



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра прикладной и системной экологии
ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
(бакалаврская работа)

На тему Эколого-экономическая оценка сельскохозяйственных земель
по данным дистанционного зондирования

Исполнитель _____ Аверина Алиса Андреевна
(фамилия, имя, отчество)

Руководитель _____ доктор биологических наук
(ученая степень, ученое звание)

_____ Лекомцев Петр Валентинович
(фамилия, имя, отчество)

«К защите допускаю»
Заведующий кафедрой _____
(подпись)

_____ кандидат географических наук, доцент
(ученая степень, ученое звание)

_____ Алексеев Денис Константинович
(фамилия, имя, отчество)

25 06 2025 г.

Санкт-Петербург

2025

Содержание

Введение	3
Глава 1 Общие сведения по геоинформационным системам, дистанционному зондированию земли	5
1.1 Спутниковые системы, их характеристики и возможность использования получаемых данных для оценки с/х угодий	5
1.2 Эколого-экономический баланс территории	8
1.2.1 Виды антропогенной нагрузки на сельское хозяйство	8
1.2.2 Вегетационные и другие индексы и их пригодность для оценки антропогенной нагрузки на с/х угодья	9
1.3 Способы учета антропогенной нагрузки на сельскохозяйственные почвы с применением ДЗЗ	12
Глава 2 Характеристика объекта исследования	15
2.1. Схема и характеристика исследуемой территории, характеристика данных дистанционного зондирования	15
2.2 Используемое программное обеспечение для проведения исследования	18
Глава 3 Результаты и обсуждение	23
3.1 Анализ данных (описание исследуемой территории, количественные характеристики территории, алгоритм проведения исследования)	23
3.2 Эколого-хозяйственный баланс территории	29
3.3 Эколого-экономическая оценка территории	34
Заключение	43
Список использованной литературы	45
Приложение	48
Приложение А	48

Введение

В современном мире дистанционное зондирование Земли приобретает все большее значение. Данные, полученные с использованием космических аппаратов, беспилотных летательных аппаратов и другой техники позволяющей проводить дистанционное измерение применяются для решения множества прикладных задач в следующих областях:

- 1) Гидрометеорология
- 2) Экология и охрана окружающей среды
- 3) Сельское хозяйство
- 4) Землеустройство и кадастр
- 5) Мониторинг загрязненности атмосферы
- 6) Мониторинг природных пожаров и т.д.

Использование современных технологий в сельском хозяйстве, в т.ч. вышеуказанных, позволяет проводить грамотный менеджмент и принимать своевременные управленческие решения, что в свою очередь ведет к повышению урожайности, как основы ведения сельского хозяйства.

Объектом исследования в настоящей работе являются сельскохозяйственные территории, обрабатываемые ООО «АПК СПАС НА ХОЛМУ».

Предметом исследования являются данные дистанционного зондирования Земли.

Целью настоящей работы является эколого-экономическая оценка сельскохозяйственных земель с использованием данных дистанционного зондирования.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) Характеристика спутниковых систем и их применимость для решения прикладных задач в области сельского хозяйства.
- 2) Анализ видов антропогенной нагрузки на сельское хозяйство.

- 3) Анализ вегетационных индексов и возможности их применения в сельском хозяйстве.
- 4) Определение способов учета антропогенной нагрузки в сельском хозяйстве.
- 5) Характеристика и анализ исследуемой территории.
- 6) Выбор программного обеспечения, используемого для проведения работ.
- 7) Анализ имеющихся данных.
- 8) Оценка эколого-хозяйственного баланса территории.
- 9) Оценка эколого-экономических характеристик территории.

Глава 1 Общие сведения по геоинформационным системам, дистанционному зондированию земли

С развитием компьютеризации и кратным увеличением доступности информации в связи с повсеместным внедрением сети Internet исследования процессов экологического картографирования и мониторинга вышли на качественно новый уровень. Появилось специализированное картографическое программное обеспечение, позволяющее создавать не только карты в графическом варианте, но и в присоединенных к картам таблицах сохранять атрибутивную информацию. Данное программное обеспечения получило общее название – Геоинформационные системы (ГИС).

Доступ к сети Internet позволяет существенно ускорить процесс сбора исходных данных. Кроме того, в настоящий момент существуют источники открытых данных в векторном формате, позволяющим пропустить один из самых трудоемких этапов геоинформационного картографирования – «векторизация» карт.

К основным источникам векторных данных можно отнести:

- 1) Открытый набор данных OpenStreetMap.
- 2) Интернет-сервисы Яндекс.Карты, Google maps и др.

К данным дистанционного зондирования земли относятся космические и аэрофотоснимки, распространяемые как на коммерческой, так и бесплатной основе. К наиболее известным спутниковым системам на данный момент относятся:

- 1) Космические аппараты серии Landsat.
- 2) Космические снимки серии Sentinel.

1.1 Спутниковые системы, их характеристики и возможность использования получаемых данных для оценки с/х угодий

Дистанционное зондирование Земли (ДЗЗ) — наблюдение поверхности

Земли наземными, авиационными и космическими средствами, оснащёнными различными видами съёмочной аппаратуры. Рабочий диапазон длин волн, принимаемых съёмочной аппаратурой, составляет от долей микрометра (видимое оптическое излучение) до метров (радиоволны)[7].

Для целей настоящей работы используются только снимки, полученные космическими аппаратами. Охарактеризуем некоторые из спутников, используемых для целей мониторинга сельскохозяйственных земель.

Космические аппараты Landsat 8/9.

Изображения Landsat 8 имеют 15 м/пиксель панхроматическое и 30 м/пиксель многоспектральное пространственное разрешение.

Operational Land Imager позволяет получить многоспектральное изображение и включает в себя 9 спектральных каналов:

- 1) Прибрежный аэрозоль
- 2) Синий
- 3) Зеленый
- 4) Красный
- 5) Ближний инфракрасный
- 6) SWIR 1
- 7) SWIR 2
- 8) Панхроматический
- 9) Cirrus

Снимки распространяются в рамках открытого доступа [2].

Космические аппараты Sentinel-2

В настоящее время на орбите Земли работают 3 спутника Sentinel-2. На спутнике установлена оптический датчик MSI позволяющий проводить съемку в 13 спектральных каналах с пространственным разрешением от 10 до 60 м/пиксель.

В настоящее время снимки Sentinel-2 не доступны на территории Российской Федерации [4].

Для решения задач поставленных в настоящей работе нами было принято решение об использовании космических снимков полученных с КА Landsat 8/9.

Использование многоспектральных космических снимков позволяет рассчитать различные вегетационные индексы. В настоящее время большинством исследователей используется нормализованный разностный индекс растительности NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) – количественный показатель фотосинтетически активной биомассы, рассчитываемый на основе спектрально-радиометрических снимков [16].

Индекс может применяться при оценке состояния посевов в динамике или в определенный момент времени. Поэтому многие разработчики приложений, основанных на обработке значений NDVI, утверждают, что полученная информация позволяет сельхозтоваропроизводителям оценить всхожесть, рост, наличие сорняков или болезней, а также спрогнозировать продуктивность полей, кроме того выявить участки, которые нуждаются в пересеве, внесении средств защиты растений (СЗР) или удобрений [8].

Кроме того, данные дистанционного зондирования Земли позволяют отслеживать и некоторые свойства почв. Например:

1) Определение гумусности почв, при дешифрировании в естественных цветах более темные тона почв свидетельствуют о большем содержании гумуса в почве.

2) Загрязнение почв, выделяются по ряду диагностических признаков, таких как угнетение растительности, загрязненность снегового покрова и т.д. Кроме того визуально дешифрируются на снимках с высоким пространственным разрешением свалки бытовых отходов, места загрязненные нефтепродуктами и т.п.

3) Влажность почв. Существуют различные методы определения влажности основанные, как правило, на использовании съемки в радиодиапазоне.

4) Засоление почв. Как правило, выделяется при визуальном дешифрировании [13].

1.2 Эколого-экономический баланс территории

1.2.1 Виды антропогенной нагрузки на сельское хозяйство

Антропогенная нагрузка на сельское хозяйство и почвы, как наиважнейшую составляющую данной деятельности в настоящее время является одним из важнейших факторов, влияющих на продуктивность с/х культур.

Основным антропогенным фактором воздействия на сельское хозяйство является внесение удобрений.

Нерациональное внесение удобрений без соответствующих исследований, как правило, несет за собой деградацию почвенного покрова и, как следствие падение урожая.

К деградации почв в значительной степени ведет механическое на них воздействие. При механическом воздействии изменяется структура почв, происходит их переуплотнение.

Не менее вредоносными являются сопровождающие вспашку побочные эффекты в виде машинной деградации почвы под воздействием как самого процесса вспашки плугом, так и под воздействием тяжелой тяговой техники. Вследствие этого вспашка является одним из ключевых факторов, обуславливающих ежегодные мировые потери до 30 миллионов гектаров сельхозугодий[18].

Чтобы сохранить почвы от солей, также применяют гипсование, путем смешивания минералов и кальция, которые по итогу вливаются в семенные области долговременной флоры. Что касается неблагоприятных обстоятельств в последствии орошения, они регулируются водно-солевыми соединениями. Хозяйственная деятельность человека сопровождается разрушением почвы [6].

Выброс и сброс вредных и опасных веществ в атмосферу и водотоки в процессе промышленного производства и техногенных аварий, использование

средств химизации в сельскохозяйственном производстве, воздействие на окружающую среду транспорта и коммунальных отходов приводит к накоплению и миграции загрязняющих веществ практически во всех компонентах агроэкосистем. Это обстоятельство – весьма существенно для сельскохозяйственных угодий, где почва – средство производства и ее эколого-токсикологическое состояние во многом определяет качество и санитарно-гигиенические показатели получаемой сельскохозяйственной продукции[5].

На территории проведения исследований действующими антропогенными факторами могут являться:

- 1) Загрязнение окружающей среды.
- 2) Механическое влияние на почву.
- 3) Внесение удобрений.

1.2.2 Вегетационные и другие индексы и их пригодность для оценки антропогенной нагрузки на с/х угодья

Вегетационный индекс – это показатель, имеющий отношение к параметрам растительности [17]. Расчет вегетационных индексов происходит, как правило, на основании данных спектральной яркости изображений в различных каналах. В вычислении вегетационных индексов особо важную роль играют данные полученные в красной и ближней инфракрасной частях спектра.

Наиболее известным и распространенным вегетационным индексом является нормализованный разностный индекс растительности NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Данный показатель учитывает количество фотосинтетически активной биомассы. Его вычисление проводится по формуле 1:

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}, \quad (1)$$

где NIR – спектральная яркость в ближнем инфракрасном диапазоне, RED – спектральная яркость в красном диапазоне.

Расчет NDVI базируется на двух наиболее стабильных участках спектральной кривой отражения сосудистых растений. В красной области спектра (0,6 – 0,7 мкм) лежит максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, в ИК области (0,7 – 1,0 мкм) находится область максимального отражения клеточных структур листа. На рисунках 1 и 1.1 представлены примеры отражательной способности в красном и инфракрасном диапазоне для растительности в пределах участка проведения настоящей работы.



Рисунок 1 - Отражательная способность растительности в красном диапазоне

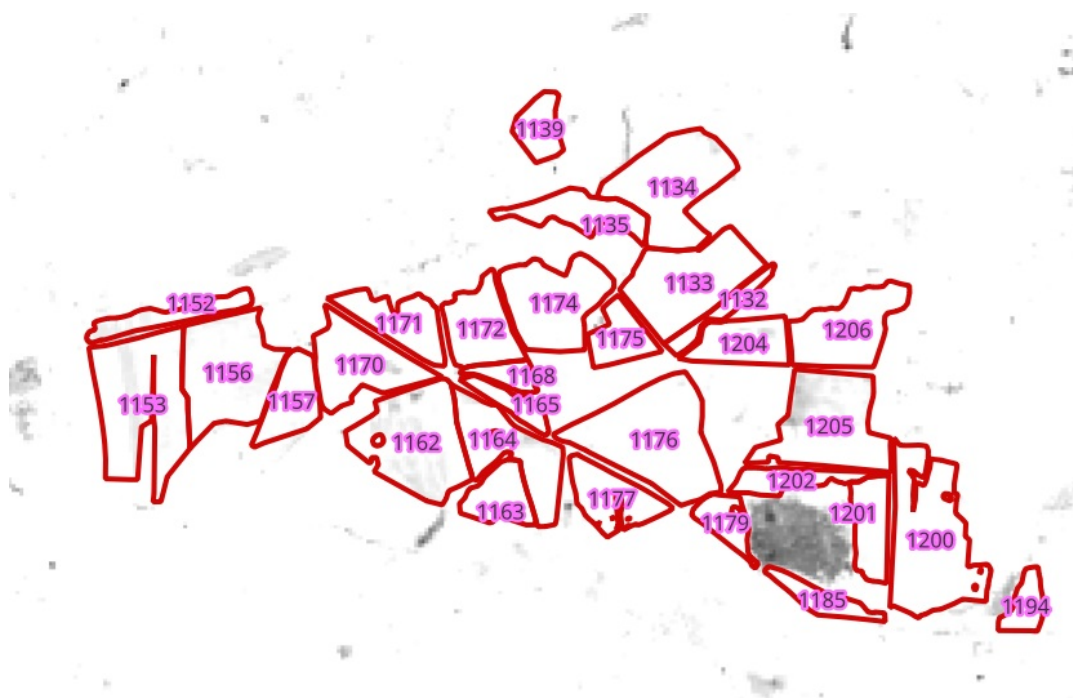


Рисунок 1.1 - Отражательная способность растительности в инфракрасном диапазоне

Как видно из рисунка в красном диапазоне растительность выглядит значительно темнее чем в инфракрасном диапазоне.

Значения NDVI находятся в диапазоне от -1 до 1. Для удобства использования, а также в связи с ограничениями некоторых ГИС-систем, зачастую применяют так называемый, масштабированный NDVI ($NDVI_m$), вычисляемый по формуле 2:

$$NDVI_m = 100 * (NDVI + 1) \quad (2)$$

Индексы не чувствительные к почвенному шуму применяются для территорий с разреженной растительностью. Данные индексы используют поправочные коэффициенты для коррекции, так называемой почвенной линии. Почвенной линией принято называть гипотетическую линию в спектральном пространстве, которая описывает вариацию спектра открытой почвы на снимке [17].

В первую очередь следует упомянуть об индексе SAVI, который вычисляется по формуле 3:

$$SAVI = \frac{(NIR - RED) * (1 + L)}{NIR + RED + L}, \quad (3)$$

где L – коэффициент применяемый для описания почвенной линии, варьирующий от 0 до 1. При высокой густоте растительности выбирают значения данного коэффициента ближе к 0, в обратном случае ближе к 1. Для промежуточных значений, как правило используют $L = 0,5$. Необходимость подбора данного коэффициента создает высокую неопределенность при выполнении работ по оценке растительного покрова. В связи с этим данный коэффициент был модифицирован (MSAVI), где математически был вычислен индекс L , по формуле 4:

$$L = 1 - 2 * s * NDVI * WDI, \quad (4)$$

где s – угол наклона почвенной линии.

Их вычисление сводится к изменению чувствительности к атмосферному влиянию за счет снижения динамического диапазона, что сказывается на точности измерения растительного покрова по сравнению с NDVI.

Для целей мониторинга в сельском хозяйстве наиболее простыми в применении и при этом достаточно информативными являются индексы NDVI и SAVI. В период вегетации и созревания культур предпочтительнее использовать NDVI.

Исследование почвенного покрова в период отсутствия растительности на полях в настоящее время достаточно затруднительно. Связано это с различиями во влажности почв, сильным влиянием атмосферы и т.п. Основным методом дешифрирования почв является визуальный, что может привести к значительным ошибкам при определении типов почв.

1.3 Способы учета антропогенной нагрузки на сельскохозяйственные почвы с применением ДЗЗ

Учет антропогенной нагрузки с использованием космической съемки является одним из наиболее современных способов наблюдения за трансформацией окружающей среды.

К основным преимуществам данного учета относятся:

- 1) Возможность оценки состояния окружающей среды непосредственно в момент съемки.
- 2) Возможность составления динамических рядов изменения параметров окружающей среды.
- 3) Накопление статистических данных с последующей их интерпретацией для прогнозирования состояния окружающей среды.

Основным недостатком использования космической съемки является чувствительность данных аппаратов к состоянию окружающей среды: облачность, наличие аэрозолей, погодные характеристики и т.п.

Как правило, для учета антропогенной нагрузки используют динамический ряд снимков за многолетний период [12].

При выполнении исследований учитывают изменение площадей исследуемых участков и их характеристик на основе вегетационных и иных индексов. Кроме того, в качестве опорного материала используют крупномасштабные топографические карты, результаты натурных наблюдений.

Изменения площадей исследуемых участков в течение многолетнего периода в зависимости от типа ландшафта может свидетельствовать как о наличии антропогенной трансформации окружающей среды, так и о восстановлении окружающей среды к первоначальному облику. Например:

- 1) Увеличение площади лесных биотопов за счет сельскохозяйственных территорий говорит об успешном процессе естественной сукцессии на данной территории. Использование же вегетационных индексов при изучении динамики сукцессии может дать информацию о скорости прохождения данного процесса и прогнозных сроках восстановления естественных экосистем
- 2) Примером деградации ландшафтов зафиксированное с помощью космической съемки могут быть: резкое снижение значений вегетационных индексов в связи с разработкой месторождений полезных ископаемых,

увеличение в динамике площади объектов затронутых антропогенной трансформацией окружающей среды.

В рамках настоящей работы необходимо использовать вышеуказанные методы применительно к изучаемой территории:

- 1) Динамика изменений вегетационных индексов
- 2) Использование информации космических снимков для проведения исследований современного состояния антропогенной нагрузки.

Глава 2 Характеристика объекта исследования

2.1. Схема и характеристика исследуемой территории, характеристика данных дистанционного зондирования

Схема и характеристика исследуемой территории.

В административном отношении участок проведения исследования расположен в Краснохолмском районе Тверской области в 1 км к востоку от г. Красных Холм. Схема расположения участка работ представлена на рисунке 2.

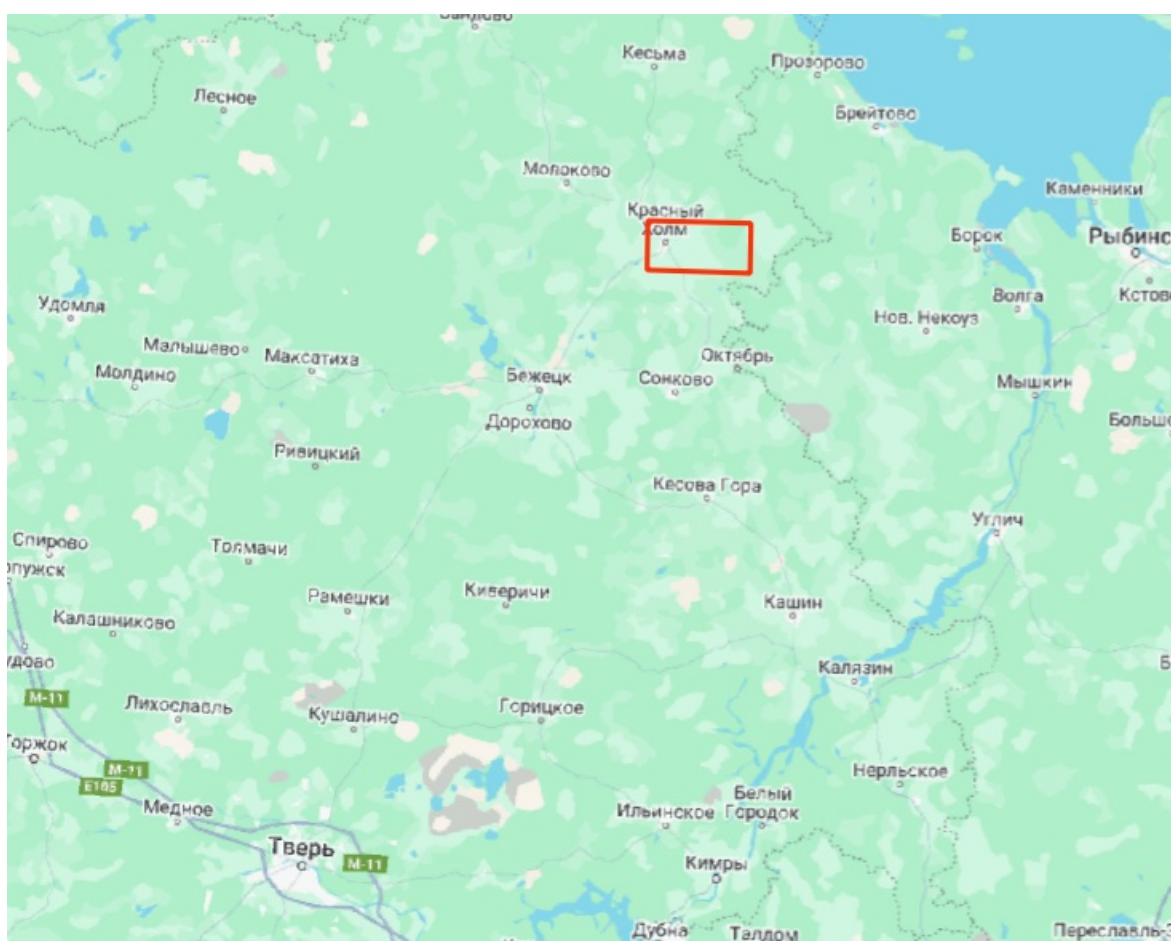


Рисунок 2 - Схема расположения участка работ

Согласно «Публичной кадастровой карте» Росреестра [14] проектируемые объекты располагаются на землях сельскохозяйственного назначения.

Климат рассматриваемой территории континентальный, с холодной продолжительной зимой, теплым, но сравнительно коротким летом, ранними осенними и поздними весенними заморозками.

Среднегодовое число осадков составляет 550—750 мм, причём наиболее влажным регионом является северо-запад. В течение года осадки выпадают неравномерно. Их количество резко возрастает в мае, в июне оно достигает максимальных значений (80—90 мм).

Снежный покров устанавливается в самом конце ноября и держится до середины марта, достигая мощности 40—60 см. Продолжительность вегетационного периода составляет от 165 до 170 суток [10].

Участок проведения исследований находится на водораздельном пространстве р. Неледина и Чернуха.

Водотоки изучаемого района относятся к равнинным рекам с чётко выраженным весенним половодьем, летне-осенними дождевыми паводками и длительной устойчивой зимней меженью.

Согласно ландшафтному районированию Тверской области территория располагается в пределах Верхневолжской провинции, относящейся к роду моренных и зандровых ландшафтов. Для данных ландшафтов характерен волнистый, с участками холмистого, рельеф, и поверхность, сложенная валунными суглинками, супесями, частично перекрытую чехлом покровных суглинков.

На территории проведения исследований распространены дерново-слабоподзолистые почвы.

Дерново-слабоподзолистые почвы сформировались на вершинах увалов, пологих и покатых склонах различной экспозиции. Почвообразующей породой для них послужили аллювиально-делювиальные отложения.

Дерново-слабоподзолистые почвы диагностируются по наличию обособленного серогумусного (дернового) аккумулятивного горизонта, элювиального горизонта, который через переходный субэлювиальный горизонт сменяется текстурным горизонтом. Гумусовый горизонт серых тонов,

его мощность в среднем 5 – 8 см. Структура непрочная, мелкокомковатая или порошистая. Постепенно, через осветление окраски переходит в элювиальный (подзолистый) горизонт, всегда самый светлый в профиле [9]. Зачастую данный горизонт у дерново-слабоподзолистых почв практически невозможно выделить.

Древостой североевропейских южнотаежных лесов состоят из елей европейской и переходных форм от ели европейской к ели сибирской, постоянна примесь берез повислой и пушистой, а также осины. Древостой преимущественно II, реже I или III классов бонитета, состоит из одного подъяруса, изредка развит второй. Подлесок в большинстве ассоциаций очень редкий. В травянисто-кустарничковом ярусе наблюдается заметное преобладание травянистых растений над кустарничками. Моховый ярус несомкнутый, фрагментированный[15].

Непосредственно участок проведения исследования представляет собой территории занятые возделываемыми полями. Схема территории представлена на рисунке 3.

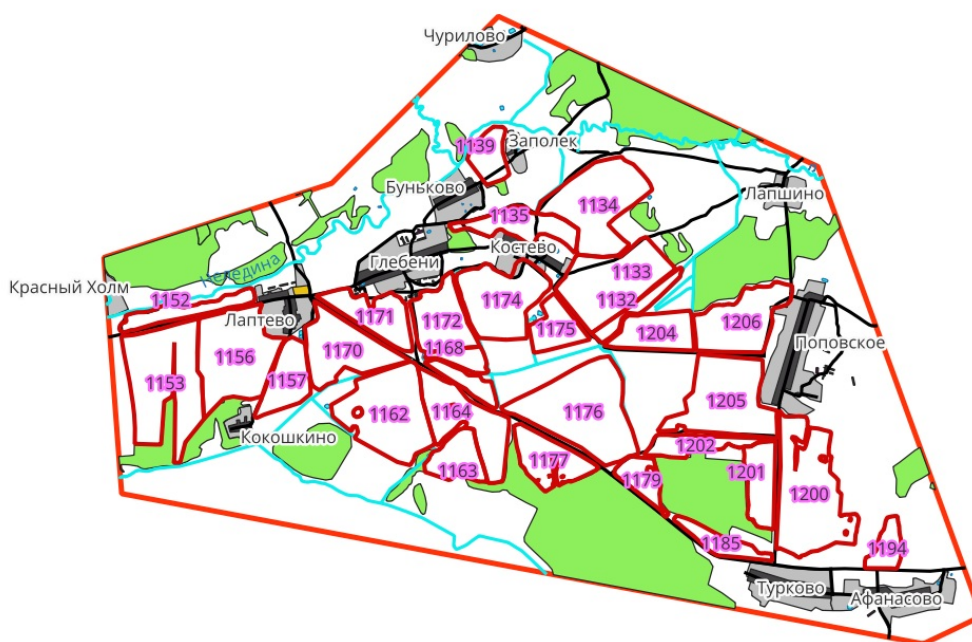


Рисунок 3 - Схема участка проведения исследований.

Источниками антропогенного влияния на данной территории могут быть:

- 1) Автодороги.
- 2) Населенные пункты.
- 3) Промышленность.

Характеристика данных дистанционного зондирования Земли

Для проведения работ использовались данные дистанционного зондирования Земли полученные из следующих источников:

- 1) Мультиспектральные снимки LANDSAT 8/9 с 2017 по 2022 гг полученные с использованием материалов сайта <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- 2) Снимок высокого разрешения, полученный с использованием материалов сайта https://yandex.ru/maps/geo/krasny_kholm/, а также с использованием программного обеспечения SASPlanet.

Мультиспектральные снимки LANDSAT 8/9 были использованы для получения значений спектральной яркости в следующих диапазонах:

- 1) Синий.
- 2) Зеленый.
- 3) Красный.
- 4) Ближний инфракрасный.

2.2 Используемое программное обеспечение для проведения исследования

Для проведения исследований использовалось бесплатно распространяемое программное обеспечение с открытым исходным кодом:

- 1) SASPlanet.
- 2) QuantumGIS (QGIS).
- 3) GrassGIS.

Необходимо представить краткую характеристику и способы проведения работ в контексте настоящей работы для каждого из представленного выше ПО.

SASPlanet

Наиболее удобным программным обеспечением для получения общедоступного космического снимка с высоким разрешением является свободно распространяемое программное обеспечение SASPlanet. Последняя версия данного ПО выложена на репозитории <https://github.com/sasgis/sas.planet.src/releases/tag/v.220707>.

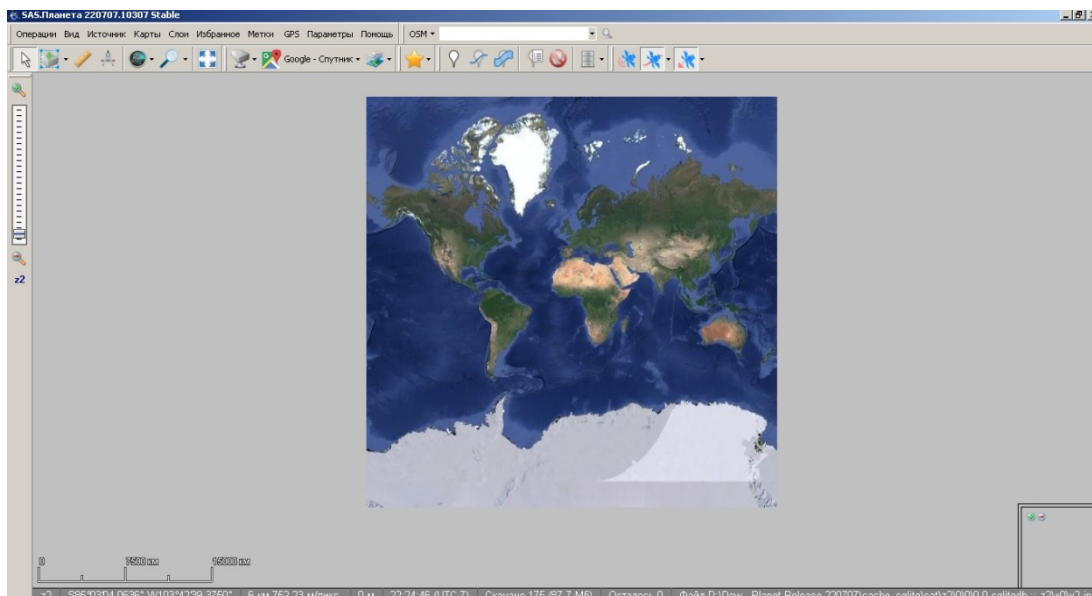


Рисунок 4 - Стартовое окно ПО SASPlanet.

Изменение масштаба карты происходит с помощью колеса мыши, либо прокруткой ползунка с левой стороны. В меню «Карты» возможен выбор необходимой карты. В меню слои можно выбрать дополнительные слои

В меню «Метки» возможны следующие действия:

- 1) Поставить метку: Отметка любой точки на карте и добавление ее описания, данная функция также доступна при нажатии правой кнопки мыши.
- 2) Добавить путь: Позволяет добавить произвольный путь.
- 3) Добавить полигон: Позволяет добавить полигон произвольной формы.
- 4) Управление метками: Позволяет управлять метками, а также добавлять метки в форматах kml, kmz, gpx и других форматов.

Для скачивания космоснимков необходимо выделить интересующую область, нажав кнопку  и выделить интересующую область. После выделение появится окно представленное на рисунке 5.

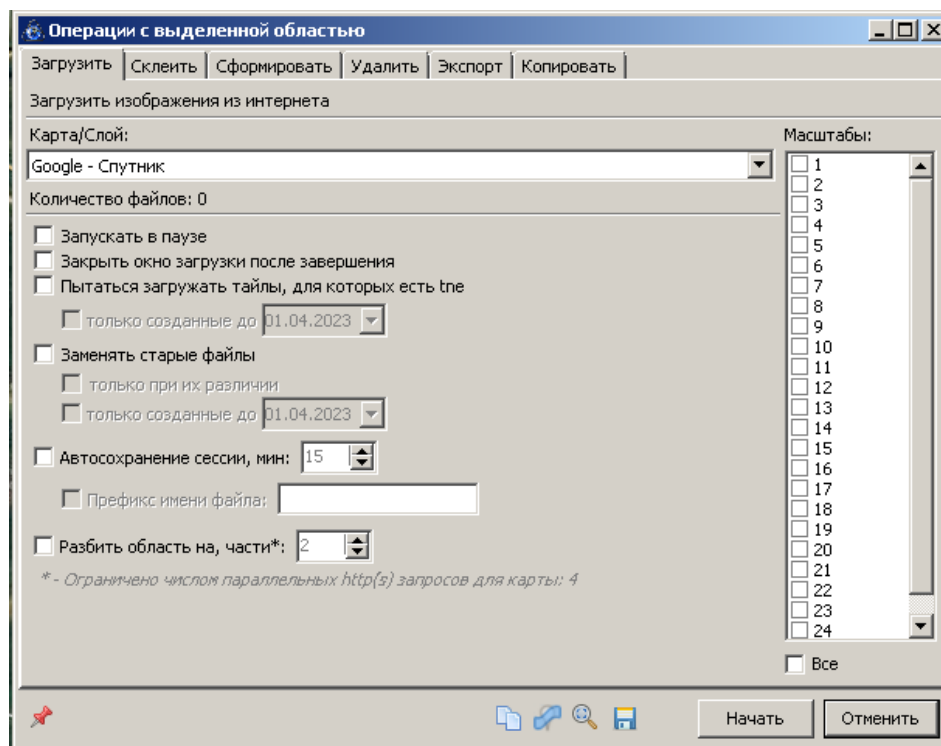


Рисунок 5 - Окно загрузки карт

В данном окне необходимо выбрать интересующий масштаб (как правило, 16 – 18 достаточно для того, чтобы детально рассмотреть интересующую область) и нажать кнопку начать. Начнется загрузка, которая, зачастую, может занять значительное время.

Использование снимков высокого разрешения в контексте данной работы позволяет дешифровать интересующие объекты:

- 1) Застройка.
- 2) Транспортная инфраструктура.
- 3) Залесенные территории.
- 4) Сельскохозяйственные территории и т.п.

В таблице 1А (приложение А) представлены основные дешифровочные признаки необходимые для проведения работ.

QuantumGIS (QGIS).

QGIS – настольная геоинформационная система, позволяющая отображать, анализировать, редактировать географические данные. Данная ГИС может работать как в среде Windows, так и в Linux, Mac OS, Unix. Поддерживает большинство современных форматов векторных данных и баз данных.

Основным преимуществом данного ПО является возможность просмотра и наложения друг на друга векторных и растровых данных в различных форматах и проекциях без преобразования во внутренний или общий формат. Поддерживаются следующие основные форматы:

1) Пространственные таблицы PostgreSQL с использованием PostGIS, векторные форматы, поддерживаемые установленной библиотекой OGR, включая shape-файлы ESRI, MapInfo, SDTS (Spatial Data Transfer Standard) и GML (Geography Markup Language) и др.

2) Форматы растров и графики, поддерживаемые библиотекой Geospatial Data Abstraction Library, такие, как GeoTIFF, Erdas IMG, ArcInfo ASCII Grid, JPEG, PNG и др.

3) Форматы World-файла вместе с поддерживаемыми типами растровых изображений.

4) Базы данных SpatiaLite.

5) Растровый и векторный форматы GRASS (область/набор данных).

В QGIS можно создавать и редактировать векторные данные, а также экспортировать их в разные форматы. Чтобы иметь возможность редактировать и экспортировать в другие форматы растровые данные, необходимо сначала импортировать их в GRASS.

В настоящее время QGIS предоставляет возможность использовать инструменты анализа, выборки, геопроессинга, управления геометрией и базами данных. Также можно использовать интегрированные инструменты GRASS, которые включают в себя функциональность более чем 300 модулей GRASS.

QGIS может быть адаптирован к особым потребностям с помощью расширяемой архитектуры модулей. QGIS предоставляет библиотеки, которые могут использоваться для создания модулей. Можно создавать отдельные приложения, используя языки программирования C++ или Python[3].

GrassGIS

GRASS (Geographic Resources Analysis Support System) — полнофункциональная геоинформационная система, предоставляющая большие возможности для обработки растровых и векторных геоданных.

GRASS включает средства для пространственного моделирования, визуализации растровых и векторных данных, управления геоданными и их анализа, для обработки данных дистанционного зондирования Земли и аэрофотоснимков. Помимо этого, в GRASS есть инструменты для создания высококачественной экранной графики и макетов карт.

GRASS используется по всему миру в академических институтах и коммерческих организациях, а также в государственных агентствах и консалтинговых компаниях. Эта ГИС работает на большинстве современных компьютерных платформ, является свободным программным обеспечением с открытым исходным кодом (распространяется под лицензией GPL).

GRASS имеет модульную структуру, включает более 400 модулей для разных целей. Кроме этого сообществом пользователей создано более 100 дополнительных модулей и наборов инструментов[1].

Для целей настоящей работы данная ГИС использовалась для:

- 1) Расчета спектральной яркости космических снимков.
- 2) Атмосферной коррекции.
- 3) Расчета показателей NDVI и SAVI.

3.1 Анализ данных (описание исследуемой территории, количественные характеристики территории, алгоритм проведения исследования)

Исследуемые участки расположены на территории ООО «АПК СПАС НА ХОЛМУ». Приведем краткую характеристику данного сельскохозяйственного производителя.

Полное наименование организации: ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС СПАС НА ХОЛМУ"

ИНН: 6928004249

КПП: 692801001

ОГРН: 1146906000350

Место нахождения: 171670, обл. Тверская, г. Красный Холм, д. Глебени, д.

5

Вид деятельности: Смешанное сельское хозяйство (код по ОКВЭД 01.50)

Статус организации: коммерческая, действующая

Организационно-правовая форма: Общества с ограниченной ответственностью (код 12300 по ОКОПФ)

Организация ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "АГРОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС СПАС НА ХОЛМУ" зарегистрирована в едином государственном реестре юридических лиц 10 лет назад 8 октября 2014.

Налоговый орган, в котором юридическое лицо состоит на учёте: Управление Федеральной налоговой службы по Тверской области (код инспекции – 6900). Налоговый орган до 18.09.2023 – Межрайонная инспекция Федеральной налоговой службы № 2 по Тверской области (код 6906).

Основной вид деятельности организации: Смешанное сельское хозяйство (код по ОКВЭД 01.50).

Учредителем ООО "АПК СПАС НА ХОЛМУ" является: Петров Иван Александрович.

В 2023 году среднесписочная численность работников ООО "АПК СПАС НА ХОЛМУ" составила 11 человек. Это на 1 человека меньше, чем в 2022 году.

Уставный капитал ООО "АПК СПАС НА ХОЛМУ" составляет 10 тыс. руб. Это минимальный уставный капитал для организаций, созданных в форме ООО.

В 2023 году организация получила выручку в сумме 5,1 млн руб., что на 1,5 млн руб., или на 23,2%, меньше, чем годом ранее.

По состоянию на 31 декабря 2023 года совокупные активы организации составляли 24,7 млн руб. Это на 7,6 млн руб. (на 23,5%) меньше, чем годом ранее.

Организация относится к категории микропредприятий. В соответствии с нормативно утвержденными критериями, микропредприятием считается организация с выручкой до 120 млн. руб. в год и численностью сотрудников до 15 человек.

Исследуемая территория с запада ограничена восточными окраинами г. Красный холм, с севера ограничена н.п. Чурилово, с востока – населенными пунктами Поповское и Афанасово, с юга населенными пунктами Турково и Афанасово. Территория проведения исследований представлен на рисунке 6.

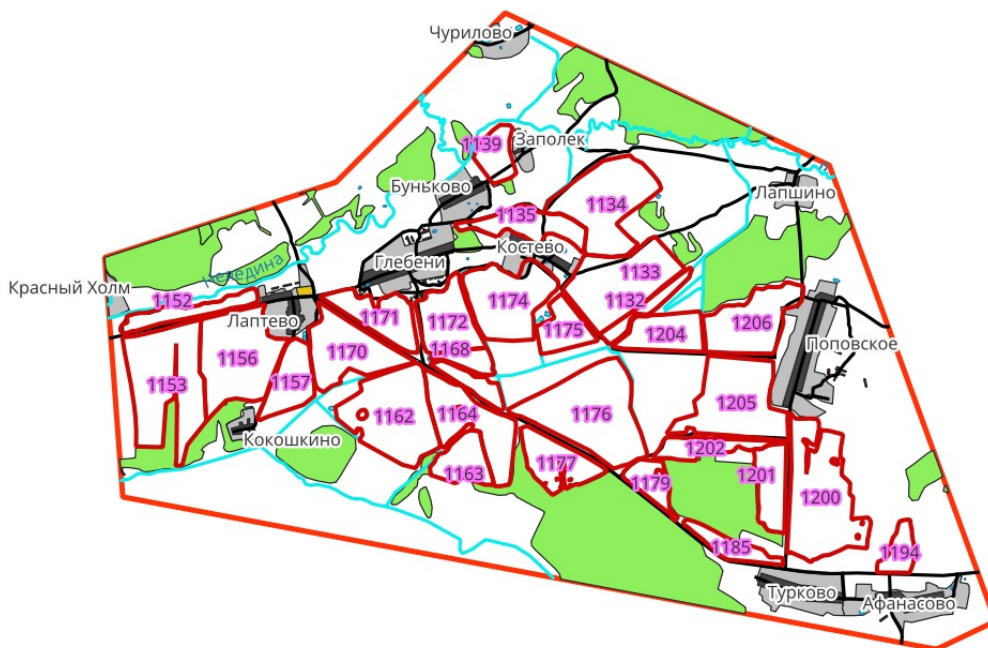


Рисунок 6 - Территория проведения исследований.

Как видно из рисунка территория представляет собой достаточно мозаичный ландшафт, где представлены как сельскохозяйственные угодья, так и лесные массивы, населенные пункты и т.д. Территория подвергается интенсивному осушению, в связи с наличием в ней водоотводных каналов. Кроме того, на исследуемой территории выявлено большее количество выбывших из пользования сельскохозяйственных угодий с различной степенью зарастания.

В настоящей работе исследованию подвергаются 30 полей. Характеристики полей приведены в таблице 2А (приложение А).

Согласно данным предоставленным ООО «АПК СПАС НА ХОЛМУ» на данных полях выращивают овес и пшеницу. Кроме того, под посеvy данных культур подсаживают многолетние травы.

Для проведения работ были использован космический снимок высокого разрешения. С использованием ПО QGIS на основе данного снимка была построена схема вышеназванных полей. Для этого:

- 1) Был создан новый проект, в который был импортирован файл с космическим снимком в высоком разрешении. Файл с геопривязкой полученный с использованием ПО SASPlanet прочитался автоматически. Всему проекту была присвоена информация о проекции прочитанная из данного файла.

- 2) Был создан векторный слой в формате shp-файла и добавлен в проект.

- 3) В соответствии с информацией, представленной на космическом снимке в shp-файле были созданы полигональные объекты соответствующие исследуемым полям. В атрибутивной таблице были заполнены цифровые обозначения данных объектов.

- 4) Кроме того, был создан shp-файл отделяющий островки лесной растительности на полях.

- 5) С использованием функции пересечение был создан результирующий shp-файл с точными границами полей.

- 6) С помощью калькулятора полей рассчитывалась площадь (функция \$area) каждого поля.

Многозональные космические снимки LANDSAT 8/9 были первично обработаны в GRASS GIS. Для этого:

1) С сайта <https://earthexplorer.usgs.gov/> были загружены 19 космических снимков, выполненных в период с 2017 по 2022 гг. В составе космических снимков помимо самих графических материалов поставляются и текстовые файлы содержащие метаданные, т.е. данные о параметрах съемки.

2) Полученные изображения импортировались в ПО GRASS GIS.

3) В связи с тем, что полученные снимки предоставляются в практически необработанном виде и значения характерные для каждого пикселя космического снимка могут не соответствовать друг другу, необходим перевод данных значений в показатели спектральной яркости. Для этого использовался встроенный в ПО модуль `landsat.toar`. Данный модуль использует сведения метаданных для коррекции изображения.

4) После перевода материалов космической съемки в показатели спектральной яркости проводилась атмосферная коррекция снимков, посредством встроенного в GRASS GIS модуля `atcor`. Модуль также использует метаданные, поставляемые вместе с космическим снимком.

5) После проведенных коррекционных процедур космические снимки обрезались с использованием ранее созданного в QGIS и импортированного в GRASS GIS `shp`-файла. Данная процедура позволяет высвободить вычислительные ресурсы техники.

6) Вычисление вегетационных индексов в GRASS GIS максимально автоматизировано в модуле `v.i`. Данный модуль запрашивает лишь названия слоев, для красной и ближней инфракрасной частей спектра.

7) В связи с тем, что QGIS воспринимает данные растровых изображений в виде целых чисел, а полученные показатели варьируют в пределах от -1 до 1 было проведено масштабирование полученных данных. Для этого использовался модуль GRASS GIS калькулятор растров. Полученные показатели пересчитывались по формуле 5:

$$NDVI_m = 100 * (NDVI + 1) \quad (5)$$

8) На завершающем этапе полученные вегетационные индексы экспортировались в geotiff-файлы.

Пример полученного изображения приведен на рисунке 7.

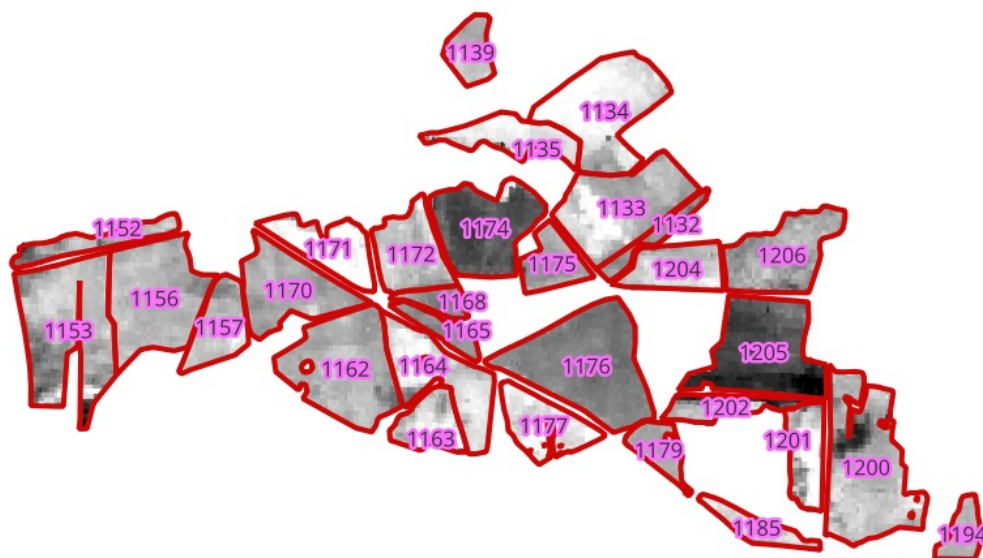


Рисунок 7 - Пример полученного geotiff-файла

Частично обработка космических снимков была проведена в QGIS. В данном ПО осуществлялся синтез 3-х канального изображения в комбинации естественные цвета (красный-синий-зеленый). Для этого использовалась функция . Полученное в результате выполнения данной функции изображение экспортировалось в изображение в формате jpg.

Пример 3-канального изображения в комбинации естественные цвета приведен на рисунке 8.

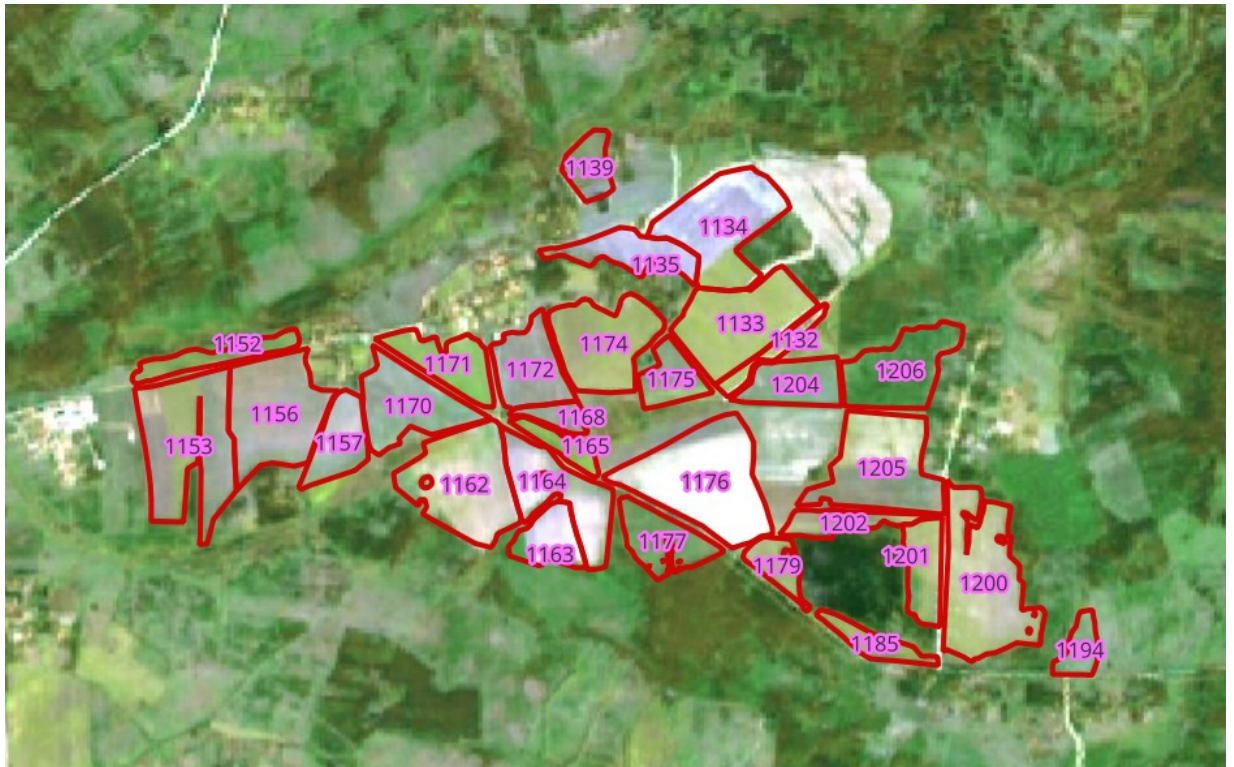


Рисунок 8 - Пример 3-канального изображения.

Обработка индексированных изображений NDVI и SAVI происходил следующим образом:

- 1) Ранее сохраненные файлы импортировались в QGIS
- 2) С использованием функции извлечение строились горизонтали с шагом 5 единиц соответствующего показателя.
- 3) С помощью функции растр в вектор создавался shp-файл содержащий информацию о конкретном значении показателя на каждом участке территории.
- 4) Создавался shp-файл объединяющий сведения о полях и оцениваемых показателях.
- 5) В атрибутивной таблице полученного файла выполнялись вычисления
- 6) С использованием функции Объединение проводилось объединение полигонов по признаку «name» в результате были получены картографические изображения, пример которых представлен на рисунке 9.

Векторизация и дешифрирование информации представленной на космическом снимке производилась в ручном режиме. На исследуемой территории были выявлены следующие типы ландшафтов:

- 1) Коренные лесные территории.
- 2) Лесные территории, сформировавшиеся на неиспользуемых сельскохозяйственных территориях.
- 3) Зарастающие залежи.
- 4) Территории, используемые в сельском хозяйстве.
- 5) Луга.
- 6) Территории занятые водоотводными каналами.
- 7) Территории населенных пунктов.
- 8) Территории транспортной инфраструктуры.

Распределение ландшафтов на исследуемой территории представлено на рисунке 10.

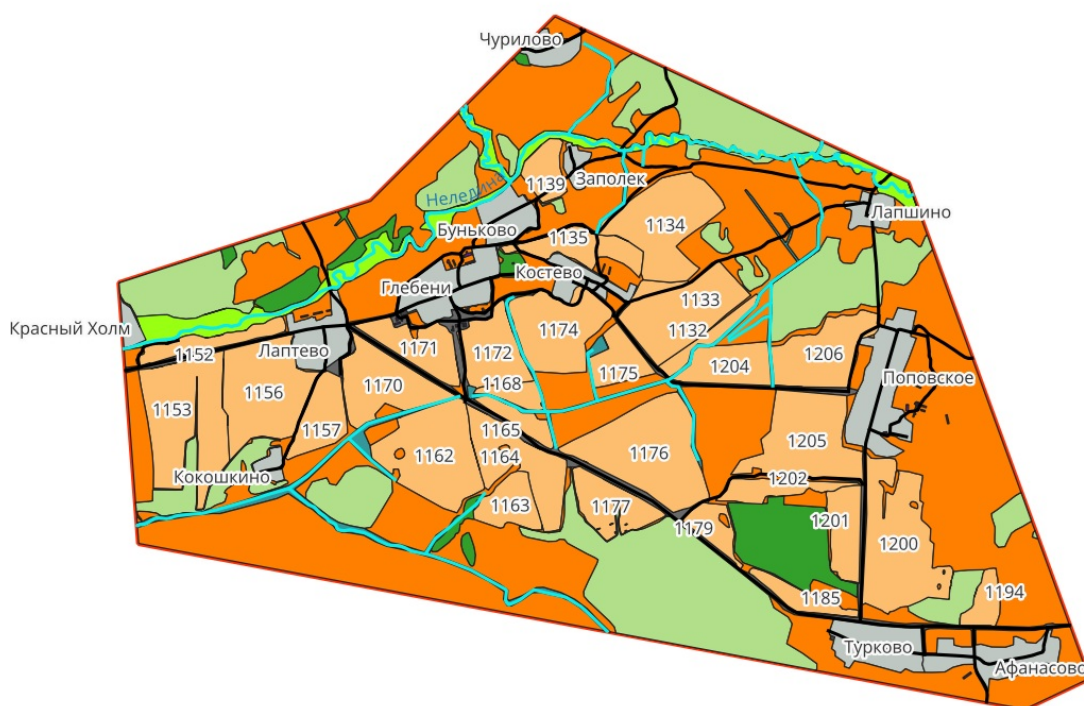


Рисунок 10 - Распределение ландшафтов на исследуемой территории

В таблице 1 представлены балльные оценки, а также площади, занимаемые выявленными ландшафтами.

Таблица 1 - Бальные оценки и площади выявленных ландшафтов

Ландшафт	Балл	Занимаемая площадь, га
Коренные лесные территории	1	97
Лесные территории, сформировавшиеся на неиспользуемых сельскохозяйственных территориях	2	504
Зарастающие залежи	3	1238
Территории, используемые в сельском хозяйстве	4	1071
Луга	2	91
Территории занятые водоотводными каналами	5	61
Территории сельских населенных пунктов	5	221
Территории транспортной инфраструктуры	6	78

Как видно из таблицы 1 наибольшие площади на изыскиваемом участке занимают Зарастающие залежи и территории, используемые в сельском хозяйстве.

По нашему мнению при оценке эколого-хозяйственного баланса территории возможно применение и индекса NDVI полученного с космического спутника в период максимальной вегетации (в период конец июня – середина августа). Использование данного индекса позволит точнее определить ЭХБ в связи с:

1) Индекс NDVI напрямую описывает состояние биомассы растительности территории.

2) В сельских населенных пунктах по сравнению с городскими более высока роль растительного покрова.

3) Состояние лесов может существенно различаться: состояние древостоя, его разреженность и т.п.

4) Существует возможность отслеживания динамики ЭХБ.

Технология выполнения данной работы состоит в следующем:

1) Каждому полигону с соответствующей бальной оценкой присваивается средний взвешенный по площади показатель масштабированного $NDVI_k$;

2) Рассчитывается средний взвешенный по площади $NDVI_{cp}$ для всей территории проведения исследований

3) Рассчитывается вклад каждого элемента ландшафта ($АН_{i_k}$) в ЭХБ исследуемой территории по формуле: $АН_{i_k} = S_k * NDVI_k$, где S_k – площадь конкретного ландшафта;

4) Рассчитываются суммы $АН_i$;

5) Рассчитываются коэффициенты абсолютной и относительной напряженности эколого-хозяйственной ситуации исследуемой территории;

6) Для расчета естественной защищенности ландшафта территории общую площадь необходимо умножить на $NDVI_{cp}$

По результатам проведенных расчетов получены следующие результаты:

1) Коэффициент абсолютной напряженности ЭХС составил 3,62.

2) Коэффициент относительной напряженности ЭХС составил 0,74.

3) Коэффициент естественной защищенности территории составляет 0,51.

Карта распространения на исследуемой территории ландшафтов с их бальной оценкой представлена на рисунке 11.

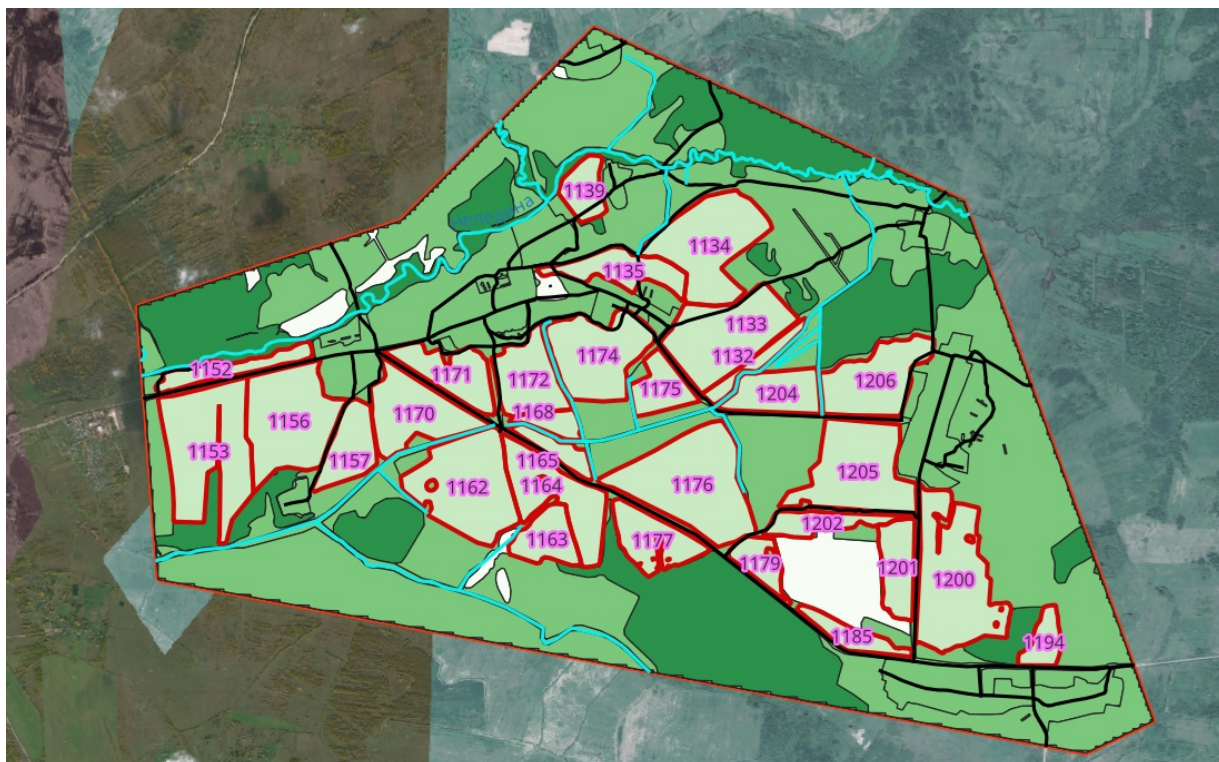


Рисунок 11- Распространенность ландшафтов с их бальной оценкой с учетом индекса NDVI

В таблице 2 представлена сравнительная характеристика расчетов показателей эколого-хозяйственного баланса территории с использованием двух способов расчета.

Таблица 2 - Сравнительная характеристика результатов расчета ЭХБ

Коэффициент	«Классический» способ расчета	Способ расчета с использованием коэффициента NDVI
Коэффициент абсолютной напряженности	3,46	3,62
Коэффициент относительной напряженности	0,76	0,74

Коэффициент естественной защищенности территории	0,51	0,51
--	------	------

Как видно из таблицы XX Рассчитанные показатели во многом схожи. Наблюдаются различия в значении коэффициента абсолютной напряженности. Связано это с тем, что характерные для данной местности коренные хвойные леса имеют достаточно слабую фотосинтетическую активность, в связи с чем имеют низкий индекс NDVI.

С развитием зарастания неиспользуемых в сельском хозяйстве полей, преимущественно лиственными видами деревьев, в дальнейшем прогнозируется большая стабилизация территории и увеличение коэффициента естественной защищенности территории. Таким образом, прогнозируется улучшение ситуации с точки зрения эколого-хозяйственного баланса.

3.3 Эколого-экономическая оценка территории

Эколого-экономическая оценка территории проведена для оцениваемых в настоящей работе сельскохозяйственных угодий.

По информации предоставленной ООО «АПК СПАС НА ХОЛМУ» на данной территории выращиваются следующие виды сельскохозяйственных культур: овес, яровая пшеница.

В таблице 3 представлены сведения об урожайности возделываемых культур в 2017 и 2022-2024 гг.

Таблица 3 - Урожайность культур

Культура	Урожайность, ц/га			
	2017	2022	2023	2024
Овес	13,9	1095	9,26	13,25
Пшеница	9,2	15	13	-
Многолетние травы		6	5,4	14,4

Площади, занимаемые данными культурами представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Площади, занимаемые возделываемыми культурами

Культура	Площадь, га			
	2017	2022	2023	2024
Овес	300	370	470	200
Пшеница	100	110	10	0
Многолетние травы	-	500	500	500

Сведения о сборе урожая в данном хозяйстве представлены в таблице 5.

Таблица 5 - Сбор урожая

Культура	Урожай, т			
	2017	2022	2023	2024
Овес	417	405	435	265
Пшеница	92	165	13	0
Многолетние травы	-	300	270	720

Анализ данных, представленных в выше указанных таблицах, свидетельствует о постепенном снижении урожайности, а, соответственно и объема собранной продукции.

Необходимо рассмотреть предоставленные ООО «АПК СПАС НА ХОЛМУ» агрохимические характеристики исследуемых полей.

В таблице 3А (приложение А) представлены сведения об основных агрохимических показателях характерных для данной территории в 2017 и 2022 гг.

Как видно из таблицы 3А наблюдается постепенная деградация земель по содержанию калия и фосфора, что говорит о необходимости внесения калийно-фосфорных удобрений.

В рамках настоящей работы нами была предпринята попытка увязки состояния агрохимических показателей и информации полученной в результате использования космической съемки.

Космические снимки и результаты их обработки использовались в период конца мая - июня 2018 – 2022 гг. При этом подбирались поля, всегда находившиеся в пользовании.

В качестве примера можно привести поле 1135, где наблюдается значительное снижение P_2O_5 и K_2O . Индекс NDVI на данном поле снизился со 161 до 153, что говорит о значительном снижении биомассы растений.

Изменения содержания органического вещества в почвах исследуемых полей незначительно и никак не коррелирует с показаниями индекса NDVI.

Для поля 1152 в 2022 г. зафиксировано резкое снижение pH на 0,3 единицы, что сразу же сказалось на индексе NDVI, который составил для данного поля 140 ед. вместо средних для данного поля 150.

Таким образом, изменения показателей вегетационных индексов может свидетельствовать об изменении агрохимических показателей. При этом стоит учитывать, что на развитие растений влияют и другие, в первую очередь, погодные факторы. Соответственно применение вегетационных индексов для

индикации изменения агрохимических показателей в настоящий момент времени может иметь вспомогательный характер и должен учитывать другие факторы.

В рамках настоящей работы были выделены следующие мероприятия, проведение которых позволит повысить урожайность и качество мониторинга возделываемых культур:

- 1) Мониторинг всхожести на основе контроля индекса SAVI
- 2) Мониторинг состояния посевов на основе контроля индекса NDVI
- 3) Контроль проблемных территорий на основе расчета среднеквадратического (стандартного) отклонения
- 4) Накопление статистических данных для мониторинга посевов.

Расчет индекса SAVI проводится в соответствии с технологией, представленной в п. 3.1. настоящей работы. Пример карты, полученной в результате расчета данного индекса за 10.05.2021 г. представлен на рисунке 12.

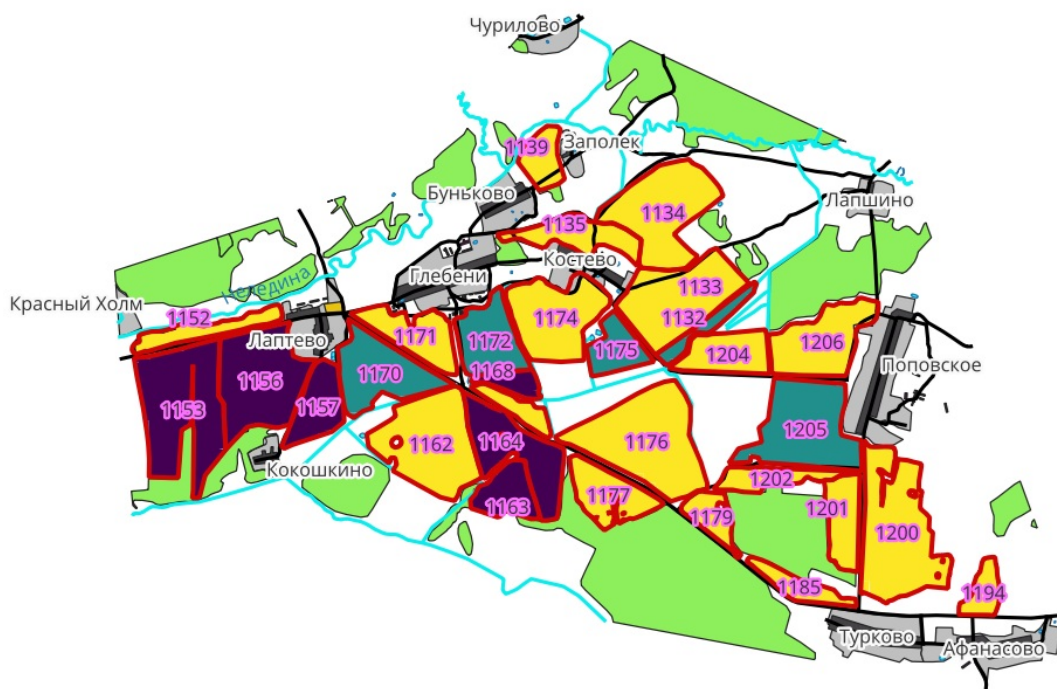


Рисунок 12 - Карта расчета индекса SAVI

Как видно из рисунка 12 показатели всхожести для различных полей достаточно сильно изменяются в пределах от 111 до 131.

Показатель индекса ниже 115 говорит об отсутствии всходов на данной территории.

Индекс от 115 до 120 говорит о том, что всхожесть на данном поле есть, но она достаточно мала.

Показатель индекса свыше 120 говорит о хорошей всхожести на данной территории.

Таким образом, на дату 10.05.21 на полях 1153, 1156, 1157, 1168, 1164, 1163 всходы отсутствуют. Всходы на полях 1170, 1172, 1175, 1132, 1205 не высоки. На остальных полях всхожесть высокая.

Мониторинг состояния посевов на основе контроля индекса NDVI

Технология расчета индекса представлена в разделе 3.1 настоящей работы.

Контроль индекса NDVI осуществляется в период вегетации растительности. В связи с тем, что в различные сезоны года данный индекс подвержен сильным колебаниям необходимо накопление статистической информации для его контроля. Пример колебаний индекса представлен на рисунке 13, 13.1, 13.2.



Рисунок 13 - Колебания индекса NDVI усредненное



Рисунок 13.1 - Колебания индекса NDVI для поля 1177



Рисунок 13.2 - Колебания индекса NDVI для поля 1132 (в)

Контроль проблемных территорий на основе расчета среднеквадратического (стандартного) отклонения

Среднеквадратическое (стандартное) отклонение характеризует разброс значений конкретного показателя по территории исследуемого участка.

Технология расчета СКО представлена в разделе 3.1 настоящей работы.

Для статистической обработки значение СКО предлагается использовать метод контрольных карт Шухарта. Данный метод позволяет статистически определить стабильность какого-либо процесса. В настоящей работе под стабильностью процесса предполагается, что одномоментно посеянные культуры в процессе их вегетационного цикла произрастают равномерно без статистически значимых изменений их состояния.

В качестве индикатора стабильности примем, что среднее значение СКО для стандартных условий произрастания равняется 2 единица масштабированного NDVI (SAVI).

Для расчета пределов, в которых может варьировать значение NDVI (SAVI) необходимо ввести следующие понятия:

1) Средняя линия – т.е. характерный для данного процесса показатель равный $2 \cdot 1,128 = 2,3$

2) Предел предупреждения – значение СКО превышение, которого говорит о том, что процесс может стать неконтролируемым, численно в данной работе он равен $2 \cdot 2,834 = 5,7$

3) Предел действия – значение СКО превышение, которого говорит о том, что в процессе происходят необратимые изменения и указывают на необходимость проведения срочных мер по минимизации последствий выхода процесса из-под контроля. Численно данный показатель равен $2 \cdot 3,686 = 7,4$.

Исходя из анализа результатов расчета на исследуемой территории, были сделаны следующие выводы:

1) Как правило, на территории исследуемого хозяйства СКО находилось в пределах от 0,9 до 3.

2) Превышения пределов действия связаны, как правило, со сбором урожая. Пример представлен на рисунке 14.

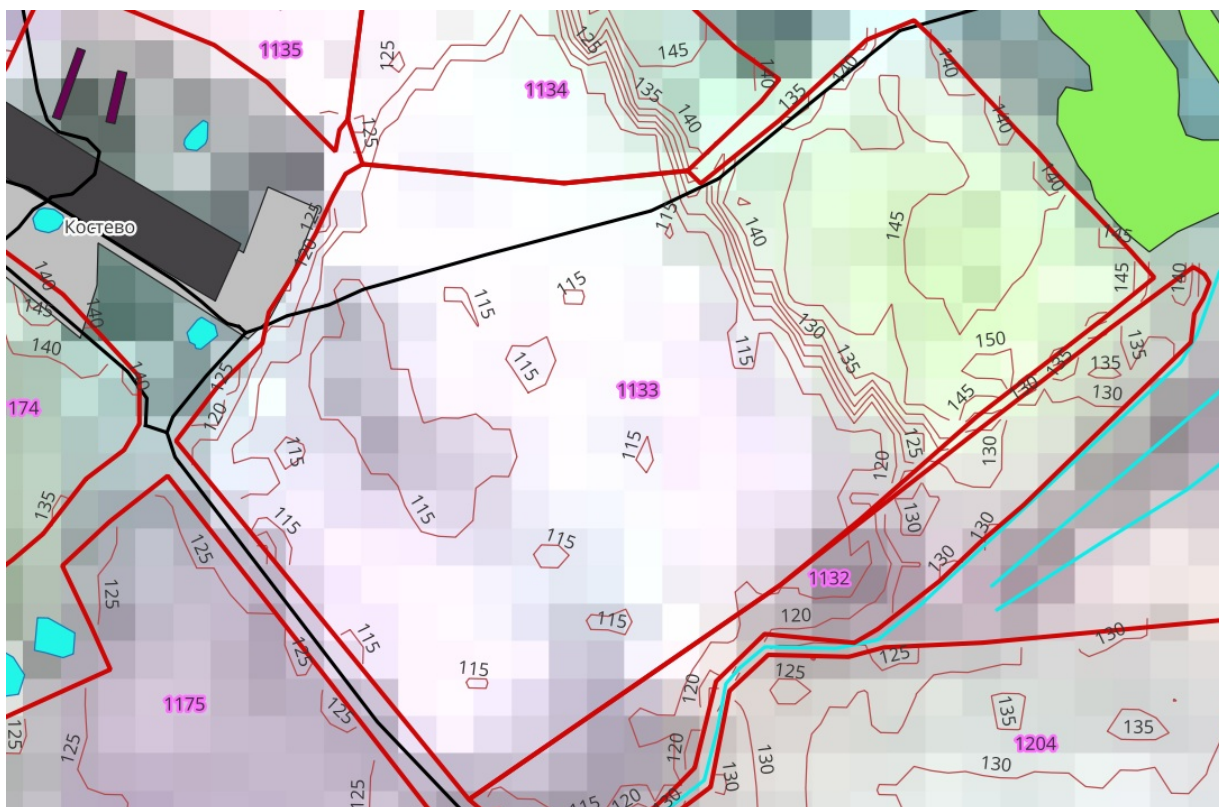


Рисунок 14 - Превышение предела действия СКО в связи со сбором урожая.

3) Превышения предела предупреждения связаны с неравномерным произрастанием растительности на территории конкретного участка. Например, 25.05.18 для поля 1162 была характерна следующая ситуация: для юной части были характерны значения NDVI от 145 до 150, в северной части значения данного индекса местами достигали 170 при характерном 155-160. СКО составило 6, что является превышением предела предупреждения. Пример представлен на рисунке 15.

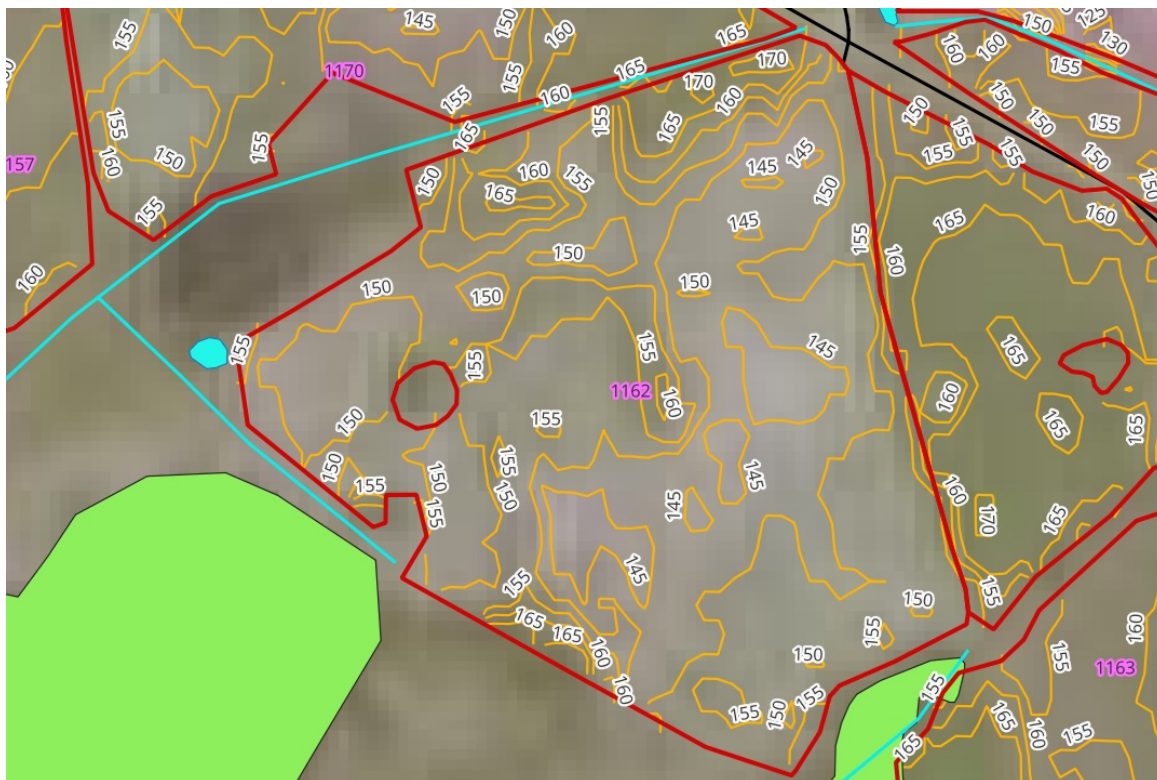


Рисунок 15 - Превышение предела предупреждения СКО в связи с неравномерностью произрастания культуры.

Выделение проблемных участков на поле происходит с помощью анализа изолиний NDVI (SAVI), построенных по технологии из раздела 3.1. Эти изолинии показывают участки, где индекс сильно отличается — либо повышен, либо понижен. Повышенный индекс может указывать на бурное развитие сорных растений, а пониженный — на болезни или вредителей. После выявления таких участков проводят полевые исследования для выяснения причин и принятия мер.

Мониторинг с помощью СКО помогает отслеживать состояние посевов и накапливать статистические данные для повышения точности работы. Однако при равномерном заражении сорняками индикатор может не показывать различий. Анализ многолетних данных позволяет отслеживать тренды изменения NDVI за сезоны.

Основные ограничения космической съемки — облачность и низкая частота снимков (например, у LANDSAT 8/9 раз в две недели). Для более точного мониторинга используют БПЛА с датчиками, которые позволяют вести съемку в различных диапазонах и получать более детальную информацию.

Заключение

В настоящей работе были рассмотрены различные аспекты эколого-экономической оценки сельскохозяйственных угодий с использованием данных дистанционного зондирования Земли.

Были охарактеризованы космические аппараты позволяющие проводить ДЗЗ. В результате анализа, нами было установлено, что наиболее подходящими для целей данной работы являются космические снимки с КА LANDSAT 8/9.

Охарактеризованы основные виды антропогенной нагрузки на сельскохозяйственные ландшафты. В результате анализа было установлено, что на территории проведения исследований действующими антропогенными факторами могут являться:

- 1) Загрязнение окружающей среды;
- 2) Механическое влияние на почву;
- 3) Внесение удобрений.

Охарактеризованы вегетационные индексы, используемые для проведения исследований. В рамках настоящей работы были использованы следующие индексы:

- 1) NDVI;
- 2) SAVI.

Охарактеризованы способы учета антропогенной нагрузки на сельскохозяйственные территории.

Приведены физико-географические характеристики изучаемой территории.

Для проведения исследований использовалось бесплатно распространяемое программное обеспечение с открытым исходным кодом:

- 1) SASPlanet;
- 2) QuantumGIS (QGIS);
- 3) GrassGIS.

Проведен анализ имеющихся данных, в результате которого установлено следующее:

1) Исследуемые участки расположены на территории ООО «АПК СПАС НА ХОЛМУ», которым предоставлены следующие данные: сведения об агрохимических характеристиках полей, сведения об урожайности возделываемых культур

2) Описана технология проведения работ с использованием специализированного ПО;

Произведены расчеты эколого-хозяйственного баланса территории с использованием классической методики, а также с использованием космической съемки. В результате было выявлено, что использование вегетационных индексов при расчете показателей ЭХБ позволяет точнее проводить оценку территории;

Проведена эколого-экономическая оценка территории в ходе которой были выявлены сведения о деградации земель на данной территории и необходимости внесения калийно-фосфорных удобрений.

Список использованной литературы

- 1) GRASS GIS / [Электронный ресурс] // OSGeoLive : [сайт]. — URL: https://gis-lab.info/docs/osgeo/ru/overview/grass_overview.html дата обращения 02.05.2025
- 2) LANDSAT 8 / [Электронный ресурс] // USGS : [сайт]. — URL: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-8> дата обращения: 29.04.2025.
- 3) QGIS / [Электронный ресурс] // Wikipedia : [сайт]. — URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/QGIS> дата обращения 02.05.2025
- 4) S2 Mission / [Электронный ресурс] // SentiWiki : [сайт]. — URL: <https://sentiwiki.copernicus.eu/web/s2-mission> дата обращения 29.04.2025
- 5) Алексахин, Р. М. Техногенное загрязнение сельскохозяйственных угодий (исследования, контроль и реабилитация территорий) / Р. М. Алексахин, М. И. Лунев // Плодородие. – 2011. – № 3(60). – С. 32-35. – EDN ONRJKB.
- 6) Воздействие антропогенных факторов на сельскохозяйственные почвы / С. Е. Германова, Н. В. Петухов, Н. Б. Самброс [и др.] // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2023. – № 1(391). – С. 39-42. – DOI 10.55186/25876740_2023_66_1_39.
- 7) Гафаров, Р. А. Анализ и сравнение спутников дистанционного зондирования Земли / Р. А. Гафаров // Достижения науки и образования. – 2018. – Т. 2, № 8(30). – С. 38-39.
- 8) Гресис, В. О. Использование вегетационного индекса NDVI для контроля состояния сельскохозяйственных полей / В. О. Гресис, А. С. Батыгин, Е. Н. Пакина // Аграрная наука - сельскому хозяйству : Сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции в 2 кн., Барнаул, 09–10 февраля 2021 года. Том Книга 2. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2021. – С. 18-20.
- 9) Классификация и диагностика почв России / Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедева, М. И. Герасимова. – Смоленск : Ойкумена, 2004. – 341 с.

10) Климат Тверской области / [Электронный ресурс] // Wikipedia : [сайт]. — URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82_%D0%A2%D0%B2%D0%B5%D1%80%D1%81%D0%BA%D0%BE%D0%B9_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%Вдата обращения 04.05.2025

11) Кочуров Б.И. Геоэкология: экодиагностика и эколого-хозяйственный баланс территории: монография/ Б.И. Кочуров. М.: Институт географии РАН, 1999. — 86 с.

12) Курбатова, И. Е. Космический мониторинг трансформации болотных ландшафтов в условиях антропогенных воздействий / И. Е. Курбатова, Т. В. Верещака, А. А. Иванова // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2021. – Т. 18, № 4. – С. 216-227. – DOI 10.21046/2070-7401-2021-18-4-216-227.

13) Никитина, Ю. Г. Дистанционные методы исследования и мониторинга почв и земель / Ю. Г. Никитина // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК : Материалы международной научно-практической конференции молодых учёных, Иркутск, 29–30 марта 2018 года / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации; Департамент научно-технологической политики и образования; Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского. – Иркутск: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2018. – С. 265-271.

14) Публичная кадастровая карта / [Электронный ресурс] // Портал пространственных данных : [сайт]. — URL: https://nspd.gov.ru/map?thematic=PKK&zoom=9.501954128015154&coordinate_x=4170251.6747590993&coordinate_y=7990316.292863428&theme_id=1&is_copy_url=true дата обращения 29.04.2025

15) Растительность европейской части СССР. – Л: Наука, 1980. – 429 с.

16) Реджепов, М. Б. Мониторинг использования сельскохозяйственных полей на основе вегетационного индекса NDVI по данным космической съемки

MODIS / М. Б. Реджепов, Г. А. Калабухов, К. А. Сарычева // Вопросы управления недвижимостью, землеустройства и геодезии. – 2023. – № 2(4). – С. 58-62.

17) Токарева, О.С. Обработка и интерпретация данных дистанционного зондирования Земли: учебное пособие/ О.С. Токарева. Издательство Томского политехнического университета, 2010. — 148 с.

18) Хамуков, Ю. Х. Земледелие и вспашка. Вспашка как антропогенный фактор деградации экосистем / Ю. Х. Хамуков, М. А. Канокова // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2022. – № 6(110). – С. 225-235. – DOI 10.35330/1991-6639-2022-6-110-225-235.

Приложение
Приложение А

Таблица 1А - Дешифровочные признаки.

Ландшафт	Вид на космическом снимке	Описание
Городская застройка		На снимке очертания крыш домов, дорог, видны автомобили
Частные дома		На снимке различимы небольшие дома с приусадебными участками и хозяйственными постройками. Большое количество небольших проездов.
Водные объекты		Крупные реки на космоснимке обычно являются самыми темными объектами (черный или темно-синий цвет)

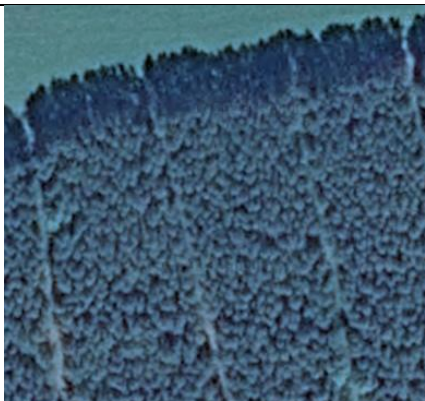
Продолжение таблицы 1А.

	 	Мелкие реки и ручьи как правило на космических снимках не видны. Однако, косвенно их можно определить по резкой затемненности и наличию теней. Также они имеют линейную форму, при этом данные линии, обычно можно отследить вплоть до их впадения в более крупную реку, видимую на космоснимке. Подобные изображения также могут быть характерны для заброшенных лесных дорог, а также при сильном перепаде высот.
--	--	---

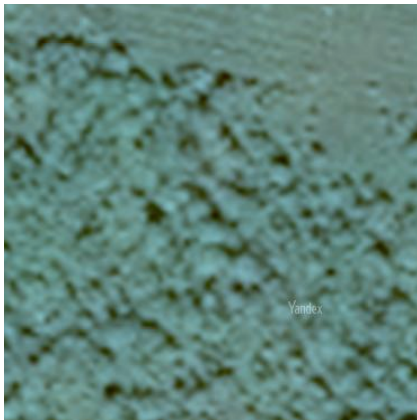
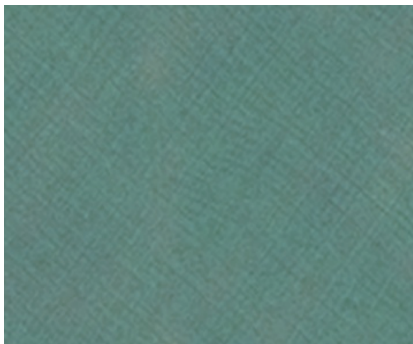
Залесенные территории		Хвойные леса на космоснимках, как правило, темно-зеленые, текстура достаточно пестрая.
-----------------------	--	--

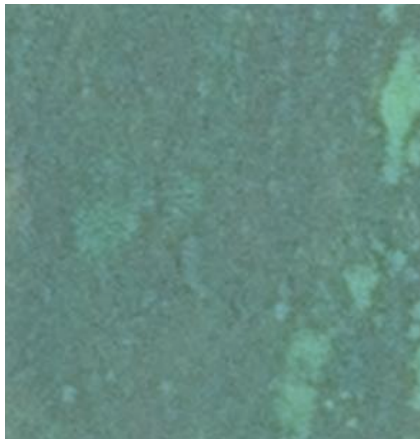
Продолжение таблицы 1А.

		Лиственные леса, на снимках обычно светлее, при этом обладают более плотной текстурой.
		Основными дешифровочными признаками зарастающих вырубок являются: разреженные расстояния между деревьями, геометрически правильная форма участка

	 	Лесопосадки. Как правило, присутствуют прямые линии. Характерна примерно одинаковая высота древостоя (определяется по тени деревьев).
--	--	--

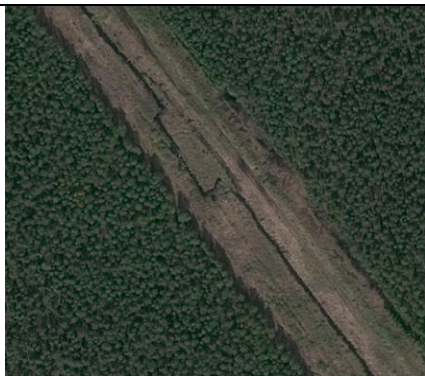
Продолжение таблицы 1А.

Кустарниковая растительность		Кустарниковая растительность схожа по текстуре с лиственными лесами. При этом тени растений очень небольшие.
Безлесные территории		Поля. Как правило, занимают обширные территории. На космоснимке отчетливо видна крестообразная текстура (следы

		техники, ряды посевов).
		Залежи. Как и поля занимают обширные площади. Наблюдаются значительные различия по цвету. Часто встречаются единичные или группы деревьев, кустарник.

Продолжение таблицы 1 А.

		Луга, обычно, выделяют вдоль берегов водоемов. Схожи с залежами.
Транспортная инфраструктура		Дороги с асфальтобетонным покрытием

		Дороги с грунтовым покрытием
		Трубопроводы.

Продолжение таблицы 1А.

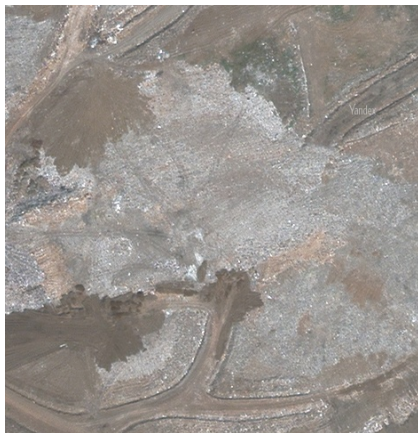
Свалки		Для свалок характерен светло-коричневый фоновый цвет. При этом сама расцветка достаточно пестрая. Мелкие свалки практически не различимы на снимках.
--------	--	--

Таблица 2А - Исследуемые поля.

Номер	Площадь, га	
	2017 г.	2022 г.
1132	17,9	17,9
1133	63,3	63,6
1134	77,3	77,3
1135	26,6	26,6
1139	14,8	14,8
1152	15,5	15,5
1153	57,9	57,9
1156	61,1	61,1
1157	21,2	21,2
1162	55,2	55,2
1163	21,5	21,5
1164	43,2	43,2
1165	11,9	11,9
1168	9,1	9,1
1170	44,4	44,4
1171	30,0	30
1172	33,7	33,7
1174	53,6	52,6
1175	16,5	19,9
1176	70,9	80,4
1177	32,2	32,2
1179	15,1	15,1
1185	22,0	22
1194	11,7	11,7
1200	96,8	96,8

Продолжение таблицы 2А.

1201	29,7	29,7
1202	17,0	17
1204	28,1	63,8
1205	63,8	46
1206	46,0	16,4

Таблица 3А - Агрохимические показатели исследуемых полей

Поле	Органич. Вещ-во %	pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	Сумма обменных оснований	Гидролитическая кислотность	Mg	Ca	Органич. Вещ-во %	pH	P ₂ O ₅	K ₂ O	Гидролитическая кислотность	Сумма обменных оснований	Mg	Ca
1132,0	2,1	5,5	204,0	93,0	8,2	1,4	6,4	1,1	2,0	5,8	166	65	2,1	15,2	1,8	8,6
1133,0	2,2	5,3	230,0	66,0	7,6	1,3	6,2	1,2	1,5	5,9	116	46	1,9	20,2	2,5	8,3
1134,0	1,2	4,7	200,0	101,0	5,8	1,0	3,4	0,3	1,3	5,6	100	53	1,8	15,2	1,7	10,3
1135,0	1,4	4,8	235,0	101,0	5,8	1,0	3,2	0,3	1,4	5,4	95	56	1,6	5,2	0,9	9,1
1139,0	2,3	5,4	181,0	296,0	7,6	1,3	8,2	1,3	1,8	4,8	213	158	1,4	5,2	0,7	6,2
1152,0	3,1	6,4	186,0	200,0	20,8	2,5	10,2	2,4	2,8	6,1	60	32	2,1	20,2	2,5	4,8
1153,0	1,5	4,9	266,0	101,0	5,8	1,0	8,0	0,6	1,5	5,7	110	80	1,8	15,2	1,8	10,3
1156,0	2,3	5,6	129,0	84,0	15,2	2,6	8,2	1,6	1,5	5,6	114	69	1,8	5,2	0,7	4
1157,0	2,0	5,1	235,0	149,0	6,8	1,2	5,8	0,4	1,9	5,6	126	91	1,8	5,2	0,6	8,6
1162,0	2,8	6,0	239,0	101,0	20,2	2,6	10,4	2,2	2,4	5,7	119	33	1,8	15,2	1,8	4
1163,0	3,1	6,7	330,0	53,0	21,2	3,1	10,6	2,6	2,5	6	168	84	2,1	20,2	2,5	3,9
1164,0	2,5	6,0	295,0	62,0	20,8	3,2	10,2	1,5	2,2	6,1	168	33	2,2	20,4	2,4	3,9
1165,0	2,3	5,2	165,0	68,0	6,8	1,2	7,0	0,4	2,2	5,6	156	70	1,8	15,1	1,8	8,6

Продолжение таблицы 3А.

1168,0	2,2	5,1	225,0	107,0	6,2	1,2	5,2	0,4	2,1	5,5	157	71	1,7	5,2	0,6	8,1
1170,0	2,8	6,2	288,0	117,0	20,2	3,4	10,6	2,4	2,4	6,1	117	89	2,1	20,4	2,5	3,5
1171,0	2,6	6,2	311,0	91,0	20,8	3,2	10,4	2,4	2,2	5,8	139	58	2,0	15,2	1,9	3,6
1172,0	2,2	5,7	379,0	113,0	15,4	2,6	5,8	1,2	1,8	5,2	90	45	1,6	5,2	0,8	3,5
1174,0	1,8	4,6	92,0	53,0	5,4	2,0	3,2	0,6	1,7	5	108	36	1,4	5,2	0,8	4
1175,0	1,3	4,7	131,0	47,0	5,2	2,0	3,6	0,7	1,4	5,7	78	39	1,8	15,2	1,8	5,1
1176,0	2,4	5,6	261,0	85,0	15,2	2,6	5,4	1,2	2,2	5,7	198	61	1,8	15,2	1,9	3,9
1177,0	2,8	6,2	285,0	68,0	20,2	2,4	10,6	2,2	2,2	5,5	138	77	1,8	5,2	0,6	4,3
1179,0	2,6	5,2	204,0	94,0	6,2	1,1	5,2	0,5	2,8	5,8	279	38	1,9	15,2	1,9	9,9
1185,0	2,8	5,5	197,0	73,0	15,4	2,6	6,6	0,7	2,5	5,5	133	35	1,8	5,2	0,6	3,9
1194,0	2,2	5,0	239,0	157,0	7,8	1,3	5,8	0,3	2,2	5,7	92	34	1,8	15,2	1,9	7,9
1200,0	2,2	5,2	180,0	77,0	8,2	1,4	5,4	0,4	2,0	5,4	170	30	1,7	5,4	0,6	6,9
1201,0	2,6	5,7	132,0	94,0	15,4	2,6	5,8	2,2	2,1	5,3	189	45	1,4	5,2	0,7	3,1
1202,0	2,2	5,2	303,0	83,0	8,4	1,4	6,2	0,3	2,1	5,5	215	33	1,8	5,2	0,6	7,3
1204,0	3,2	6,3	245,0	80,0	20,8	3,2	10,4	2,6	3,0	6,1	87	46	2,2	20,2	2,7	3,9
1205,0	2,4	5,5	344,0	70,0	7,8	1,3	5,2	0,6	2,3	6	78	50	2,1	20,4	2,6	9,2
1206,0	3,2	5,9	281,0	69,0	20,8	3,2	10,4	2,2	3,0	6,2	147	59	2,3	20,2	2,4	4,1

