

Парниковые газы на контроле. Что может предложить космос?

Возможности данных дистанционного зондирования Земли для уточнения сведений для расчетов

Темы:

- Законодательные и методологические основания
- Подсчет эмиссии углерода
- Категории земель для подсчета эмиссии углерода
- Изменения в типах земной поверхности
- Изменения в эмиссии (депонировании)

Один из самых обсуждаемых вопросов в мировом сообществе – это проблема глобального потепления, вызванного увеличением концентрации парниковых газов в атмосфере. Отслеживание и контроль их выбросов являются крайне важными задачами для предотвращения катастрофических изменений климата и поддержания экологического равновесия на планете.

Эксперты включают в [список парниковых газов](#): углекислый газ (CO₂), метан (CH₄), закись азота (N₂O), синтетические химические вещества, озон (O₃) и водяной пар.

Ранее специалисты АО «ТерраТех» провели [картографирование выбросов метана](#) с использованием данных спутниковой съемки.

Интерес к теме контроля парниковых газов неуклонно растет. Этому способствует общественное и экономическое давление на частные компании и государства по всему миру. Подогревают этот интерес проявления явных последствий глобального потепления, вызванного чрезмерным накоплением тепла в приземных слоях атмосферы. В значительной степени это обусловлено воздействием парниковых газов, препятствующих уходу тепла из атмосферы Земли.

Среди наиболее явных последствий глобального потепления — [смена погодных условий](#), рост частоты природных катастроф разрушительных масштабов. Подобные изменения негативно сказываются на [биоразнообразии](#), [продовольственной безопасности](#). Неустанно растет число [климатических беженцев](#).

Законодательные и методологические основания

Снижению выбросов парниковых газов посвящено [Парижское соглашение](#). Для достижения его целей каждая сторона обязана разработать план действий по сокращению выбросов и адаптации экономики к изменению климата. Страны-участники устанавливают целевые показатели сокращения объемов выбросов парниковых газов и периодически отчитываются об их изменении.

В рамках Парижского соглашения в России утверждена [Стратегия](#) долгосрочного развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. Согласно этой Стратегии, в нашей стране разрабатывается система мониторинга, отчетности и проверки объемов выбросов парниковых газов не только на уровне организаций, но и по субъектам РФ, которым рекомендуется начать

организацию инвентаризации выбросов и поглощений парниковых газов на своей территории.

На основании [Концепции формирования системы мониторинга, отчетности и проверки объема выбросов парниковых газов в Российской Федерации](#) 2015 года, стартовала разработка и [апробация](#) региональных кадастров парниковых газов в отдельных субъектах РФ. Эти кадастры представляют собой свод сведений, которые систематизируют описание выбросов и поглощений парниковых газов. Описания основаны на официальной статистической информации.

Официальные данные содержатся в Росреестре, Федеральном агентстве лесного хозяйства, отчетах Минсельхоза о полях и их засеянности, онлайн-порталах органов местного самоуправления, Реестре выбросов парниковых газов. Но у некоторых из этих данных длительный период обновления, в течение которого происходит много изменений в землеустройстве — появляются санкционированные и незаконные вырубки, ветровалы, свалки ТКО и прочие объекты. Они могут быть не учтены как из-за задержек в оформлении, так и из-за незаконности своего возникновения. Поэтому значения объемов выбросов и поглощения парниковых газов после подсчетов могут оказаться неточными.

2 июля 2021 года вступил в силу Федеральный закон, согласно которому объемы выбросов парниковых газов обязаны [отслеживать все регионы РФ](#). Поэтому важно улучшать механизмы контроля углеродной эмиссии и сбора актуальных данных.

Полезным инструментом в контроле парниковых газов являются данные дистанционного зондирования. Использование спутниковых снимков открывает новые возможности для мониторинга и анализа эмиссии углерода. Главные преимущества ДДЗ в контексте обсуждаемой проблемы – это точные, объективные и оперативно обновляемые данные, которые можно получить на любую территорию планеты.

Для удобства подсчетов специалистами используется общепринятый CO₂-эквивалент. Он рассчитывается для каждого газа из списка парниковых

в зависимости от степени негативного воздействия и срока жизни в атмосфере.

Подсчет эмиссии углерода

Объемы эмиссии и поглощения парниковых газов зависят от типа земной поверхности, её функциональных особенностей. Методика количественной оценки выбросов утверждена [Приказом Минприроды от 27.05.2022 №371 \(«Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощения парниковых газов»\)](#). Для количественной оценки эмиссии и поглощения парниковых газов (в CO₂-эквиваленте) каждым из типов поверхности были использованы специальные формулы, представленные в [методике](#). В данном исследовании выполнен расчет эмиссии углерода для разных типов земной поверхности на примере Переславского муниципального района Ярославской области. Исходные данные получены путем автоматизированной классификации спутникового снимка на базе алгоритмов искусственного интеллекта.

Далее проведено сравнение результатов вычислений на основе информации из официальных источников и полученной при обработке данных ДДЗ.

Категории земель для подсчета эмиссии углерода

Для оценки эмиссии были определены следующие категории земель:

- Земли лесного фонда
- Осушенные и естественные болота
- Земли сельхозназначения
- Населенные пункты
- Водный фонд
- Земли промышленности, энергетики, транспорта, связи

По формулам количественной оценки эмиссии парниковых газов получены упрощенные показатели удельной эмиссии и поглощения

парниковых газов на гектар. Формулы представлены в [методике](#) определения выбросов и учитывают парниковые газы в общепризнанном CO₂-эквиваленте.

Итоговый расчет производился для каждого типа земной поверхности в границах Переславского муниципального района в т/га в год.

Удельная эмиссия для земель различных категорий

| Категория земель | Удельная эмиссия (т/га в год) | Тип поверхности | | Удельная эмиссия (т/га в год) |
|--|-------------------------------|--|------------------|-------------------------------|
| Земли водного фонда | 1,6 | Водно-болотные угодья | Водоёмы | 1,6 |
| Осушенные болота | 10,8 | | Осушенные болота | 10,8 |
| Болота | -2,7 | | Болота | -2,7 |
| Земли лесного фонда (искл. болота) | -6,4 | Хвойные леса (ель и сосна) | | -5,5 |
| | | Мелколиственные леса (береза, осина и т.п.) | | -7,3 |
| Земли сельскохозяйственного назначения | 60,9 | Пашни | | 60,9 |
| | -1,08 | Травянистая растительность (залежь, пастбище, сенокос) | | -1,08 |
| Земли транспорта, промышленности и пр. | 4,6 | Объекты дорожного хозяйства | | 4,6 |

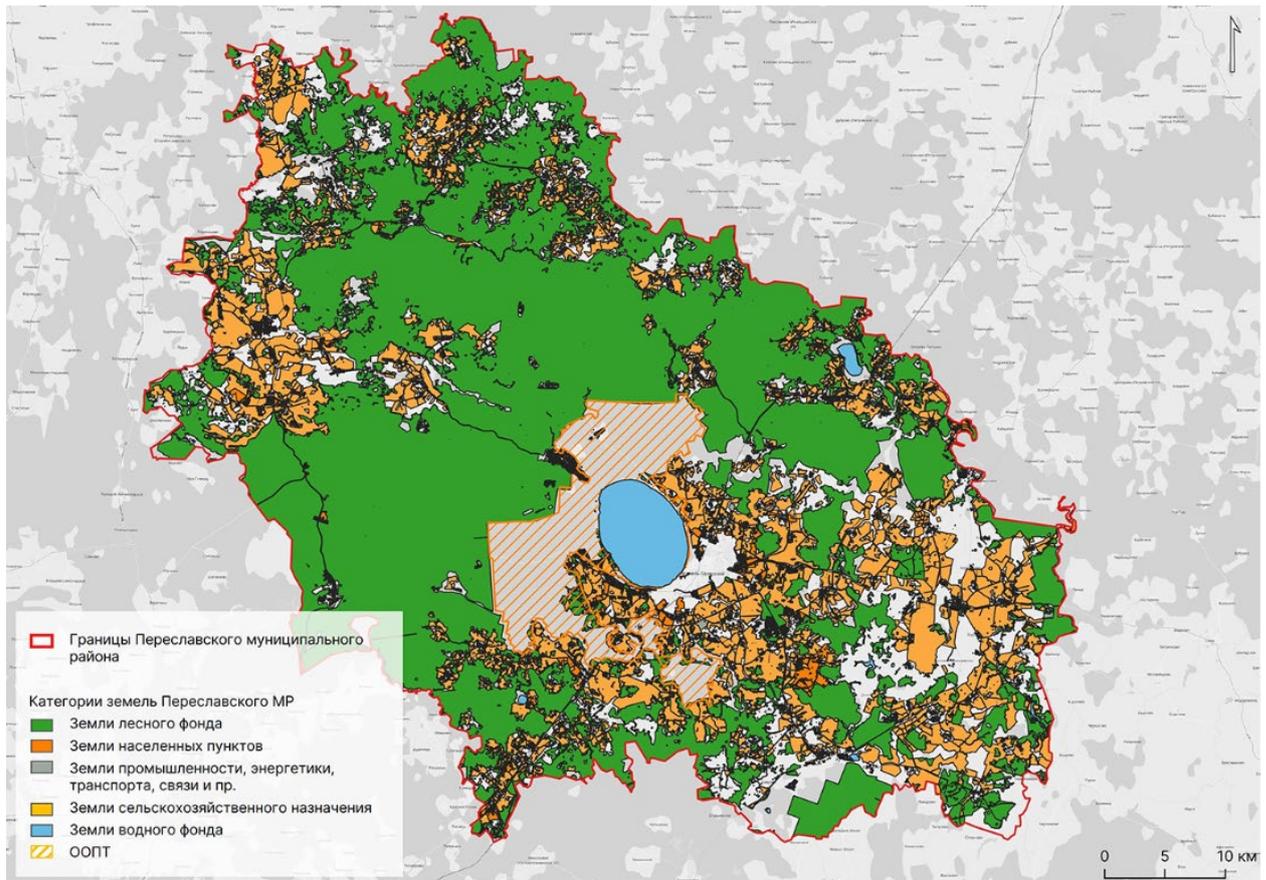
При расчете удельной эмиссии для земель разных категорий учитывались особенности их разделения по типу подстилающей поверхности.

Так, водно-болотные угодья были подразделены на водоёмы, естественные и осушенные болота. Удельная эмиссия для них рассчитывалась отдельно. Общая площадь болот составляет 36,6 тыс. га, в соответствии со [справочным кадастром торфяных болот](#) Переславского муниципального района.

Для земель лесного фонда использовалось усредненное значение удельной эмиссии для хвойных и мелколиственных лесов из-за отсутствия в официальных источниках точной информации о породном составе леса.

Для земель сельскохозяйственного назначения вычисления велись с учетом разделения на пашни и травянистую растительность (включающую в себя пастбища, сенокосы, залежные земли). Площадь пашен была получена на основании данных [Сельхоз портала](#).

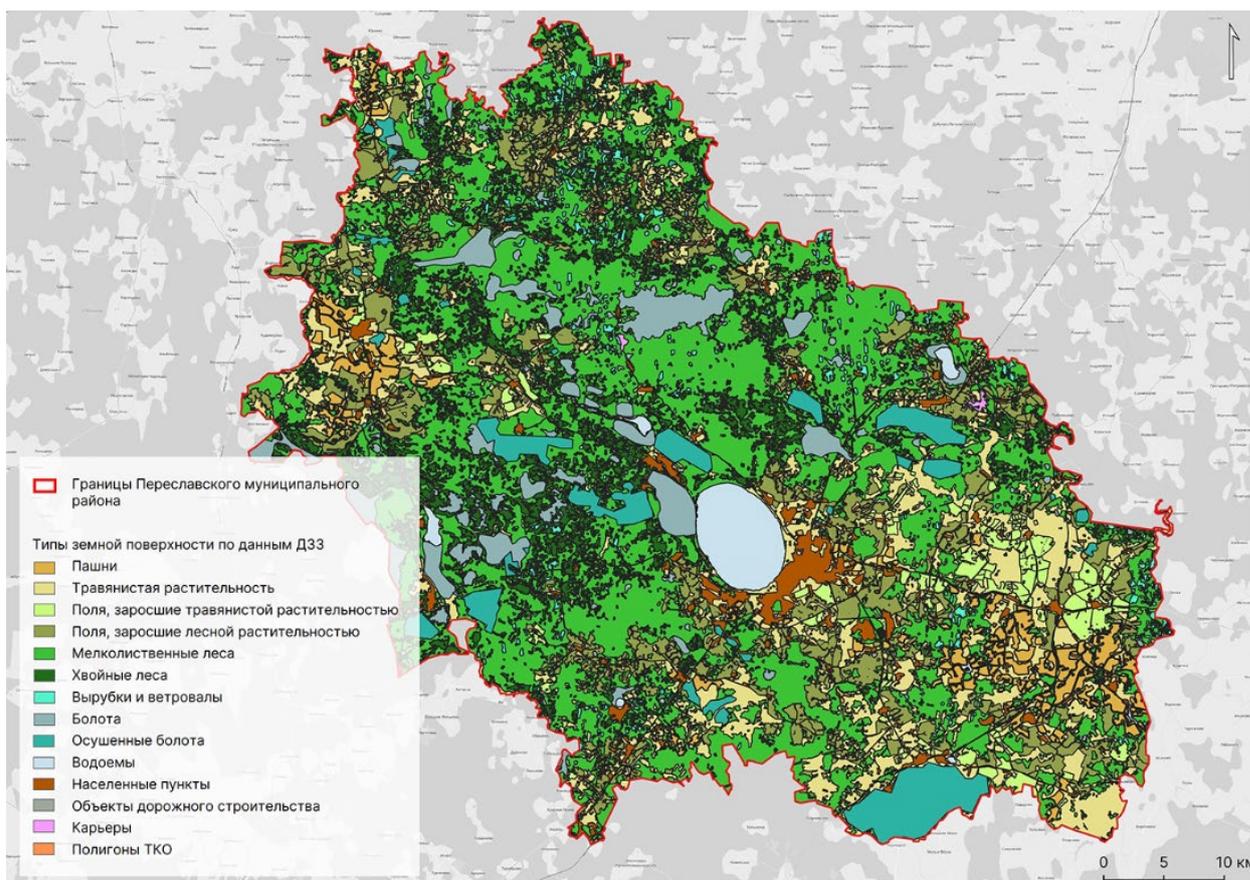
Для городов и прочих населенных пунктов расчеты объемов эмиссии парниковых газов не производились. Заселенные территории представляют собой многокомпонентную неоднородную среду с различными предприятиями, на которые приходится значительная доля выбросов, а открытых данных по ним зачастую нет.



Категории земель Переславского муниципального района по официальным данным

Информация о категориях земель получена из [обоснования схемы Территориального планирования](#) Переславского муниципального района Ярославской области и других официальных источников данных ([Росреестра](#)).

Нейросетевые алгоритмы, разработанные специалистами АО ТерраТех, дочерней компании АО «Российские космические системы» (РКС, входит в Госкорпорацию «Роскосмос»), позволяют оперативно получать классы объектов земной поверхности в том числе с использованием спутниковых снимков с российских космических аппаратов (например, Канопус-В).



Типы земной поверхности Переславского муниципального района по данным ДДЗ

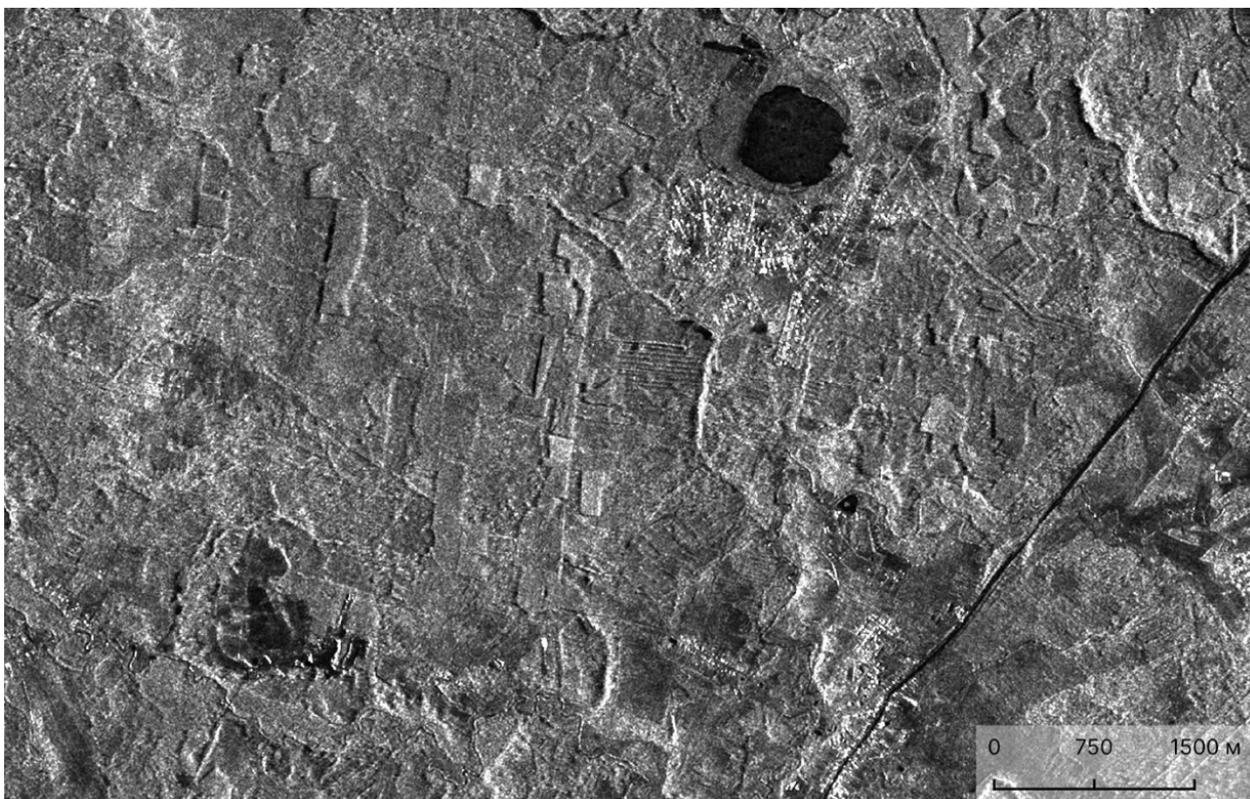
Классификация спутникового снимка на типы земной поверхности, соответствующие классам в [приказе Минприроды](#) выполнена нейросетевыми алгоритмами ИИ. В Переславском муниципальном районе встречаются следующие типы земной поверхности: пашни, травянистая растительность (куда входят пастбища, сенокосы, залежные земли), хвойные леса, мелколиственные леса, водно-болотные угодья (болота, осушенные болота, водоёмы), объекты дорожного хозяйства, карьеры, населенные пункты, полигоны ТКО, вырубки и ветровалы, заросшие поля.

Дополнительно были выявлены изменения в типах земной поверхности за последние 5 лет.

Радиолокационная съемка – не только для космоса, но и для Земли

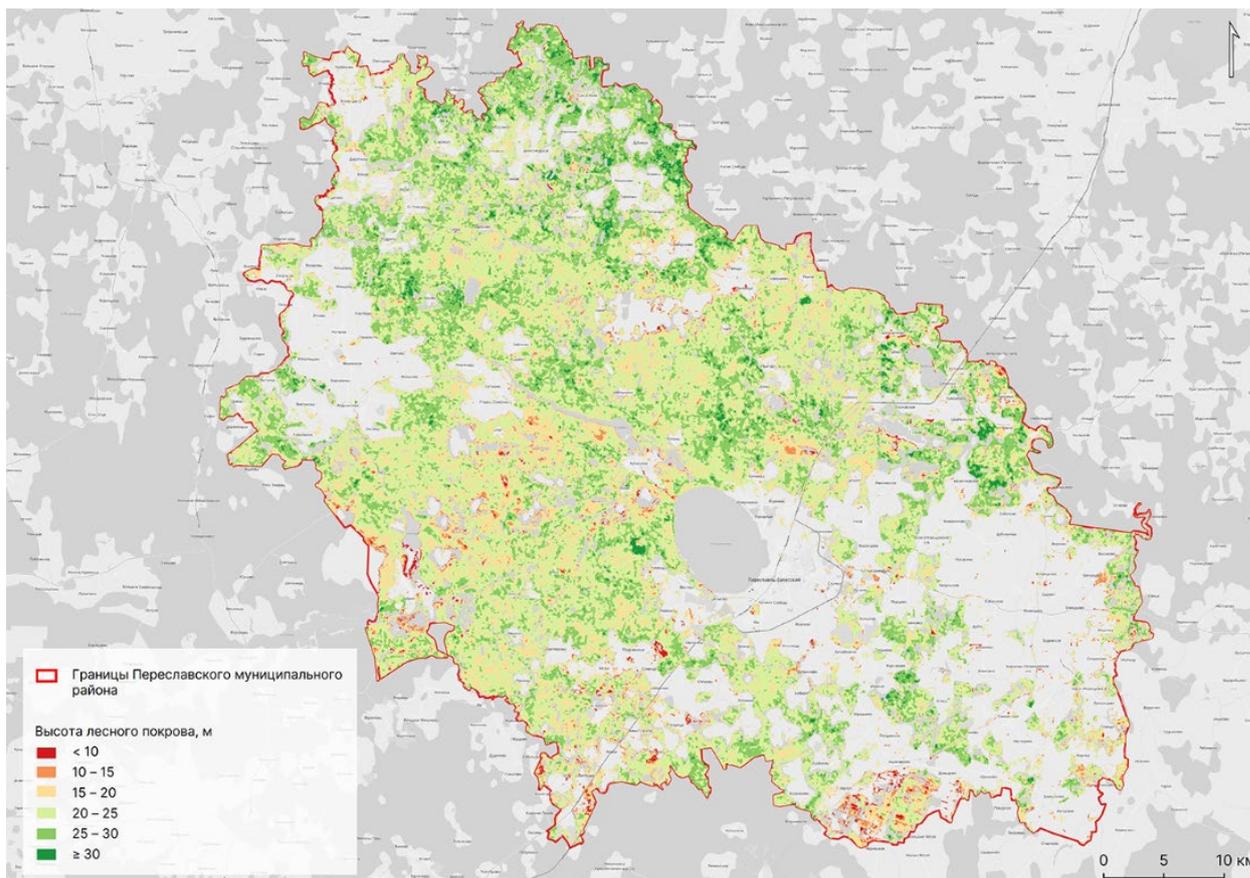
По разработанной АО «ТерраТех» методике в качестве дополнительного инструмента для выделения типов земной поверхности выступают данные радиолокационной съемки (РЛС).

Радиолокационные снимки принципиально отличаются от оптических изображений по физическим свойствам. Они основаны на измерении и анализе радиоволн, в то время как оптические изображения создаются на основе ультрафиолетового, видимого и инфракрасного диапазонов электромагнитного излучения. Радиоволны проникают сквозь атмосферные препятствия. Им не помеха ни облака, ни дождь, ни туман, что обеспечивает РЛС уникальными возможностями получения данных о земной поверхности при любых погодных условиях.



Космоснимок PCA от 28.02.2024

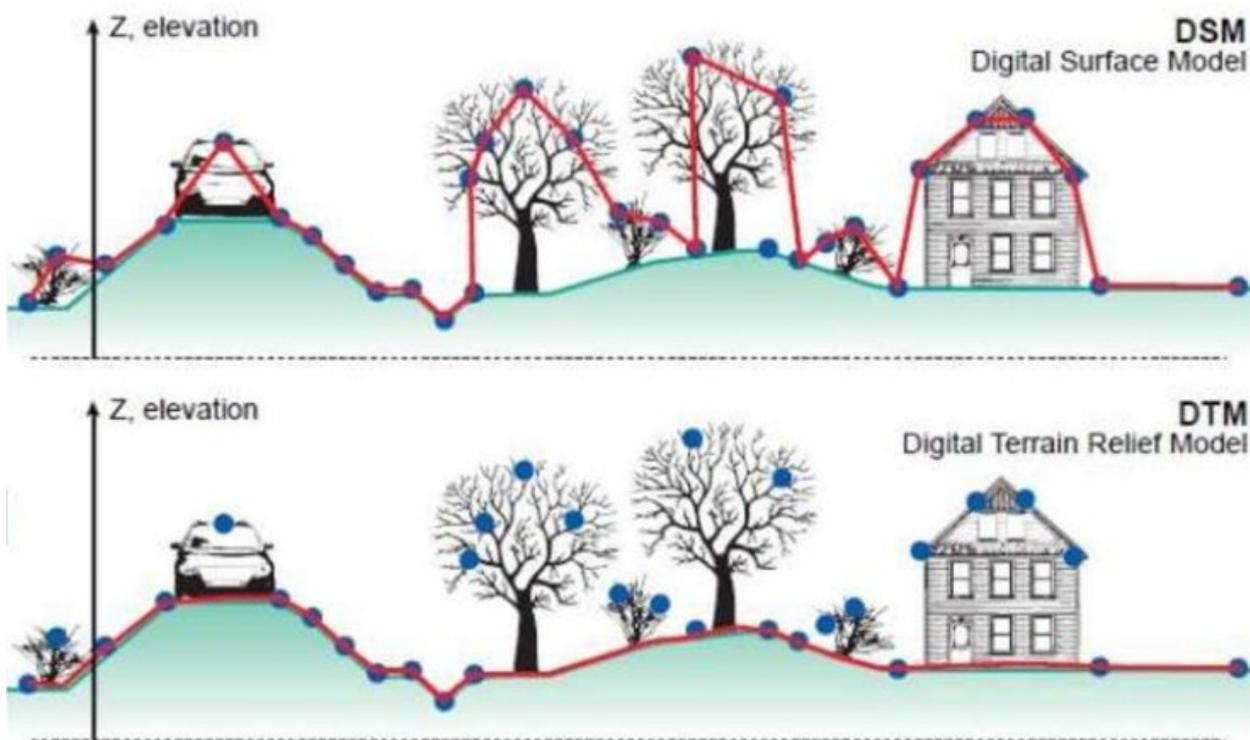
При расчете поглощения углекислого газа древесной растительностью используется множество параметров, в том числе породный состав древостоя, его возраст и высота. В данном исследовании по радиолокационной съемке определялись высоты растительного покрова.



Высота растительного покрова по РЛС

Высота растительного покрова вычислялась по цифровой модели местности (ЦММ). Далее на основе ЦММ рассчитана цифровая модель рельефа (ЦМР). Разница между ними заключается в том, что ЦММ представляет собой значения высот наземных объектов, сканируемых со спутника, а ЦМР — высоты поверхности земли. Вычитание высот ЦМР из ЦММ позволяет получить высоту объектов на местности.

ЦММ vs ЦМР

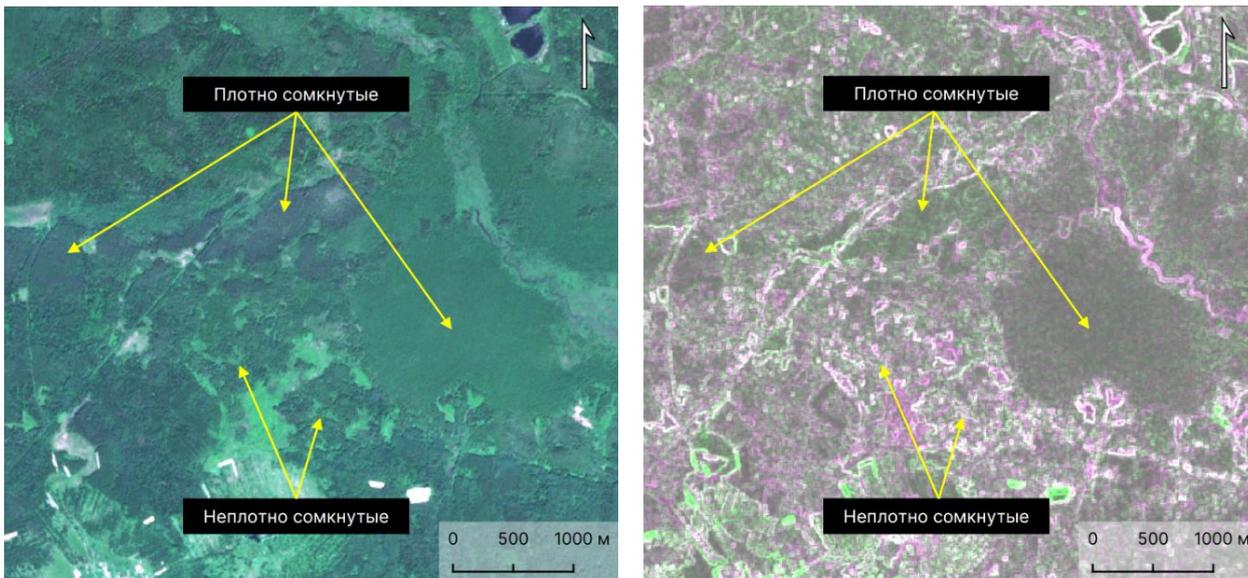


Различия ЦММ и ЦМР

Для получения ЦММ использовалась интерферометрическая обработка радиолокационных снимков. Съёмка производится в С-диапазоне, который обладает низкой проникающей способностью, что позволяет получить значения высот сканируемых объектов с высокой точностью.

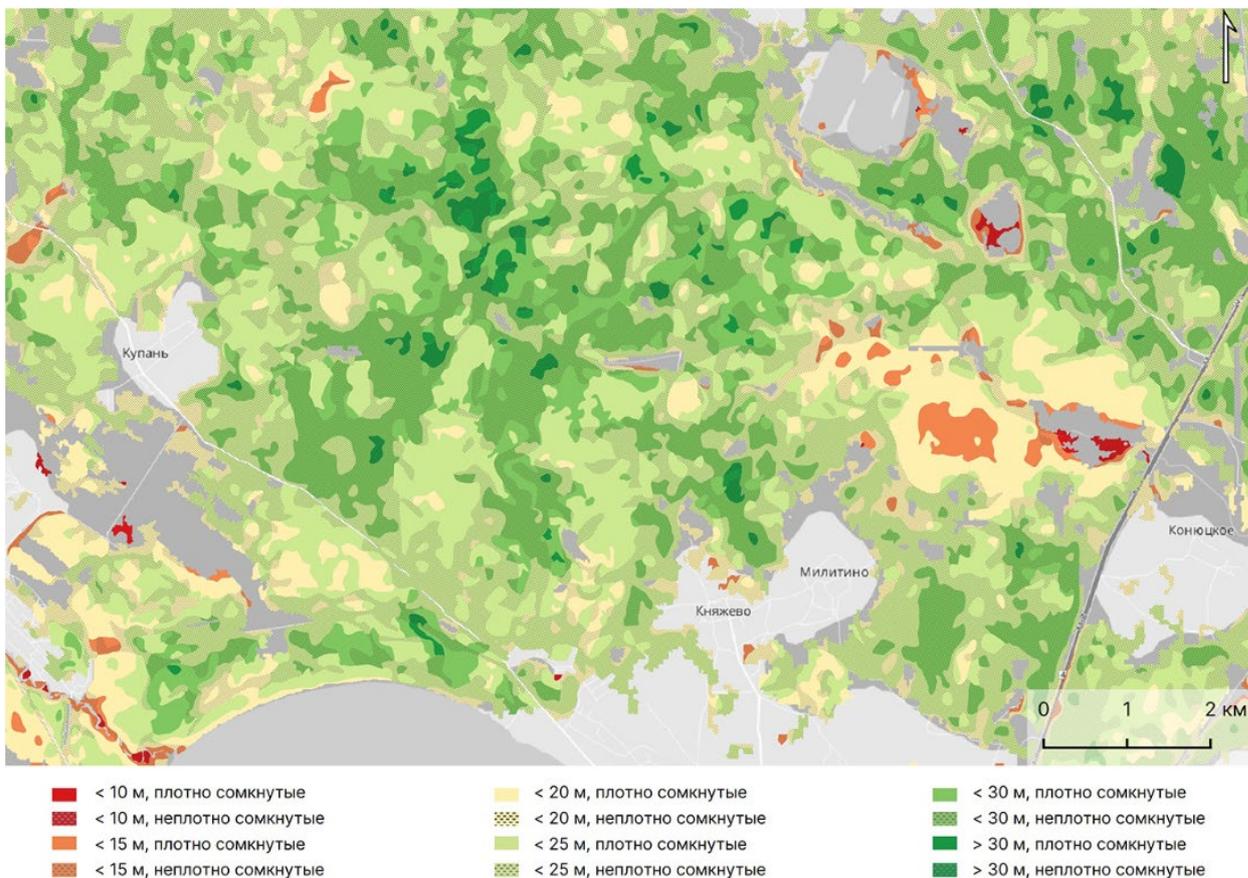
Карты распространения древесно-кустарниковой растительности и относительной полноты лесов [используются](#) для оценки запаса углерода в древесной биомассе экосистем. В ИКИ РАН такие карты [предоставляются](#) на всю Российскую Федерацию. Они составлены с помощью данных низкого пространственного разрешения и могут быть использованы для обзорных региональных оценок.

По текстурным признакам оптических данных была произведена классификация лесов по типу сомкнутости крон на плотно сомкнутые и неплотно сомкнутые.



Сомкнутость крон лесных насаждений

В результате совмещения этих данных лесная растительность была дополнительно разделена по типу сомкнутости крон и по высоте древостоя на 12 классов.



Сомкнутость крон лесных насаждений

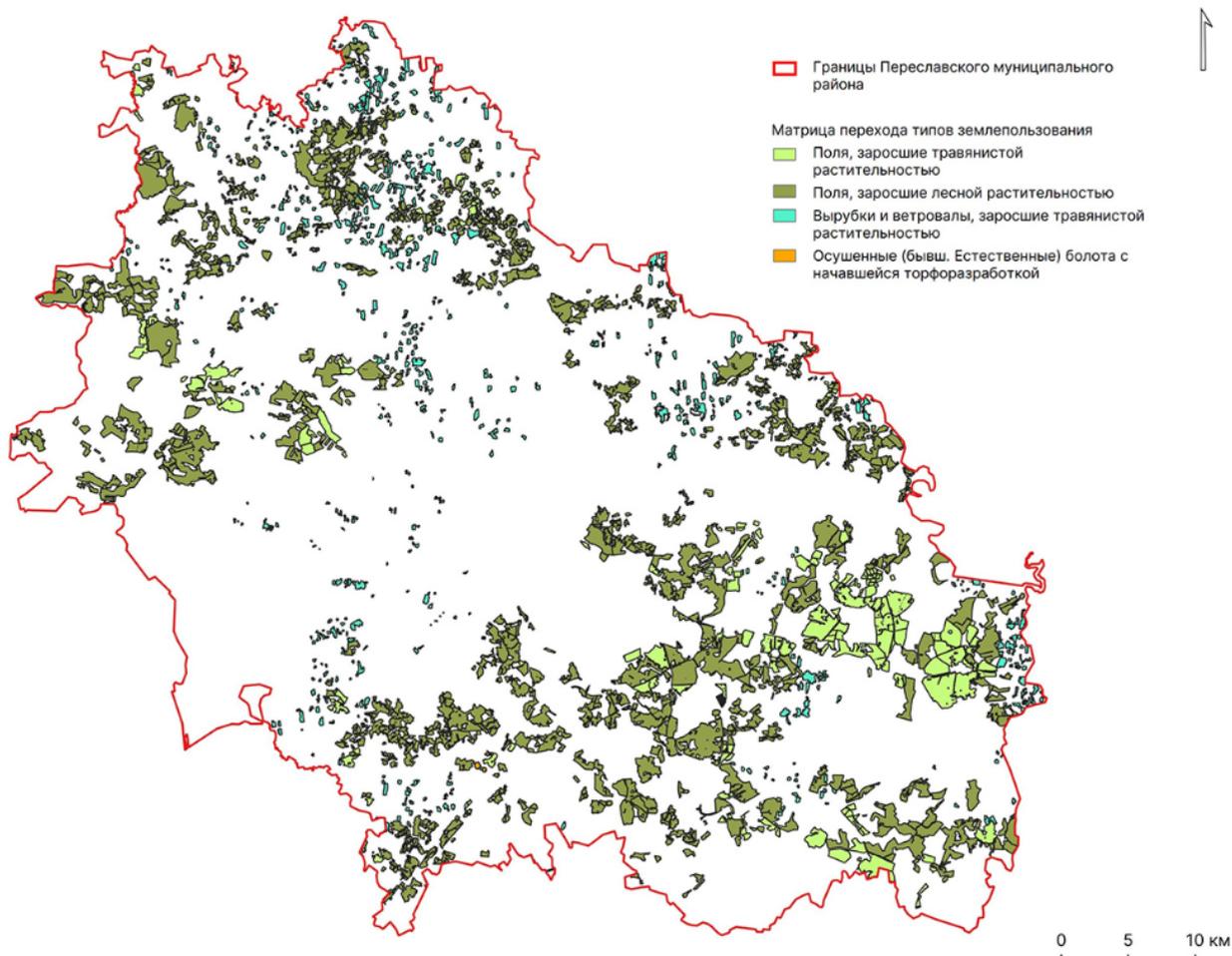
Изменения в типах земной поверхности

Космическая съемка позволяет фиксировать изменения в имеющихся типах земной поверхности оперативно или за определенный период времени. Например, появление вырубок, ветровалов в лесах, образование стихийных свалок ТКО, карьеров и застройки новых площадей. По ДДЗ определяются точные границы объектов, производится мониторинг увеличения их площади.

Фиксация изменений по снимкам высокого (2 м/пикс) пространственного разрешения позволила составить матрицу переходов между типами землепользования. Она показывает переход одного класса объектов в другой.

Так, были выявлены вырубки и ветровалы, появившиеся в районе исследования за 5 лет на месте мелколиственных и хвойных лесов. Часть болот, находящихся в естественном состоянии, была осушена. На них выявлены торфоразработки.

Также удалось отметить изменения в землях сельскохозяйственного назначения. Выделены поля, зарастающие древесной или травянистой растительностью.



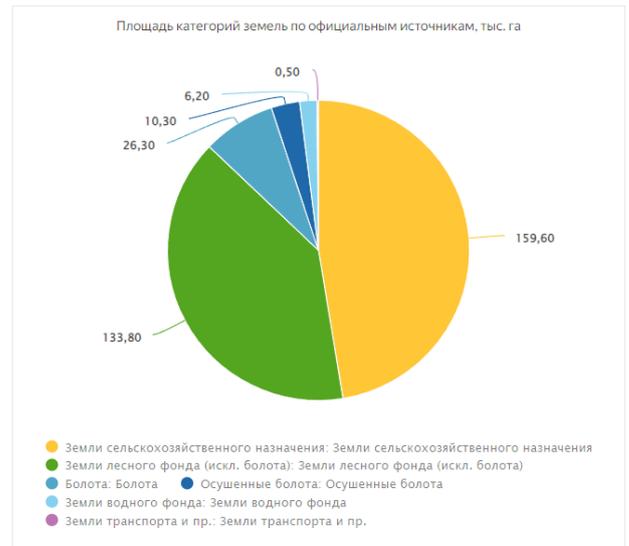
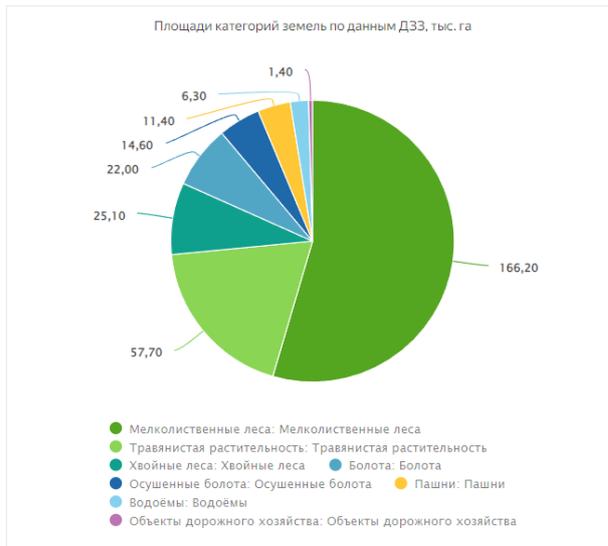
Изменения затронули 45,6 тыс. га земель сельскохозяйственного назначения. Из них 36,5 тыс. га полей заросло лесной (древесной) растительностью и 9,2 тыс. га — травянистой растительностью.

Площадь хвойных и мелколиственных лесов из-за вырубок и ветровалов сократилась на 0,8 тыс. га и 4,9 тыс. га соответственно. На месте утраченного древостоя появилась травянистая растительность суммарной площадью 5,7 тыс. га.

Для торфоразработок за 5 лет осушено 22,3 га естественных болот.

Тема

Ниже приведены соотношения категорий земель в исследуемой области, полученные разными способами: 1) с использованием классификации данных ДЗЗ; 2) из официальных источников.



Типы земной поверхности, полученные с помощью классификации спутникового снимка, соотнесены с категориями земель из официальных источников. Площади мелколиственных и хвойных лесов, полученные с помощью ДДЗ, соответствуют официальной категории «Земли лесного фонда». А травянистая растительность и пашни относятся к категории «Земли сельскохозяйственного назначения».

Дополнительно на основе ДДЗ были выделены такие типы земной поверхности как полигоны ТКО, карьеры, вырубки и ветровалы, зарастающие поля, населенные пункты.

При расчете эмиссии углерода на основе данных из официальных источников и с применением ДДЗ были получены следующие результаты:

| Категория земель | Эмиссия официальная тыс. т/год (CO ₂ – эквивалент) | Разница эмиссий, тыс. т./год (CO ₂ – эквивалент) | Эмиссия по ДДЗ, тыс. т./год (CO ₂ – эквивалент) | Тип поверхности |
|------------------------|---|---|--|--|
| Болота | -71 | 11,6 | -59,4 | Водно-болотные угодья |
| Осушенные болота | 111,2 | 46,5 | 157,7 | |
| Водные | 9,1 | 1 | 10,1 | |
| Лесные (искл. болота) | -806 | -545,9 | -138,3 | Хвойные леса (ель и сосна) |
| | | | -1213,6 | Мелколиственные леса (береза, осина, пр.) |
| Сельскохоз. назначения | 9719,6 | -9086,3 | 695,7 | Пашни |
| | | | -62,4 | Травянистая растительность (залежь, пастбище, сенокос) |
| Земли транспорта и пр. | 3,3 | 2,9 | 6,2 | Объекты дорожного хозяйства |
| ИТОГО | 8966,2 | -9570,2 | -604 | |

В Переславском муниципальном районе Ярославской области при расчете по площадям категорий землепользования из официальных

источников данных эмиссия парниковых газов недоучитывается для: осушенных болот, болот, земель транспорта, земель водного фонда. Самый существенный недоучет наблюдается у осушенных болот.

При этом переоценка эмиссии парниковых газов наблюдается в случае с землями лесного фонда (исключены болота) и сельскохозяйственного назначения. Сельскохозяйственная категория земель имеет самые высокие показатели переоценки.

В обоих случаях расчета эмиссии максимальное депонирование парниковых газов характерно для земель лесного фонда (хвойных, мелколиственных лесов). А максимальные выбросы — для земель сельскохозяйственного назначения (пашни и травянистая растительность).

Эмиссия парниковых газов, рассчитанная по данным из официальных источников, составила 8966,2 тыс. т/га. Отрицательные итоговые значения эмиссии углерода на основе ДДЗ показывают, что для района характерно поглощение углерода.

В основном разница оценок связана с тем, что к настоящему времени большое количество пашен заросло травянистой и лесной растительностью.

Использование ДДЗ высокого разрешения позволяет оценить площадь, тип и параметры лесной растительности с большой точностью, а также оценить тип и статус осушенных болот. Во вторичном обводнении осушенных болот и восстановлении их естественного состояния кроется существенный потенциал уменьшения эмиссии парниковых газов. Например, если обводнить 14,6 тыс. га осушенных болот, то они будут поглощать дополнительно 39,4 тыс. т углерода в год. А суммарная эмиссия сократится на 197,1 тыс. т/год.

Изменения в эмиссии (депонировании)

Основные изменения в эмиссии парниковых газов на исследуемой территории связаны с уменьшением площади лесов в пользу травянистой растительности в результате вырубок и ветровалов, зарастанием полей травянистой и древесно-кустарниковой растительностью (рассматривались

изменения за последние 30 лет), а также с появлением новых участков осушения болот и торфодобычи на них.

По полученным данным ДДЗ вырубки и ветровалы встречаются на этой территории и в хвойных, и в мелколиственных лесах. В пределах вырубок и ветровалов вместо древостоя на спутниковых снимках дешифрируется травянистая растительность. Ранее возделываемые сельскохозяйственные поля к настоящему времени заросли мелколиственной древесной и травянистой растительностью. Естественные болота перешли в тип осушенных из-за ведения торфоразработок.

Вычисление эмиссии парниковых газов проведено повторно с учётом этих изменений.

| Тип земной поверхности до перехода | Тип земной поверхности после перехода | Площадь изменений, тыс. га | Разница эмиссий тыс. т/год (CO ₂ – эквивалент) |
|------------------------------------|---|----------------------------|---|
| Хвойный лес | Вырубки и ветровалы, заросшие травянистой растительностью | 0,8 | 3,5 |
| Мелколиственный лес | Вырубки и ветровалы, заросшие травянистой растительностью | 4,9 | 30,5 |
| Пашни | Поля, заросшие травянистой растительностью | 9,2 | -570,18 |
| Пашни | Поля, заросшие древесной растительностью | 36,49 | -2488,6 |
| Естественные болота | Осушенные болота | 0,02 | 0,3 |
| ИТОГО: | | 51,41 | -3024,48 |

Динамичные изменения на рассматриваемой территории привели к изменению значения ежегодной эмиссии. В результате обнаруженных изменений эмиссия парниковых газов суммарно сократилась на 3024,5 тыс. т/год.

Самое большое сокращение эмиссии наблюдается при переходе возделываемых сельскохозяйственных земель (пашен) в поля, заросшие древесной растительностью.

Возможности платформы «Цифровая Земля» в контроле эмиссии парниковых газов

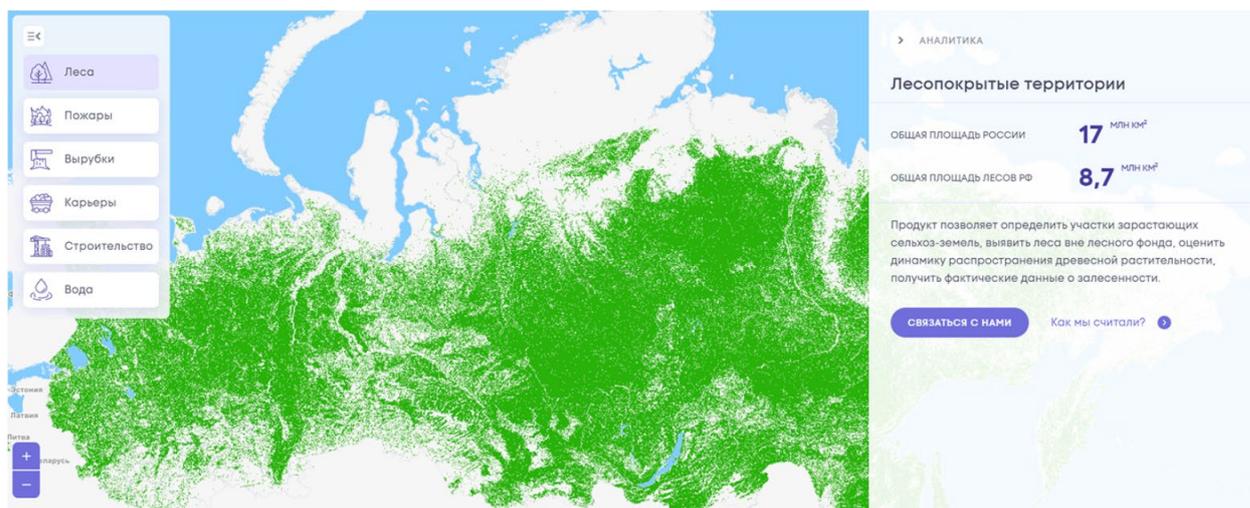
Применение данных дистанционного зондирования Земли и нейросетевых алгоритмов позволяет оперативно проводить вычисления эмиссии парниковых газов в масштабах всей страны. Такую возможность

предоставляет геосервис [«Цифровая Земля»](#). «Цифровая Земля» — это платформа для масштабного анализа данных дистанционного зондирования Земли. С её помощью пользователи могут работать с данными через веб-портал индивидуально или в группе.

В качестве ДДЗ используются спутниковые снимки отечественных космических аппаратов «Канопус-В» с пространственным разрешением в панхроматическом режиме 2,1 м и 10,5 м в мультиспектральном, «Ресурс-П» с разрешением 0,8 м и 2,4 м соответственно, а также снимки, находящиеся в открытом доступе (например, Sentinel-2 с пространственным разрешением от 10 до 60 м).

Обработка данных включает в себя использование нейронных сетей и статистических алгоритмов. Также проводится экспертный контроль для обеспечения точности.

Основными пользователями платформы являются органы исполнительной власти и представители крупного и среднего бизнеса. В открытом доступе для широкого круга лиц опубликована общедоступная информация. При необходимости есть возможность получить дополнительную информацию на платной основе.



[Интерфейс раздела «Россия в цифрах» платформы «Цифровая Земля»](#)

В вопросе исследования эмиссии парниковых газов открываются большие перспективы с помощью платформы «Цифровая Земля».

В будущем будет возможно рассчитывать эмиссию парниковых газов не только для одного района, но и для любой интересующей территории.

Появление новых видов продукции на основе ДДЗ и нейросетевых алгоритмов, которые лягут в основу вычислений, позволят заметно упростить этот сложный процесс, гарантируя результаты высокой точности. С помощью данных платформы получится оперативно контролировать процесс эмиссии парниковых газов и при необходимости принимать точечные меры для борьбы с чрезмерными выбросами.

Выводы

Исследование эмиссии углерода в границах Переславского муниципального района Ярославской области показало, что наблюдается переоценка выбросов парниковых газов по площадям категорий земель из официальных источников по сравнению с фактическими значениями, полученными с использованием ДДЗ. Выбросы в населенных пунктах (со свалок и т.д.) при этом не учитывались.

Наиболее перспективными объектами в регулировании эмиссии являются осушенные болота, которые можно приводить к естественному состоянию путем вторичного обводнения и таким образом снижать эмиссию углерода.

Самые большие значения поглощения углерода соответствуют лесной растительности — не зря леса называют «легкими планеты».

Главная особенность применения ДДЗ в подобном исследовании — это детальные и актуальные данные, благодаря которым можно точно и оперативно отслеживать эмиссию парниковых газов, фиксировать её изменения, разрабатывать решения для регулирования выбросов. Это особенно важно в контексте климатических проблем, с которыми столкнулось современное общество.