составители А.А. Титлянова, С.В. Шибарева; Почвенный институт имени В.В. Докучаева; Институт почвоведения и агрохимии СО РАН. М.: ООО «Издательство МБА», 2020. 100 с. : ил.
65. Рабочая группа IUSS WRB. 2015. Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014, исправленная и дополненная версия 2015. Международная система почвенной классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт. Доклады о мировых почвенных ресурсах №106. ФАО, Рим
66. РБК: углеродный налог ЕС обойдется российским производителям в €1,1 млрд в год | Forbes.ru [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.forbes.ru/newsroom/biznes/435781-rbk-uglerodnyy-nalog-es-oboydetsya-rossiyskim-proizvoditelyam-v-eu11-mlrd-v> (дата обращения: 02.02.2022).
67. Российский ответ на «зеленую» угрозу :: Экономика :: Газета РБК [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.rbc.ru/newspaper/2021/04/09/606f14b79a794732e6c7e9e8> (дата обращения: 05.02.2022).
68. Россия за пять лет улучшила показатели перехода на устойчивые виды энергии - ПРАЙМ, 13.05.2020 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://1prime.ru/energy/20200513/831431965.html> (дата обращения: 26.01.2022).
69. Рудановская Светлана Валерьевна Быть с другими: экологическое видение жизненного пространства в работах А. Леопольда // Гуманитарный вестник.

2019. №6 (80). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/byt-s-drugimi-ekologicheskoe-videnie-zhiznennogo-prostranstva-v-rabotah-a-leopolda> (дата обращения: 15.02.2022).
70. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов, МГЭИК, 2006/Том 4: Сельское хозяйство, лесное хозяйство и другие виды землепользования // Глава 2: Общие методологии, применимые к различным категориям землепользования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/russian/pdf/4_Volume4/V4_02_Ch2_Generic.pdf
71. Сельскохозяйственная энциклопедия. Т. 4 (П - С)/ Ред. коллегия: П. П. Лобанов (глав ред) [и др.]. Издание третье, переработанное - М., Государственное издательство сельскохозяйственной литературы, М. 1955, с. 670
72. Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах Новосибирск: Наука, 1978. — 320 с.
73. Стратегия от фермы к вилке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://ec.europa.eu/food/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en (дата обращения: 13.01.2022).
74. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Тверской области/ Всероссийская перепись населения 2010 года. Населённые пункты Тверской области [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://tverstat.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/tverstat/resources/55cfbb8041a805a3ae0aee2d59c15b71/pub08-02.doc (дата обращения: 3.03.2022)
75. Углеродные единицы: динамика и потенциал | ЕУ Россия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.ey.com/ru_ru/climate-change-sustainability-services/carbon-offsets-dynamics-and-prospects-2022 (дата обращения: 10.02.2022).
76. Утверждена Энергетическая стратегия Российской Федерации до 2035 года | Министерство энергетики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minenergo.gov.ru/node/18038> (дата обращения: 31.01.2022).

77. Федеральный закон от 04.11.2004 г. № 128-ФЗ О ратификации Киотского протокола к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата
78. Федоров Б.Г. Российский углеродный баланс : монография / Федоров Б.Г.. — Москва : Научный консультант, 2017. — 82 с. — ISBN 978-5-9909478-5-6. — Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/75144.html> (дата обращения: 10.02.2022). — Режим доступа: для авторизир. пользователей
79. Шилова Н.А. Динамика выделения CO_2 в посевах полевых культур на дерново-подзолистых и торфяных почвах/ ПОЧВОВЕДЕНИЕ И АГРОХИМИЯ – 2014. – 1(52). – 104-112 с.
80. Юлкин М.А., Дьячков В.А., Самородов А.В., Кокорин А.О., Добровольные системы и стандарты снижения выбросов парниковых газов. М., Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2013, - 100 с.