



VI Международная научная конференция
МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СЕТИ НАЗЕМНЫХ ПРОБНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ДЛЯ ТЕСТОВЫХ ПОЛИГОНОВ В РАМКАХ НАЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ НА ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Гаврилюк Е.А., Князева С.В., Ершов Д.В.

**Центр по проблемам экологии и
продуктивности лесов РАН**
г. Москва, Россия

Минск-Лясковичи, Беларусь, 9-13 октября 2023 года

ВВЕДЕНИЕ

29 октября 2022 г. Председателем Правительства Российской Федерации, М. В. Мишустинным, подписано распоряжение № 3240-р об утверждении **важнейшего инновационного проекта государственного значения «Единая национальная система мониторинга климатически активных веществ».**

Цель проекта:

Разработать национальную систему мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации на основе интеграции данных наземного мониторинга, данных дистанционного зондирования различного разрешения, математического моделирования.

Задачи проекта:

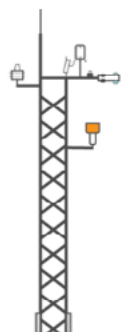
- **Создание сети мониторинга** пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России на основе стандартизированной инфраструктуры мирового уровня;
- **Создание признанных на международном уровне методов интеграции данных** наземных измерений, дистанционного зондирования и математического моделирования для оценки пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России;
- **Создание единой информационно-аналитической системы** для сбора, хранения, обработки и анализа данных мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России;
- **Разработка прогнозов динамики** пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России при разных сценариях землепользования и изменений климата.

СЕТЬ МОНИТОРИНГА И ИНТЕГРАЦИЯ ДАННЫХ

Наземные измерения

Эколого-климатические станции:

- измерение потоков парниковых газов (CO_2 , CH_4 , N_2O , H_2O);
- метеорологические наблюдения.



Сеть пробных площадей:

- видовой состав растительности;
- продуктивность;
- параметры горизонтальной и вертикальной структуры;
- характеристики почв;
- характеристики напочвенного покрова.

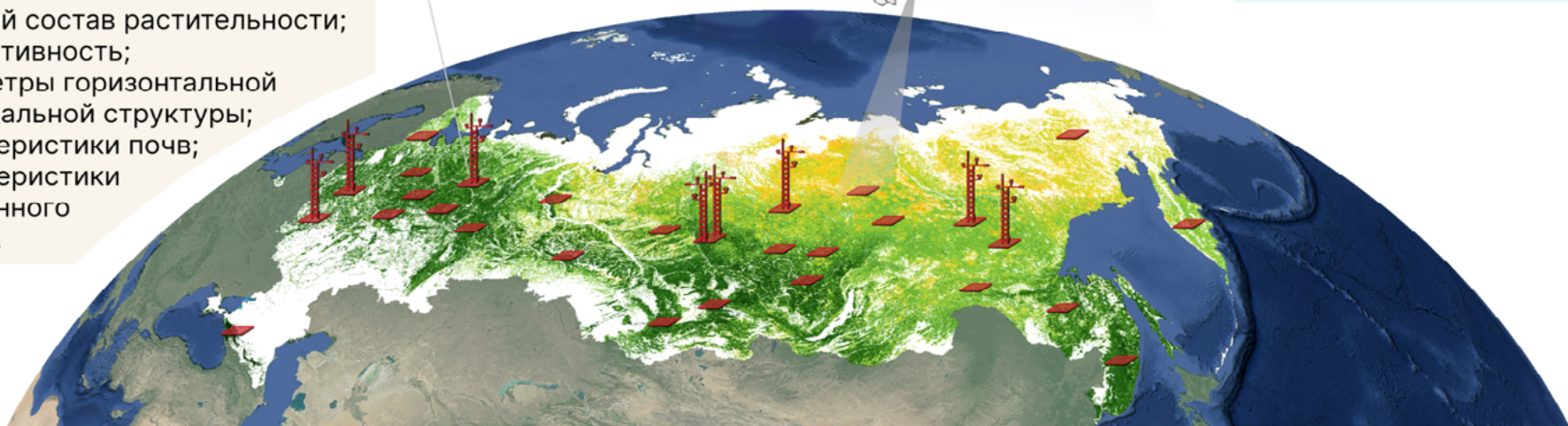
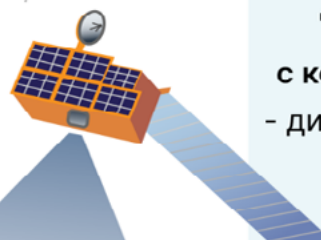
Моделирование



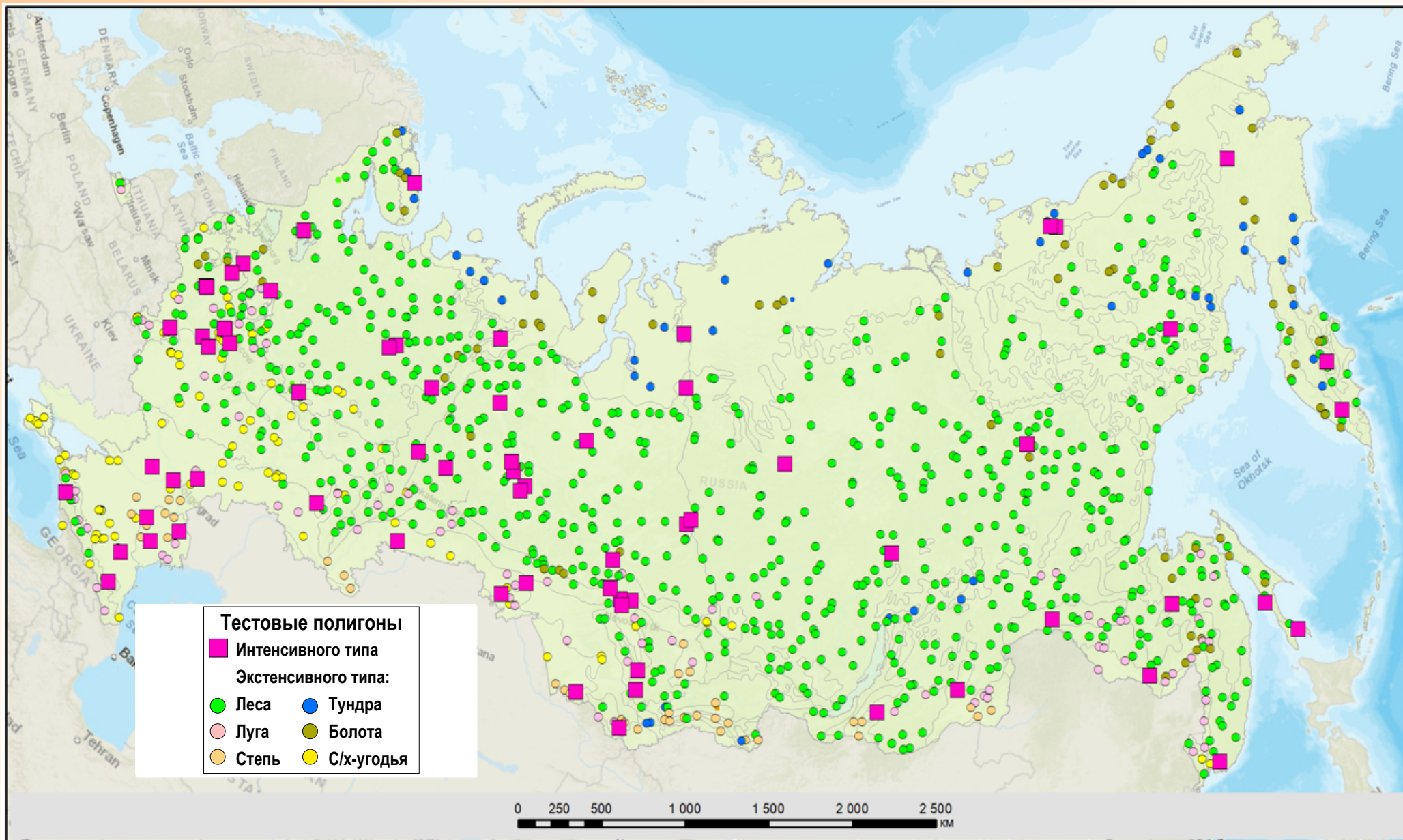
Дистанционное зондирование

Дистанционный мониторинг наземных экосистем с космических спутников и БПЛА:

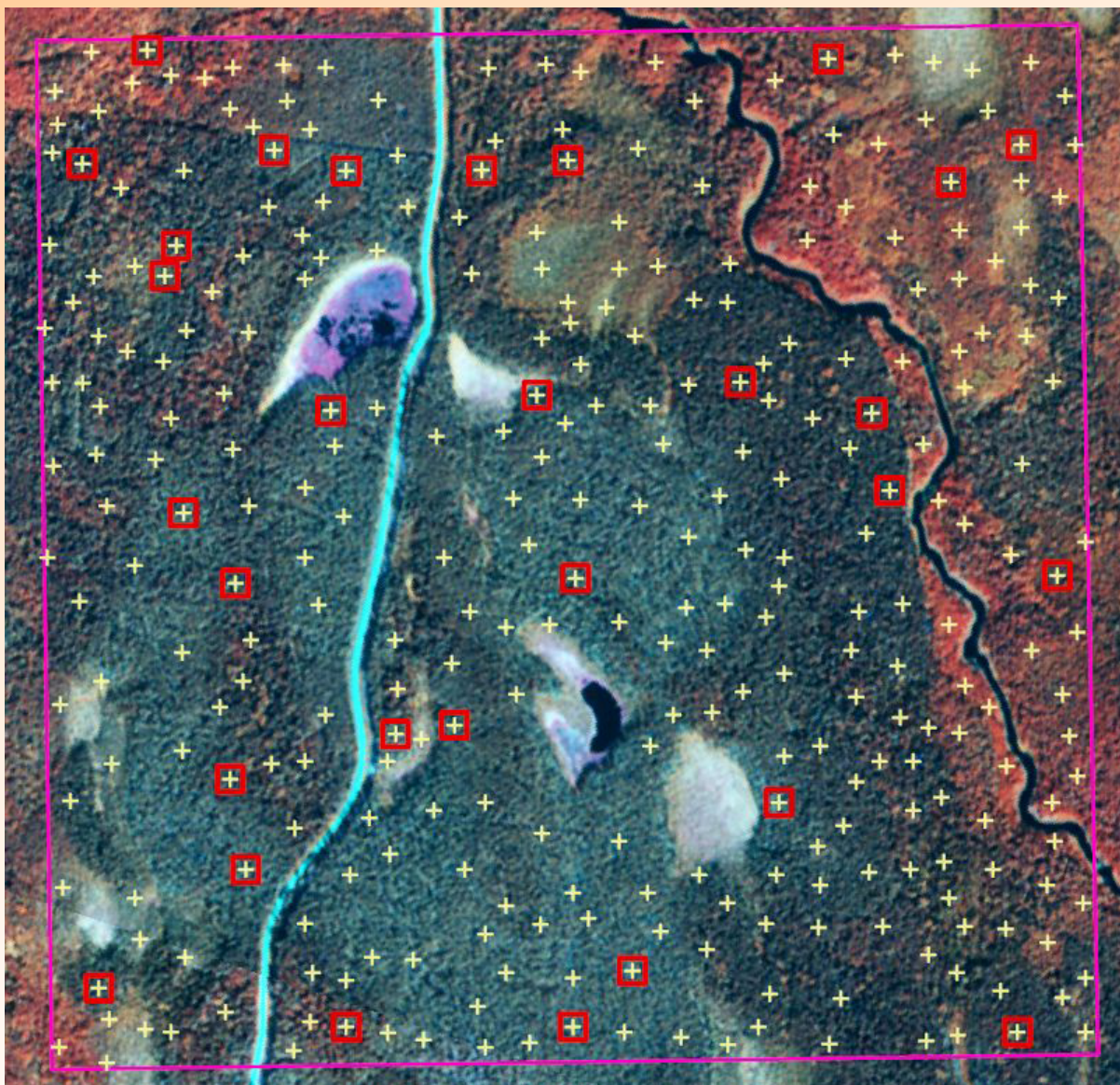
- динамическое картографирование типов наземных экосистем;
- мониторинг динамики характеристик растительного покрова;
- оценка воздействия негативных факторов;
- динамическое картографирование запасов углерода в наземных экосистемах.



ПРОЕКТ СЕТИ ТЕСТОВЫХ ПОЛИГОНОВ



ПРИМЕР ТЕСТОВОГО ПОЛИГОНА



500 м

Кивачский НП

Различные материалы спутниковой и аэросъемки высокой и сверхвысокой детальности в сочетании с наземными пробными площадями (ПП) двух видов:

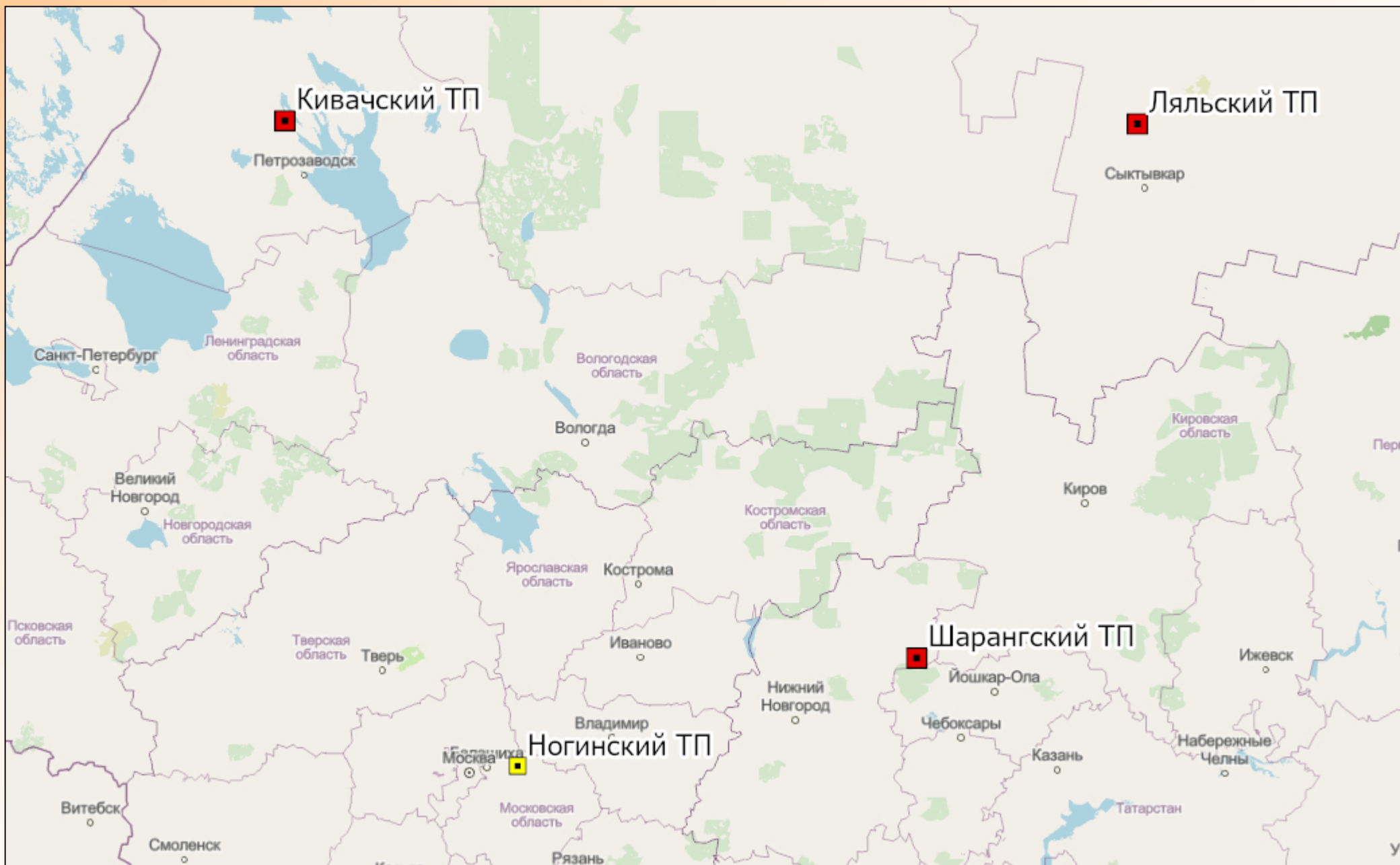
+ Рекогносцировочные (РПП)

Круговые площадки постоянного или переменного радиуса, которые закладываются из расчета (не более) 1 ПП на 1 га для экспресс-оценки характеристик лесов на территории полигона и выбора мест закладки постоянных ПП.

□ Постоянные (ППП)

Прямоугольные площадки площадью не менее 0.25 га, которые закладываются из расчета ~10% от числа РПП для детальных измерений показателей необходимых для оценки пулов углерода лесной экосистемы.

ЛЕСНЫЕ ТЕСТОВЫЕ ПОЛИГОНЫ 2023



ОБЩАЯ МЕТОДИКА ПРОЕКТИРОВАНИЯ

I Проектирование расположения РПП

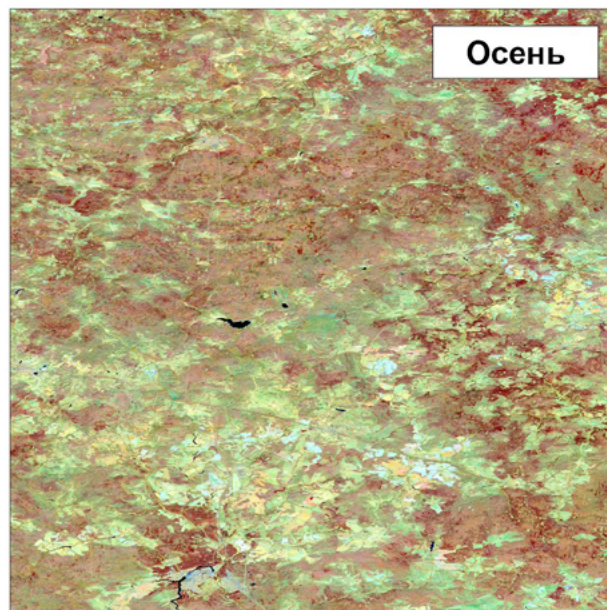
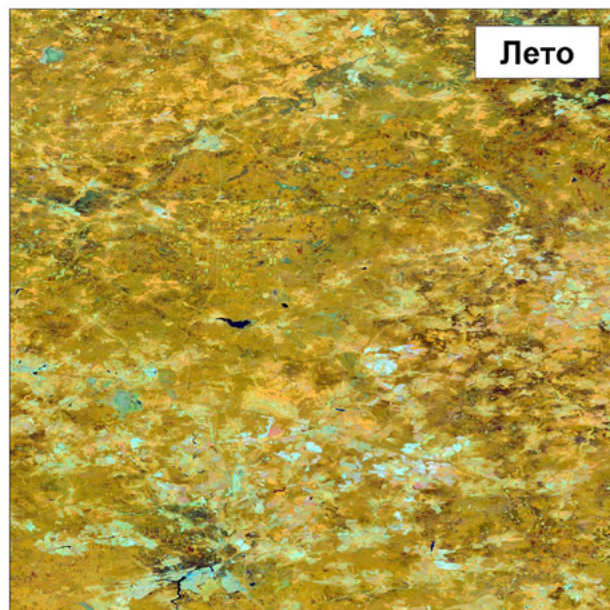
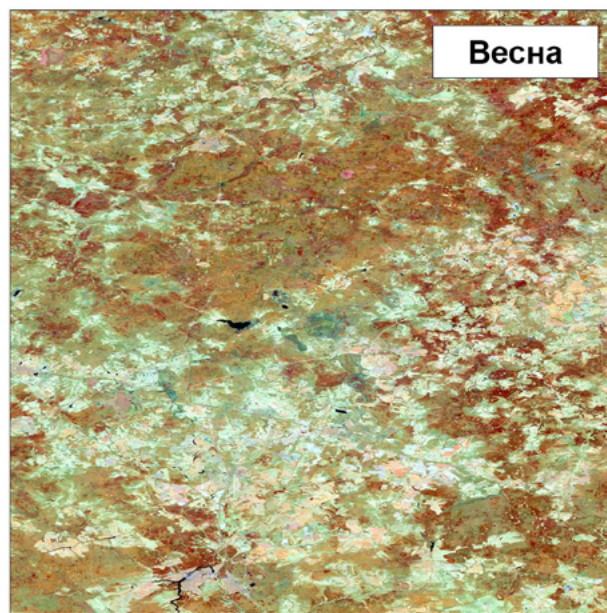
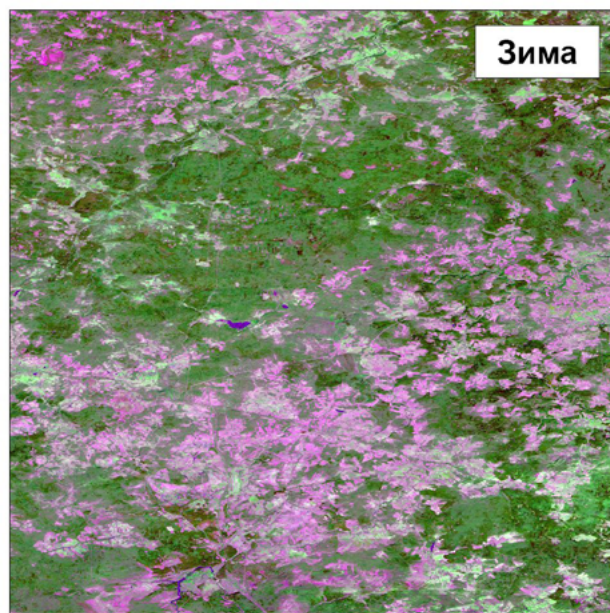
- 1) Подготовка исходных данных ДЗЗ на территорию ТП;
- 2) Стратификация территории ТП по основным типам наземного покрова;
- 3) Преобразование сформированного набора исходных данных в признаки для последующей сегментации;
- 4) Автоматическая пространственная сегментация территории ТП;
- 5) Размещение прототипов центров РПП в границах полученных сегментов.

II Проведение полевых работ на РПП и первичная обработка результатов

III Проектирование расположения ППП

- 1) Распределение РПП по комплексным группам на основе типологических характеристик;
- 2) Распределение запланированного количества ППП по сформированным комплексным группам;
- 3) Разбивка комплексных групп на подгруппы по числу выделенных ППП на основе потенциального распределения запасов углерода;
- 4) Определение РПП с наиболее характерными значениями показателей, полученных в результате наземных обследований, для каждой выделенной подгруппы.

ПОДГОТОВКА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ ДЗЗ



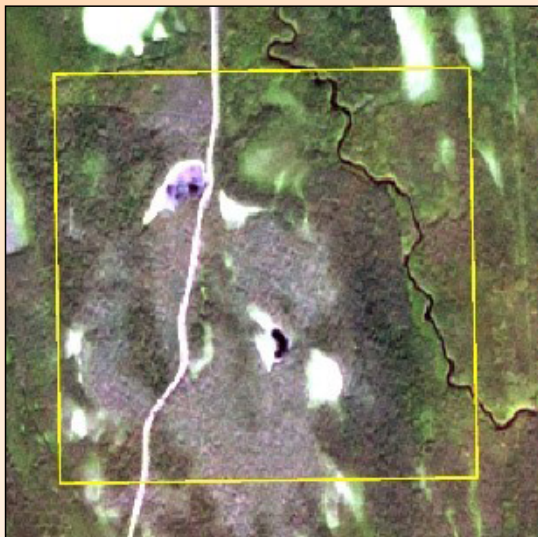
Временная серия **разносезонных** мультиспектральных оптических спутниковых композитных изображений из снимков с аппаратов серии **Sentinel-2**:

4-8 композитов по 10 спектральных каналов видимого, ближнего и среднего инфракрасного диапазонов с **пространственным разрешением 10-20 м**

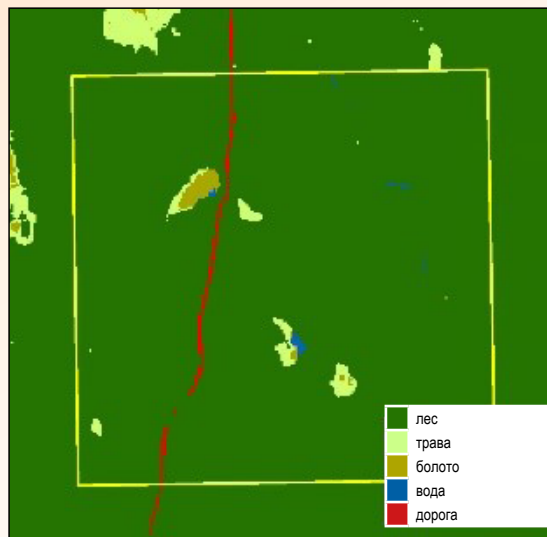
Альтернатива – материалы детальной **беспилотной съемки** (ортофотопланы и данные лазерного сканирования)

СТРАТИФИКАЦИЯ ПО ТИПАМ НАЗЕМНОГО ПОКРОВА

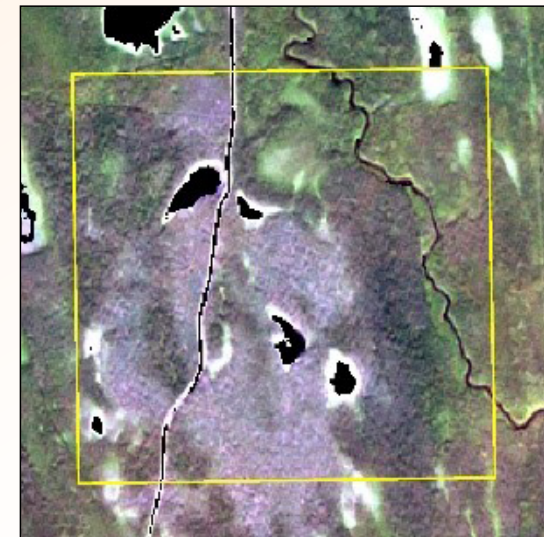
Спутниковые
компози́ты



Тематическая
карта



Отмаскированные
спутниковые
компози́ты

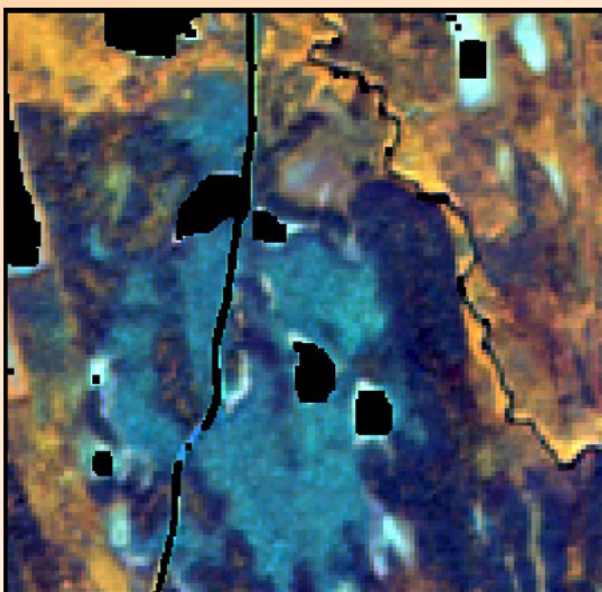


Для стратификации могут быть использованы:

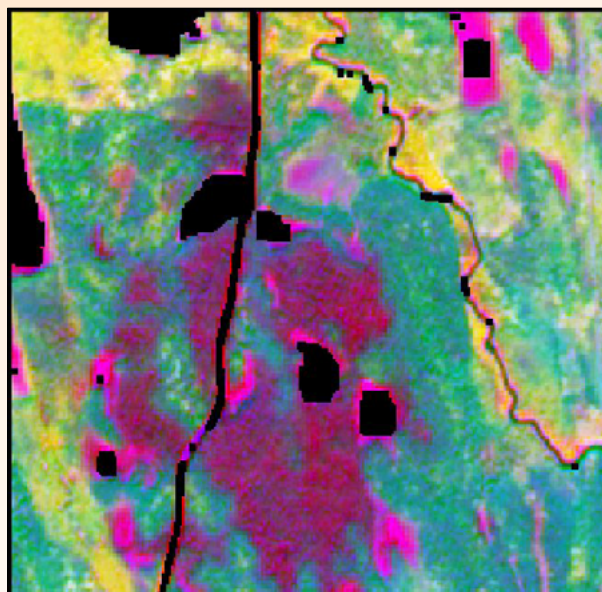
- общедоступные глобальные тематические продукты (ESA WorldCover, Dynamic World);
- имеющиеся локальные карты (при условии их достаточной актуальности и детальности);
- результаты тематической классификации спутниковых компози́тов.

ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И СЕГМЕНТАЦИЯ

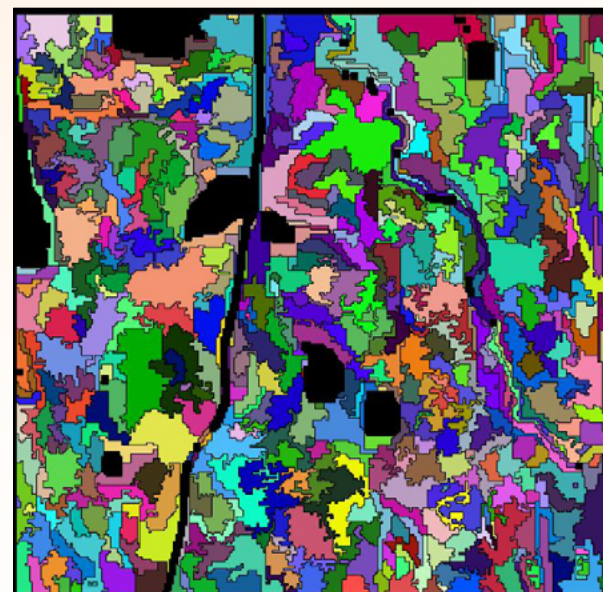
Отмаскированные
спутниковые
композиции



Анализ главных
компонент



Автоматическая
мультимасштабная
сегментация



Метод автоматической сегментации должен:

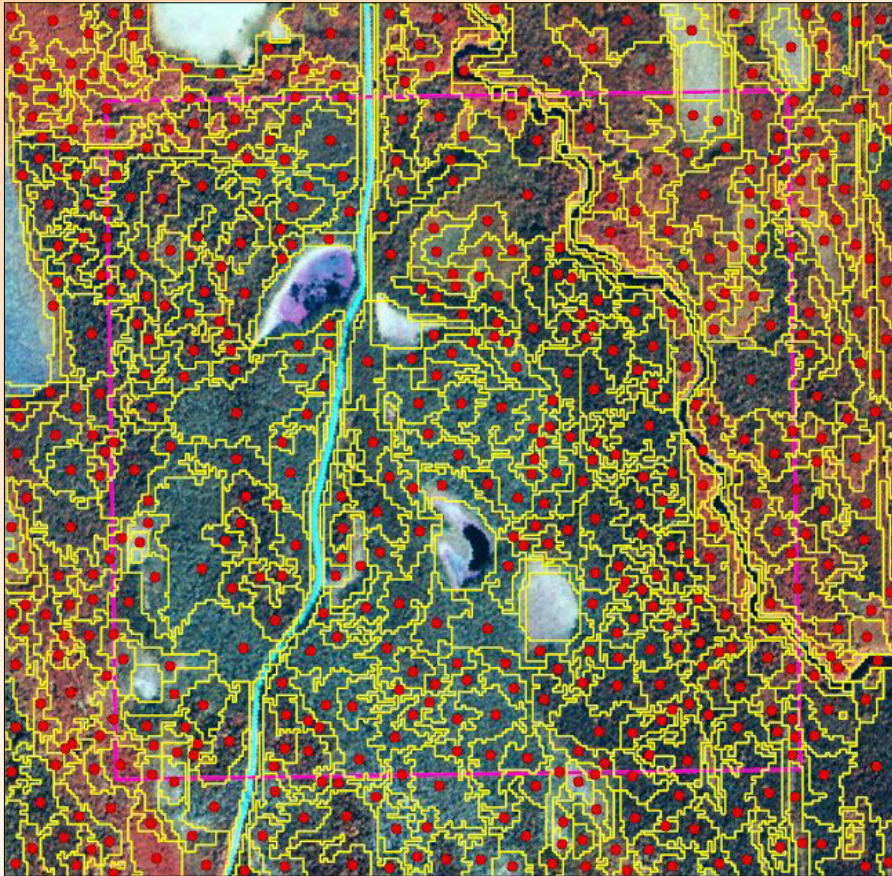
- явно параметризоваться либо через **средний размер**, либо через **количество сегментов**;
- иметь функционал (или возможность адаптации) для сегментации **многомерных изображений**.

Известные алгоритмы, имеющие готовую программную реализацию:

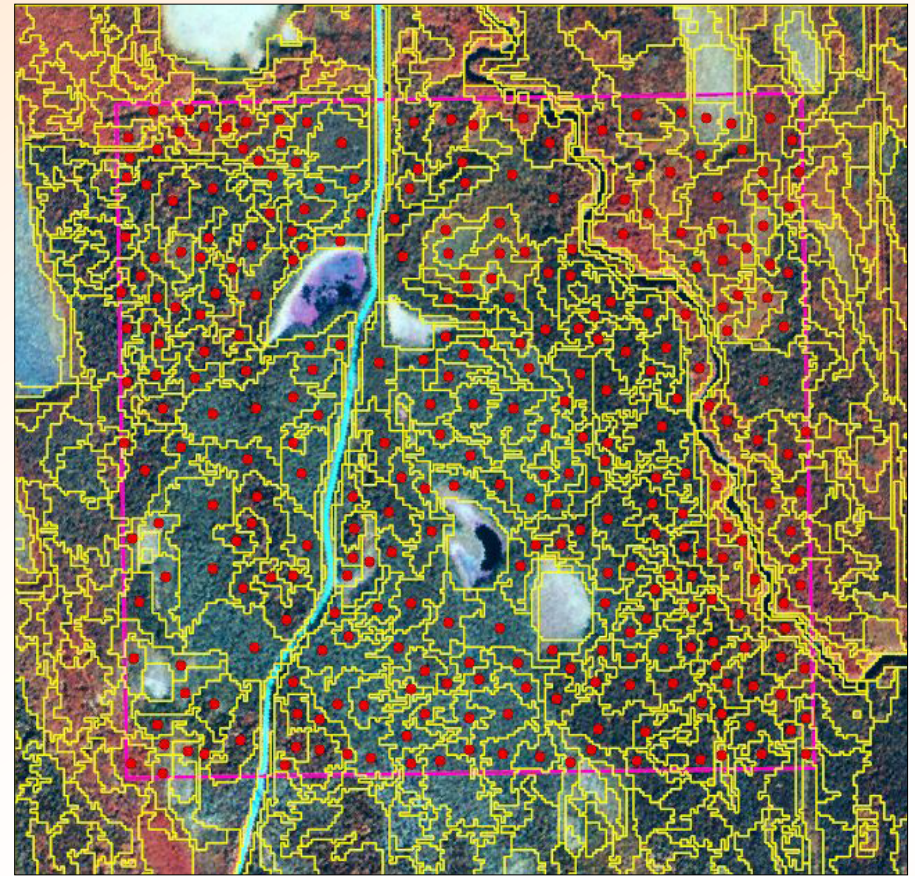
Full Lambda Schedule (FLS) и **Simple Linear Iterative Clustering (SLIC)**

РАЗМЕЩЕНИЕ ЦЕНТРОВ РПП

Автоматическое размещение



Корректировка в ручном режиме



Размещение прототипов центров РПП осуществляется по результатам комплексного геопространственного анализа, целью которого является определение наиболее типичных по своим спектральным характеристикам участков внутри сегментов.

ПОЛЕВЫЕ ДАННЫЕ С РПП

Таксация:

Запас и сопутствующие характеристики древостоя по ярусам и элементам леса, обобщенная информация о подросте, подлеске, валеже и пнях.

Геоботаника:

Проективное покрытие видов по ярусам и общая характеристика площадки – положение в рельефе, наличие нарушений различного характера и другие особенности.

Почвы:

Мощность подстилки и верхних подгоризонтов, тип почвы, гранулометрический состав, каменистость, следы углей.

Методики полевых работ:

<https://ritm-c.ru/results/methods/>



ГРУППИРОВКА РПП ПО ТИПОЛОГИИ

№ РКП	Позиция в рельефе	Тип почвы	Тип напочвенного покрова	Тип древесной растительности	Комплексная типологическая группа
1	Автоморфная	Подзол	Кустарничково-зеленомошный	Сосняк	1
2	Автоморфная	Подзол	Кустарничково-зеленомошный	Ельник	2
3	Автоморфная	Подзол	Кустарничково-зеленомошный	Сосняк	1
4	Автоморфная	Пелозем	Травяной	Мелко-лиственный	3
5	Транзитная	Пелозем	Травяной	Мелко-лиственный	4
6	Транзитная	Пелозем	Травяной	Мелко-лиственный	4
7	Аккумулятивная	Перегноино-глеевая	Травяно-сфагновый	Сосняк	5
8	Аккумулятивная	Перегноино-глеевая	Травяно-сфагновый	Сосняк	5
...

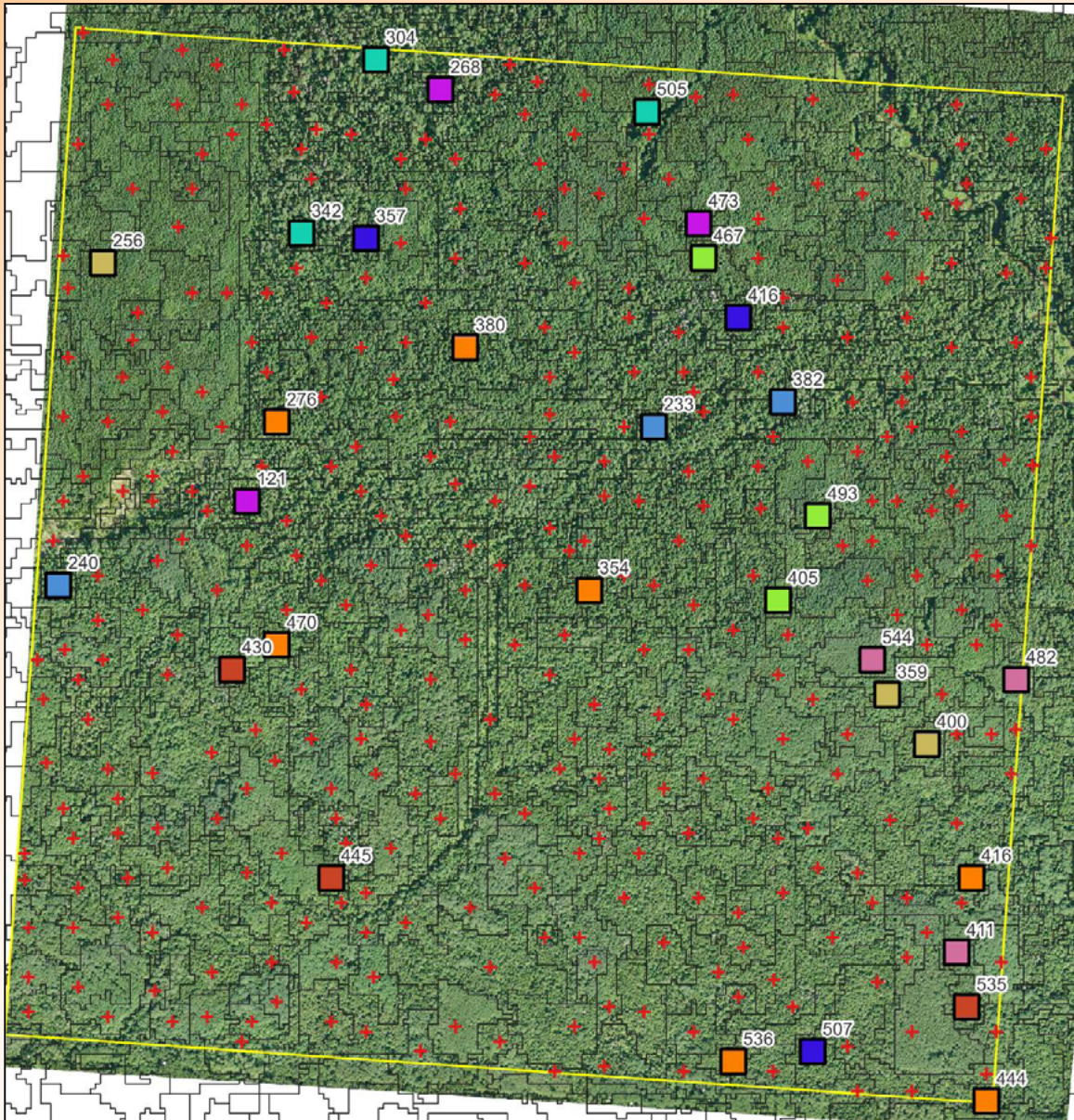
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ППП ПО ГРУППАМ

№ группы	Всего РПП	РПП для ППП	Площадь сегментов, га	Базовое число ППП	Корректированное число ППП	Итоговое число ППП
1	99	44	102	9	9	10
2	52	4	58	5	4	4
3	32	20	31	3	3	4
4	34	28	30	3	3	3
5	22	10	24	2	3	3
6	25	10	23	2	3	3
7	19	3	19	1	3	3
8	13	2	11	1	0	0
9	3	1	2	0	0	0
10	2	2	2	0	0	0
Всего	300	124	302	25/30	28/30	30/30

ВЫБОР НАИБОЛЕЕ ТИПИЧНЫХ РПП

№ группы	№ РПП	Запас древостоя м ³ /га	Подгруппа по запасу	Значения характеристик, определенных на РПП			Расстояние до центроида подгруппы
...
3	4	459	3	Значения характеристик используются в качестве координат многомерного пространства признаков, на основе значений которых рассчитывается матрица попарных расстояний между РПП для каждой подгруппы. Далее по этой матрице определяется одна РПП, ближайшая к центроиду подгруппы.			0.333
3	9	307	3				0.167
3	36	210	2				0.255
3	37	298	3				0.667
3	55	214	2				0.420
3	56	285	2				0.255
3	60	148	1				0.500
3	93	286	2				0.187
3	96	160	1				0.750
3	120	156	1				0.443
...

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ



Шарангский ТП (398 РПП, 30 ППП)

Позиция в рельефе:

автоморфная	1	2	3	4	5	6	7
аккумулятивная	8	9					
Тип почвы							
текстурно-дифференцированная	1	2	3	4	5	6	7
гидроморфная	8	9					

Тип напочвенного покрова:

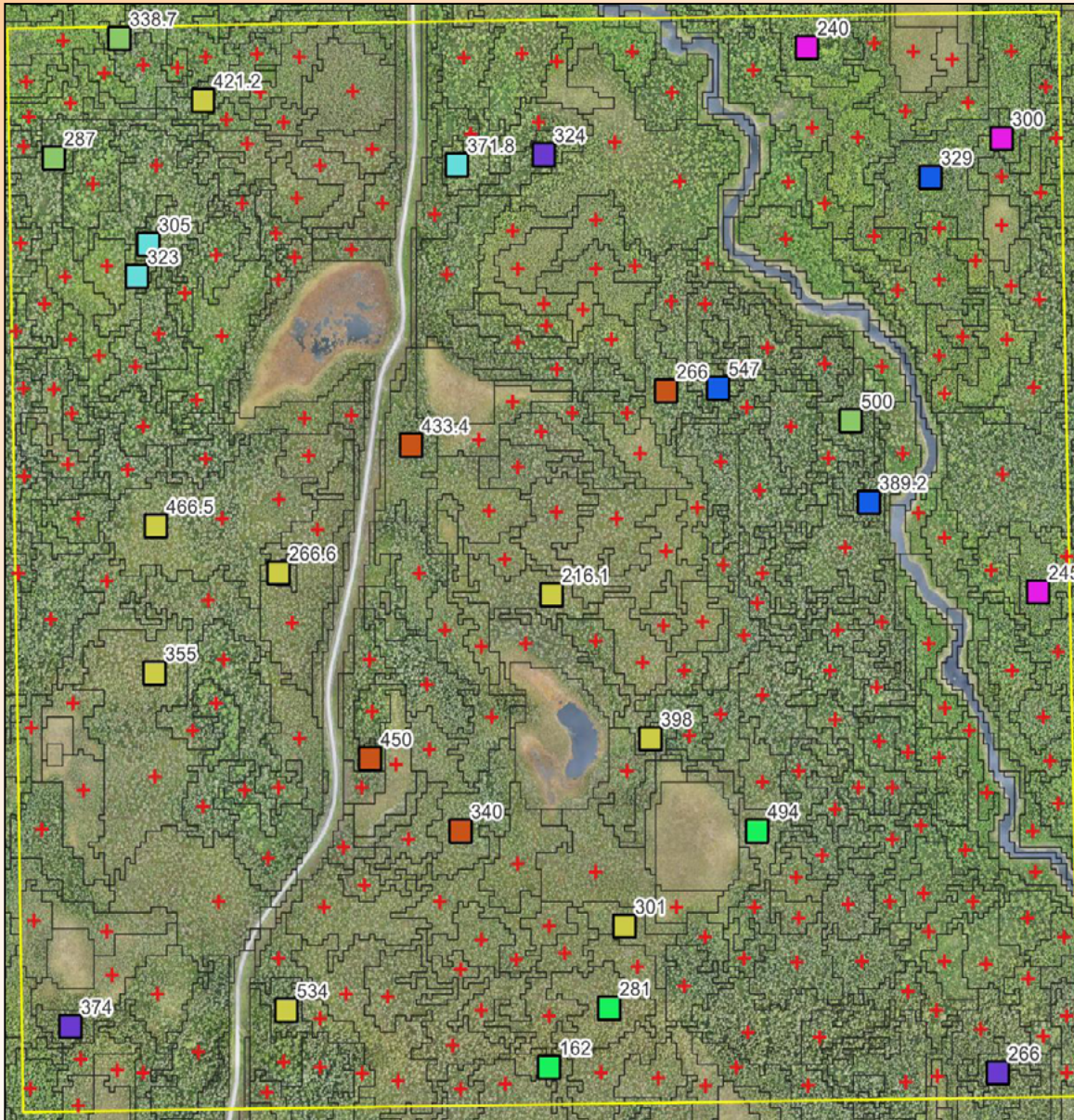
неморальный	1	2	3	4	6	7	
бореально-неморальный	5						
неморально-нитрофильный	8						
заболоченный	9						

Тип древесной растительности:

Липняк с елью	1	8					
Осинник с елью	3						
Ельник с липой	4						
Березняк	6						
Смешанный елово-лиственненный	2	5					
Смешанный елово-мелколиственненный	7	9					

Выбрано 9 (из 19) групп, охватывающих 231 РПП и 62% площади ТП

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ



Кивачский ТП (310 РПП, 30 ППП)

Позиция в рельефе:

автоморфная	1	3	4	5	6	7	8
-------------	---	---	---	---	---	---	---

транзитная	2						
------------	---	--	--	--	--	--	--

Тип почвы

Подзол	1	2	4				
--------	---	---	---	--	--	--	--

Пелозем	3	5	8				
---------	---	---	---	--	--	--	--

Подзолистая	6						
-------------	---	--	--	--	--	--	--

Торфяная	7						
----------	---	--	--	--	--	--	--

Тип напочвенного покрова:

Черничник	1	2	3	5	6	7	
-----------	---	---	---	---	---	---	--

Брусничник	4						
------------	---	--	--	--	--	--	--

Травяно-злаковый	8						
------------------	---	--	--	--	--	--	--

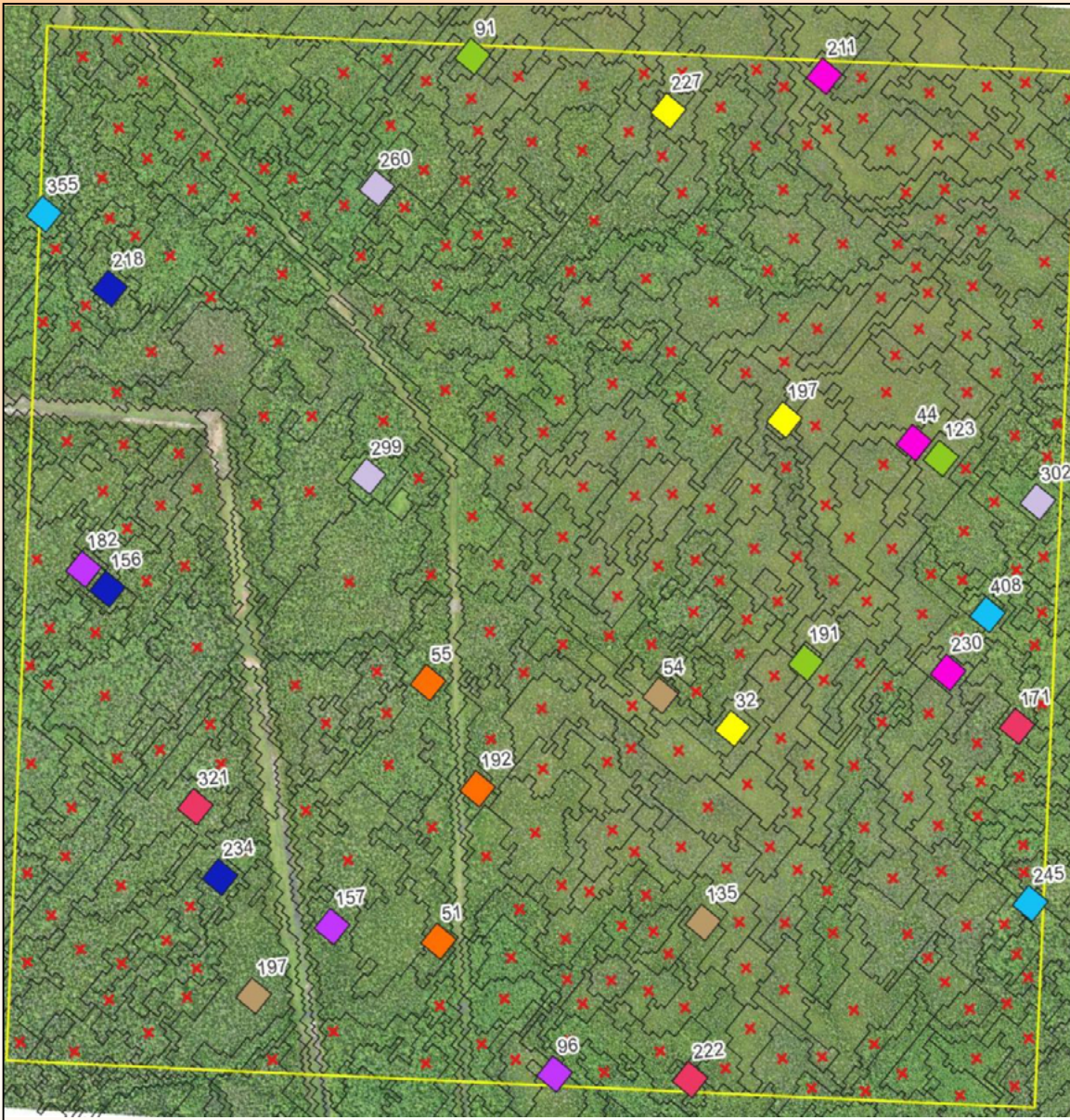
Тип древесной растительности:

Сосняк	1	2	3	4	6	7	8
--------	---	---	---	---	---	---	---

Ельник	5						
--------	---	--	--	--	--	--	--

Выбрано 8 (из 13) групп, охватывающих 162 РПП и 56% площади ТП

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ



Ляльский ТП (347 РПП, 30 ППП)

Позиция в рельефе:

автоморфная	1	2	3	4	5	6	7	10		
транзитная	8	9								

Тип почвы

Торфяно-подзол	1	3	9							
Подзол	2	4	8							
Торфяно-подзолистая	5									
Переговойная	6									
Подзолистая	7	10								

Тип напочвенного покрова:

Кустарничковый	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
----------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

Тип древесной растительности:

Сосняк	1	2	9							
Ельник	3	5	6	8						
Мелколиственные	10									
Ельник с березой	4									
Мелколиственные с елью	7									

Выбрано 10 (из 27) групп, охватывающих 116 РПП и 33% площади ТП

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ МЕТОДИКИ

- Альтернативные данные ДЗЗ для проектирования (БПЛА-съёмка и/или спутниковые данные сверхвысокого разрешения);
- Повышение точности геопространственной привязки полевых измерений и увязки их с данными ДЗЗ;
- Сокращение комплекса работ по экспресс-оценке характеристик лесов на территории ТП;
- Систематизация первичных результатов полевых обследований на РПП в аспектах типологической классификации и генерализации.

Полный текст текущего варианта методики:

<https://ritm-c.ru/results/methods/>





VI Международная научная конференция МОНИТОРИНГ И ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО МИРА

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Гаврилюк Е.А., Князева С.В., Ершов Д.В.

**Центр по проблемам экологии и
продуктивности лесов РАН**

г. Москва, Россия

e-mail: [**egor@ifi.rssi.ru**](mailto:egor@ifi.rssi.ru)

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

Минск-Лясковичи, Беларусь, 9-13 октября 2023 года