

Проект сети наземных тестовых полигонов для создания единой национальной сети мониторинга климатически активных веществ

Ершов Д.В., Гаврилюк Е.А., Подольская Е.С.,
Князева С.В., Соколова Е.Н., Королева Н.В.

Лаборатория мониторинга лесных экосистем

Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов

Российской академии наук



г. Москва

15-16 февраля 2023 г.



ПЛАН ДОКЛАДА

Часть I. Проектирование сети наземных тестовых полигонов

Часть II. Проектирование сети постоянных пробных площадей в границах тестового полигона (на примере лесной экосистемы)

Часть I.

Проектирование сети наземных тестовых полигонов (4-10 км²)





ЦЕЛЬ И ПРИОРИТЕТНЫЕ ЗАДАЧИ ПРОЕКТА

ЦЕЛЬ

Разработать национальную систему мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации на основе интеграции (1) данных наземного мониторинга, (2) дистанционного зондирования и (3) математического моделирования, создать систему учета данных по потокам парниковых газов и бюджету углерода в наземных экосистемах

ЗАДАЧИ

1. Создание сети мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России на основе стандартизированной инфраструктуры мирового уровня
2. 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
3. Создание единой информационно-аналитической системы для сбора, хранения, обработки и анализа данных мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России
4. Разработка прогнозов динамики пулов углерода и потоков парниковых газов в наземных экосистемах России при разных сценариях землепользования и изменений климата



Основные факторы формирования пулов углерода в наземных экосистемах (<https://soil-db.ru>)



➤ Климат Земли



➤ Главная почвообразующая (материнская) порода



➤ Рельеф местности



➤ Растительность

➤ Возмущающие факторы в экосистемах

Тематические карты

Карта 46 экорегионов России ¹



- ¹ Eric Dinerstein et al. An Ecoregion-Based Approach to Protecting Half the Terrestrial Realm, BioScience, Volume 67, Issue 6, June 2017, Pages 534–545, Ссылка: <https://doi.org/10.1093/biosci/bix014> (ссылка на интерактивную карту: <https://ecoregions.appspot.com/>)

Карта типов наземной растительности России ²



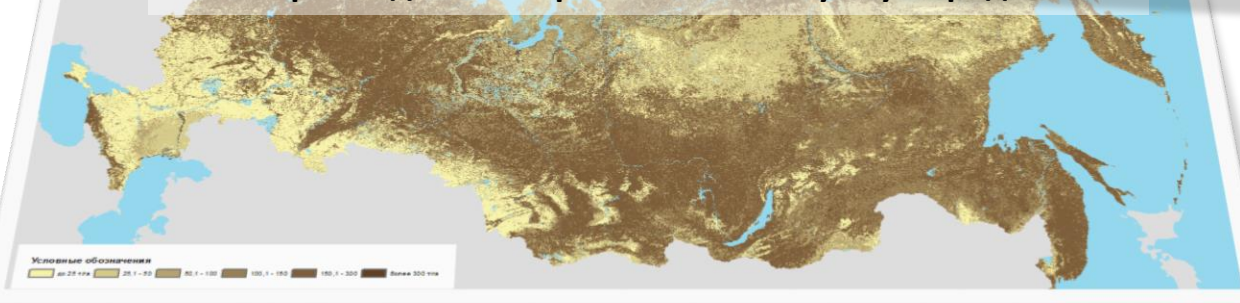
- ² Барталев С.А., Егоров В.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Уваров И.А. Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8. № 4. С. 285–302. Ссылка: <http://smiswww.iki.rssi.ru/default.aspx?page=81&publicid=1024>

Тематические продукты: пулы углерода

Карта надземного растительного пула углерода ³



Карта подземного растительного пула углерода ³



Карта почвенного пула углерода в 30 см слое⁴



- ³ Spawn, S.A., Sullivan, C.C., Lark, T.J. et al. Harmonized global maps of above and belowground biomass carbon density in the year 2010. Sci Data 7, 112 (2020).

Ссылка: <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0444-4>

- ⁴ Почвенно-географическая база данных России Чернова О.В., Голозубов О.М., Алябина И.О., Щепаченко Д.Г. Комплексный подход к картографической оценке запасов органического углерода в почвах России // Почвоведение, 2021, №3, с.273-286.

Ссылка: <https://soil-db.ru>



ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СЕТИ

1. Пространственный анализ пулов углерода растительности и почв в границах регулярной сети для определения потенциальных мест размещения тестовых полигонов в основных (характерных) типах наземной растительности
2. Статистическая оценка минимального количества тестовых полигонов на уровне России и типов наземной растительности для разных сценариев точности определения запасов углерода в растительности и почвах



Пространственное размещение тестовых полигонов

Шаг 1. Определение и пространственная локализация характерных типов наземной растительности для территории страны

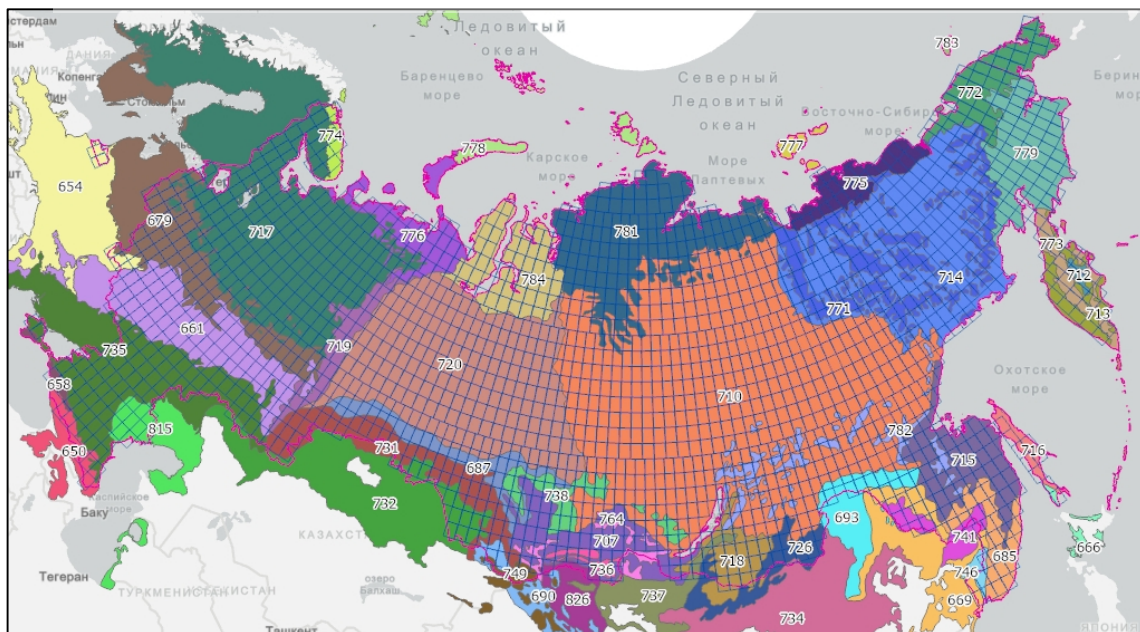
Шаг 2. Оценка характеристик распределения углерода для локализованных участков

Шаг 3. Определение формально наилучшего местоположения центра тестового полигона

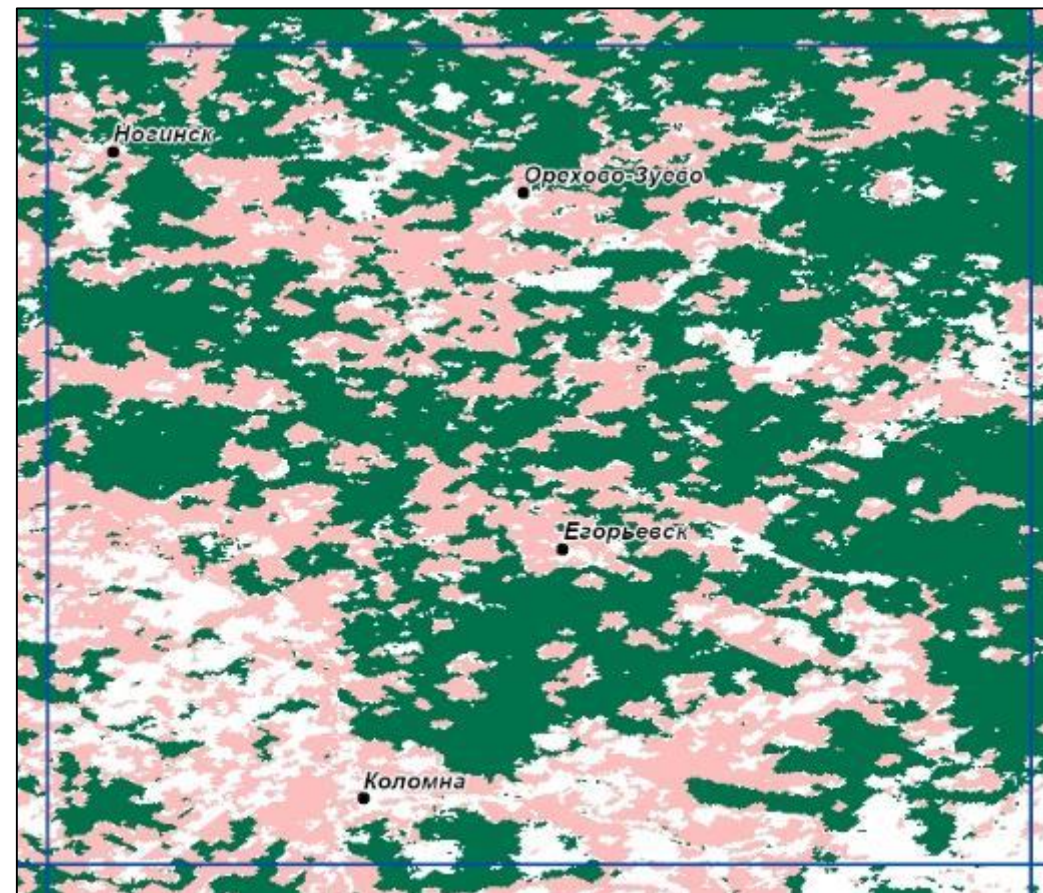
Шаг 4. Уточнение местоположения тестового полигона на основе визуального анализа спутниковых изображений высокого и детального пространственного разрешения, данных существующей сети пробных площадок участников консорциума и транспортной доступности

Шаг 1. Определение и локализация характерных типов растительности

(1) Привязка ячеек регулярной сети к экорегионам



3) Определение характерных типов растительности для каждой ячейки сети



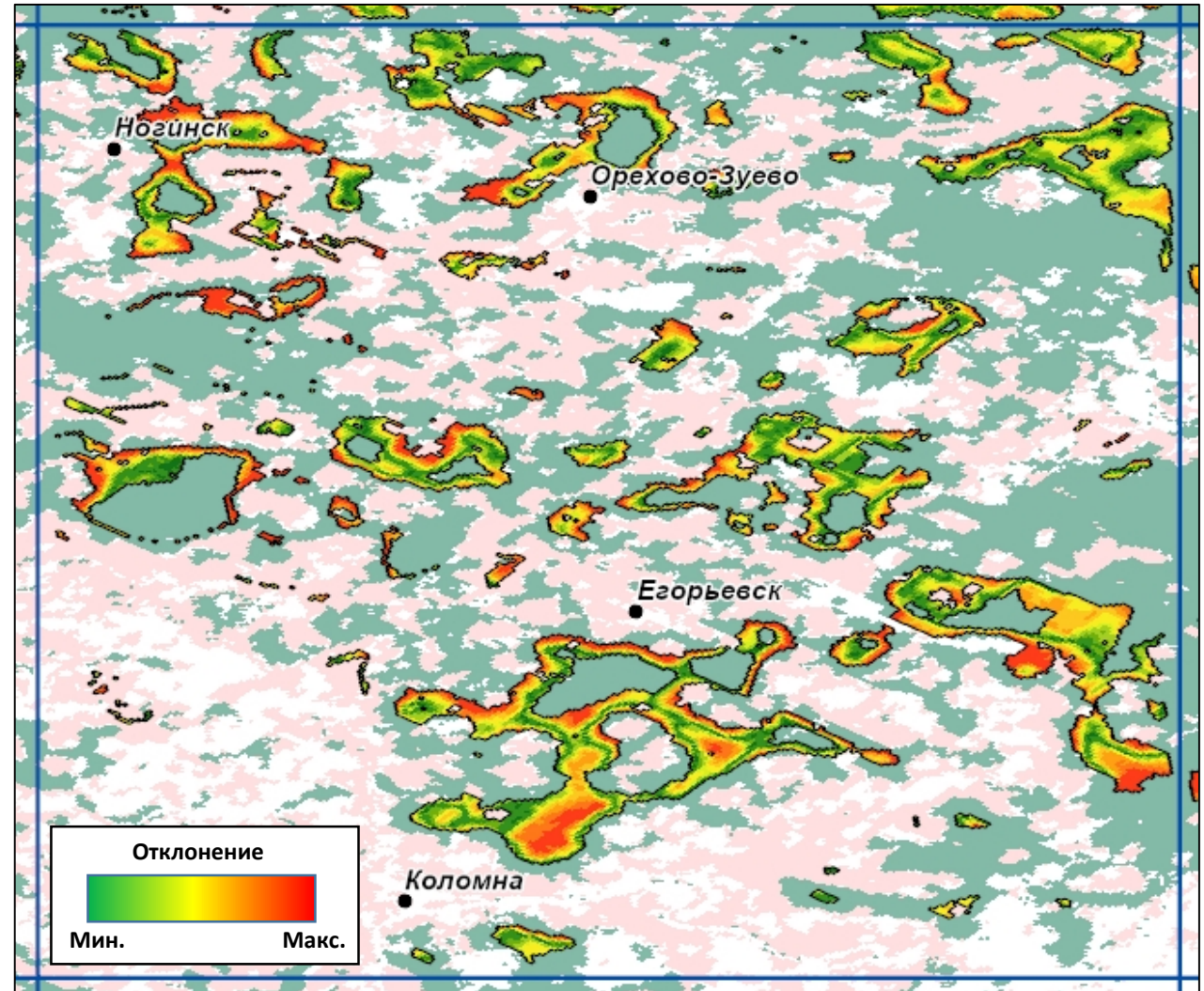
2) Определение характерных типов растительности для каждого экорегиона

ID	Название	Лес	Луг	Степь	Тундра	Болота	С/Х
...
717	Скандинавско-Русская тайга	+	+	-	-	+	-
735	Понтийская степь	-	+	+	-	-	+
774	Кольская тундра	-	-	-	+	+	-
...

Пример: ячейка №1524 (56° С.Ш. 38.4 В.Д.)
 Экорегион – **Сарматские смешанные леса**
 Характерные типы растительности: **леса, луга**
Класс болот исключены из-за площади (< 5%)

Шаг 2. Оценка распределения углерода для каждого типа наземной растительности в ячейке сети

- 1) Определение значений среднего и коэффициента вариации для общего запаса углерода, а также доли почвенного углерода в общем запасе на уровне ячейки сети
- 2) Определение зон для расположения центров потенциальных тестовых полигонов (в границах квадратных участков площадью около 16 км²) с локальными характеристиками среднего запаса и доли почвенного углерода близкими к глобальным
- 3) Классификация участков (пикселей) выделенных зон по степени отклонения значений локального коэффициента вариации общего запаса углерода от интегрального значения в ячейке регулярной сети

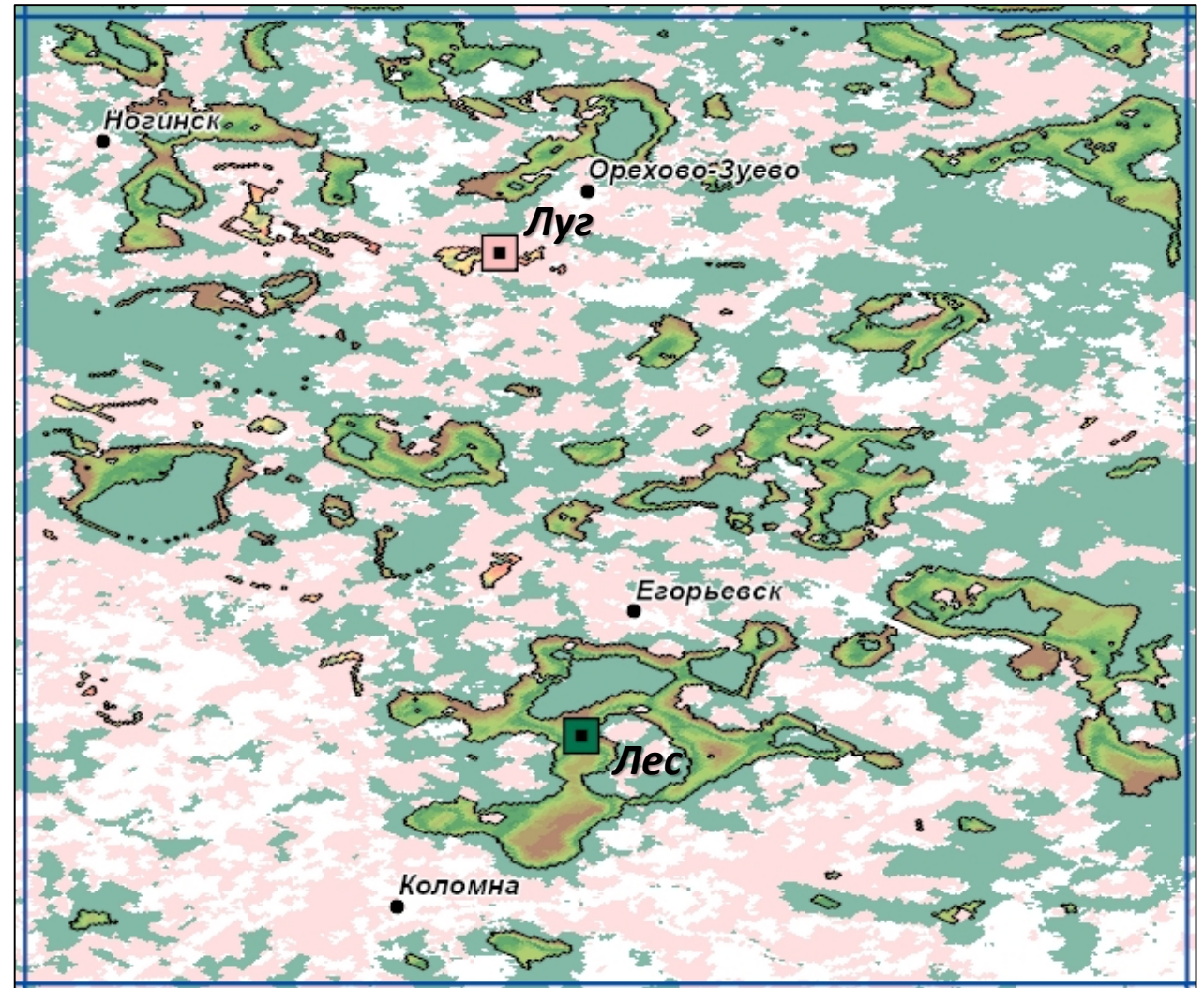


Критерии наилучшего местоположения:

1) Минимальное отклонение от глобального коэффициента вариации общего запаса углерода.

При равных значениях отклонения (с точностью до 1%):

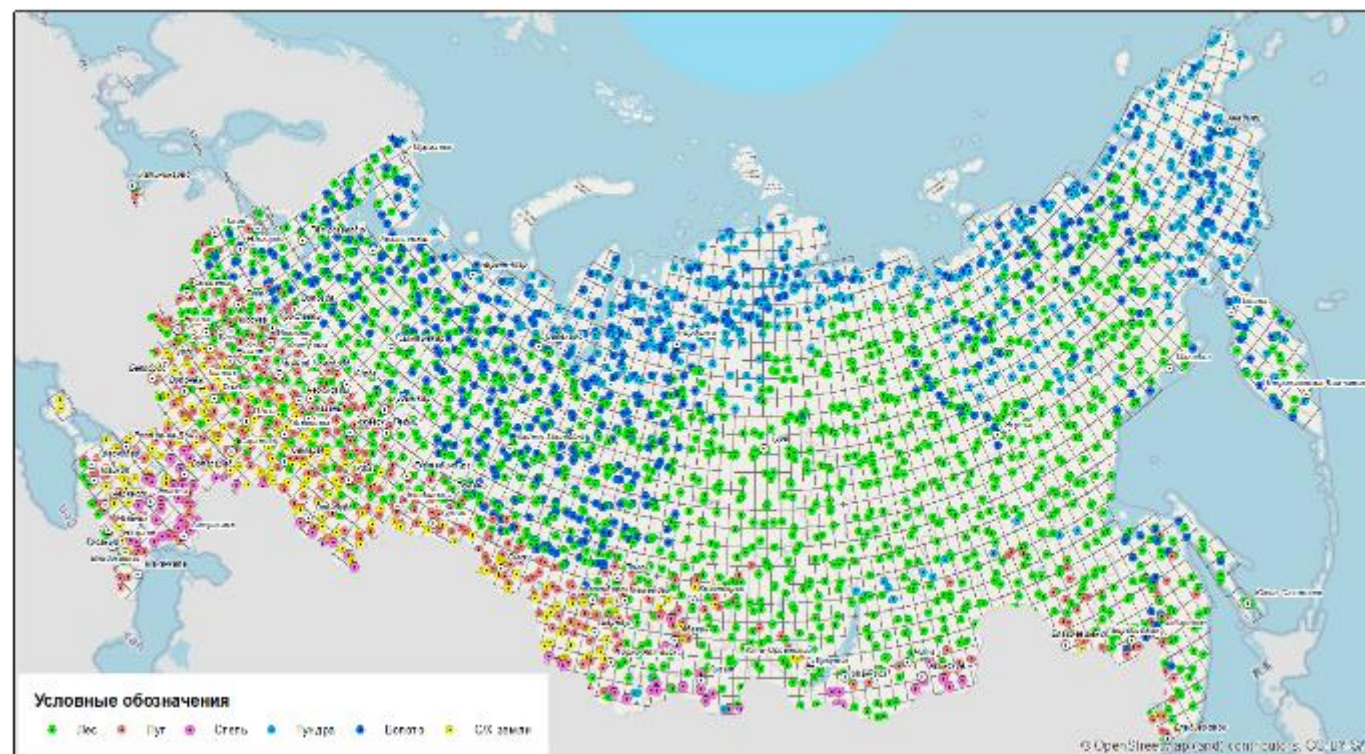
2) Минимальная удаленность от ближайшего населенного пункта (но не ближе 3 км)





Результат проектирования сети тестовых полигонов для каждой ячейки сети

В результате пространственного анализа в границах ячеек определены потенциальные места для размещения **2916** тестовых полигонов (карта). В таблице приводятся среднее и стандартное отклонение суммарного пула углерода (растительность и почвы, 30 см) по России и типам наземной растительности, количество тестовых полигонов, абсолютная (т/га) и относительная ошибка (%) определения суммарного запаса углерода.

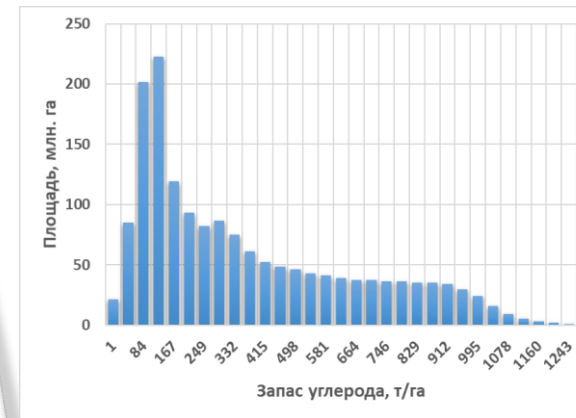
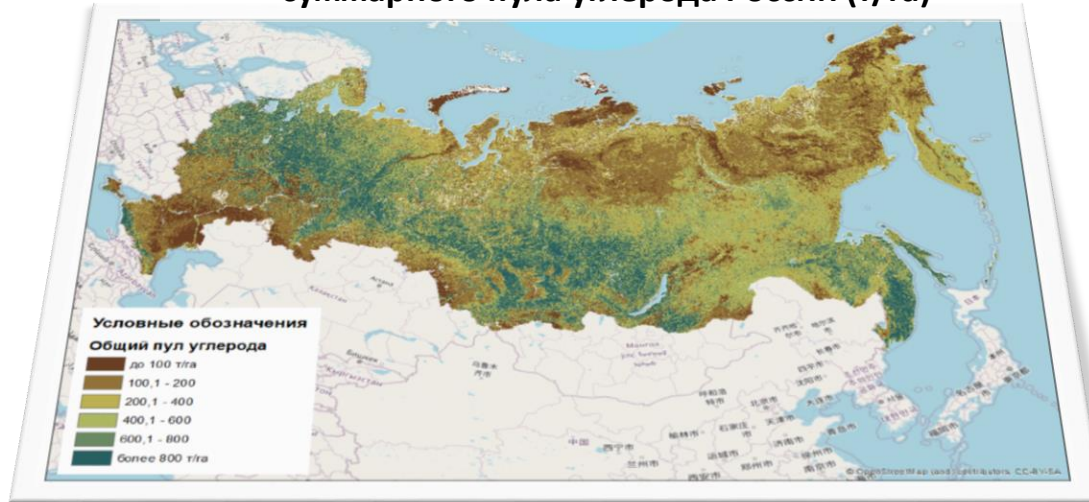


	Средний запас углерода, т/га	Стандартное отклонение, т/га	Число полигонов	Ошибка определения запаса, т/га	% от среднего значения
Россия	394	283	2916	19	4.8
Лес	542	282	1288	28	5.2
Болота	293	166	594	25	8.5
Луга	260	176	400	32	12.3
Тундра	197	94	370	18	9.1
С/х земли	139	75	192	20	14.4
Степь	125	83	72	36	28.9

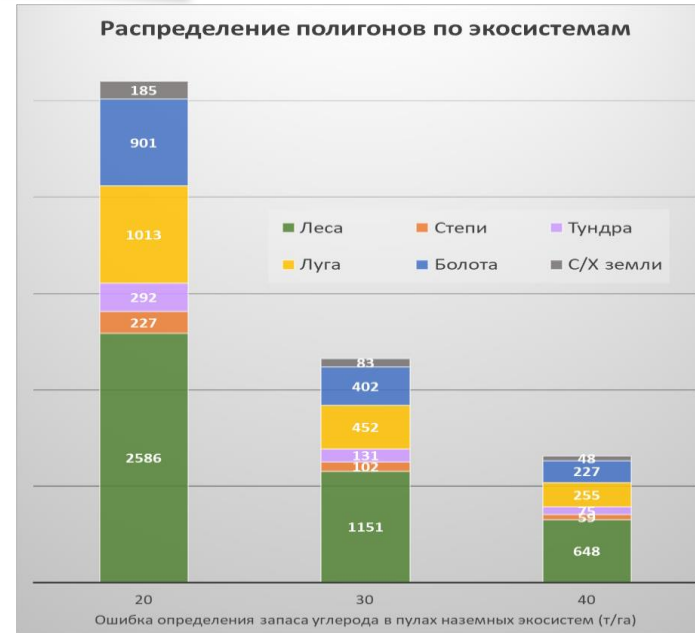


ОЦЕНКА МИНИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА ТЕСТОВЫХ ПОЛИГОНОВ

Карта пространственного распределения суммарного пула углерода России (т/га)



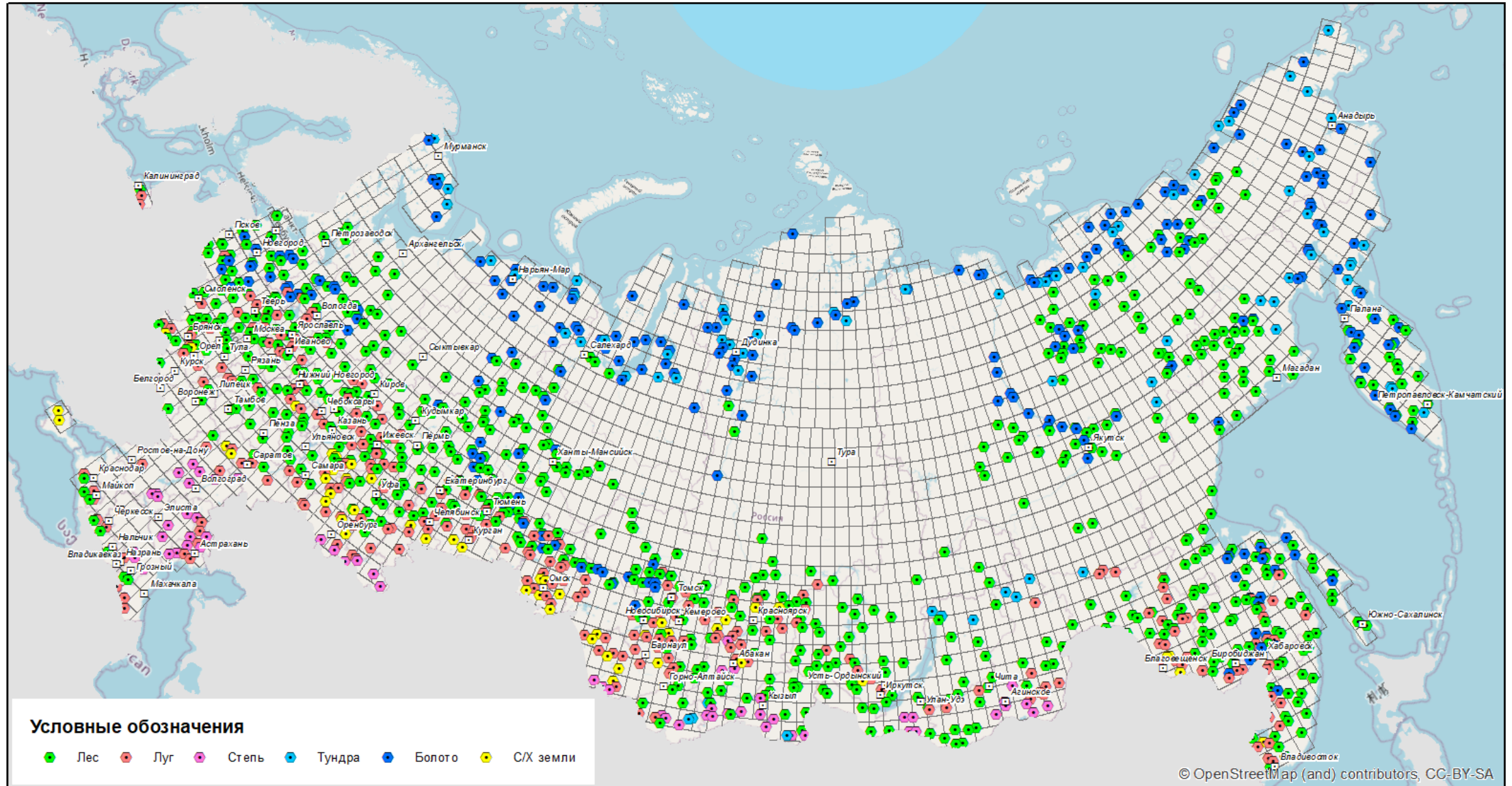
В границах России и наземных экосистем (характерных типов наземной растительности) для суммарного запаса всех пулов углерода проведены t-тесты мощности с целью определения необходимого числа измерений для оценки среднего показателя запасов углерода с заданной точностью (ошибкой)⁽¹⁾.



⁽¹⁾ Метод оценки количества измерений относительно среднего значения распределения показателя https://en.wikipedia.org/wiki/Sample_size_determination

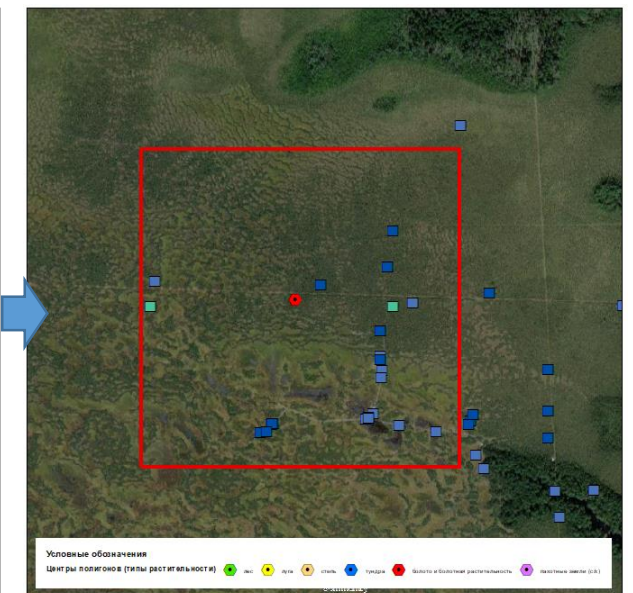
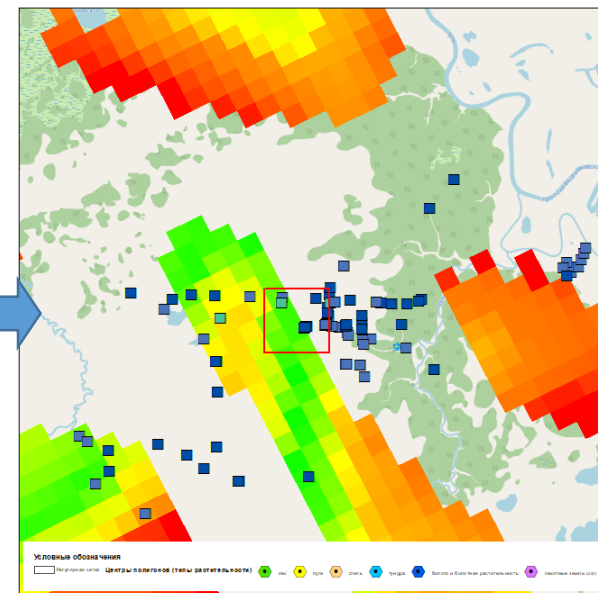
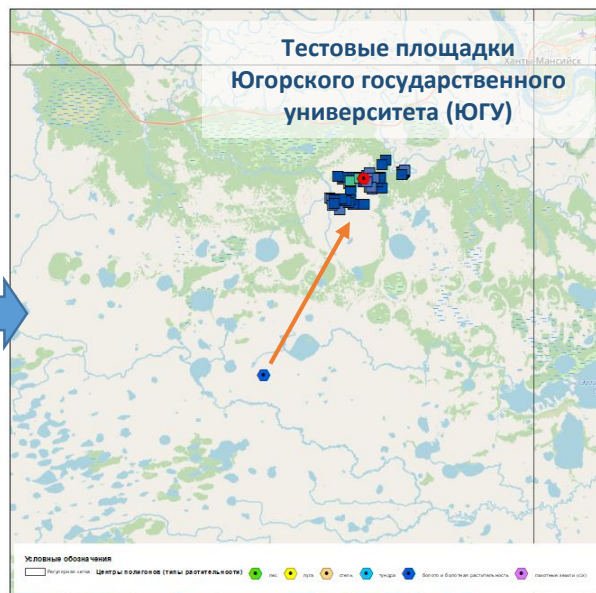
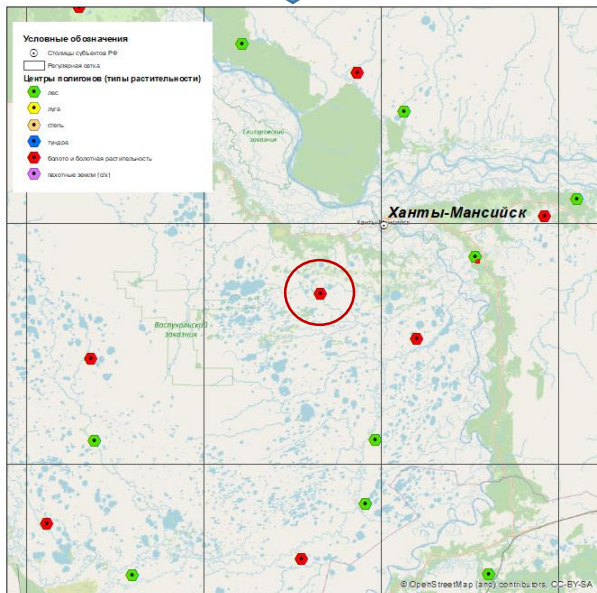
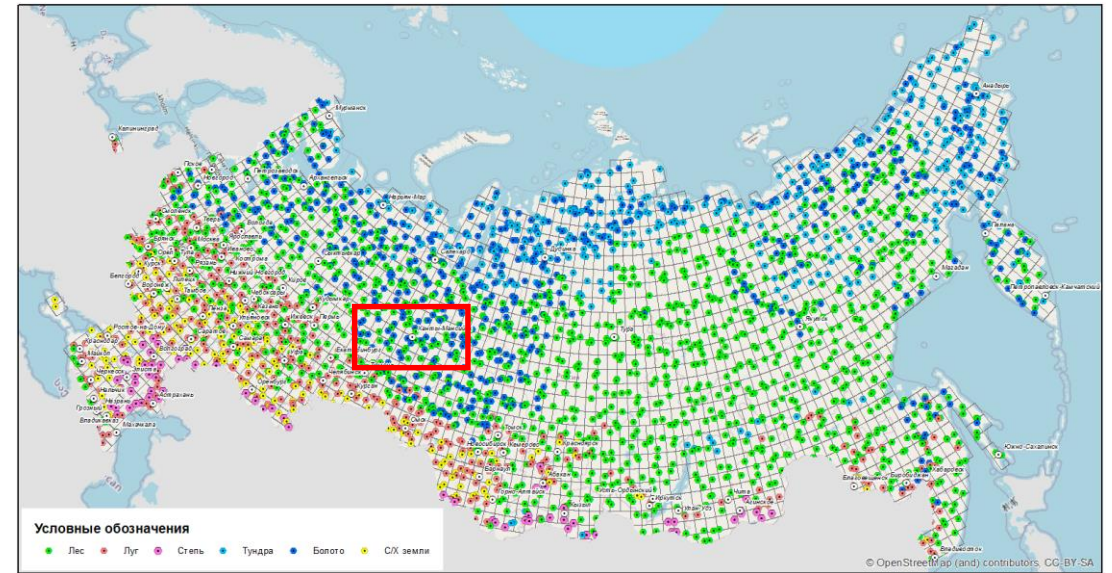
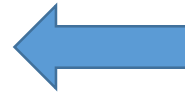
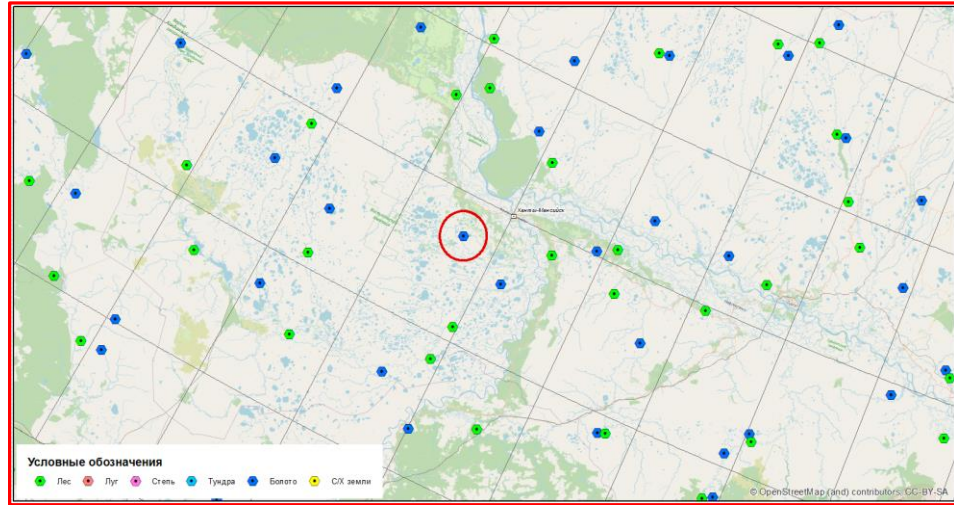


Результат проектирования 1312 тестовых полигонов (ошибка определения запаса углерода по России - 30 т/га)





Шаг 4. Уточнение местоположения тестового полигона по спутниковым изображениям детального пространственного разрешения





Выводы

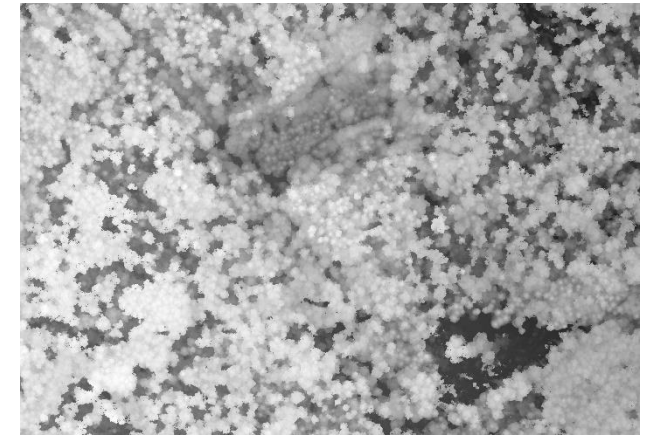
- ✓ Разработанная технология проектирования сети тестовых полигонов базируется на статистическом и пространственном анализе распределения пулов углерода в растительности и почвах наземных экосистем с учетом различных климатических, растительных и почвенных условий
- ✓ В результате проектирования получены два варианта сети для оптимального (2916 полигонов) и минимального (1312 полигонов) сценария ошибки оценки пулов углерода в наземных экосистемах и в целом по России
- ✓ На этапе пилотной фазы реализации проекта местоположение тестовых полигонов может уточняться с использованием более детальных данных о транспортной доступности и материалов наземных обследований участников консорциума



Часть II.

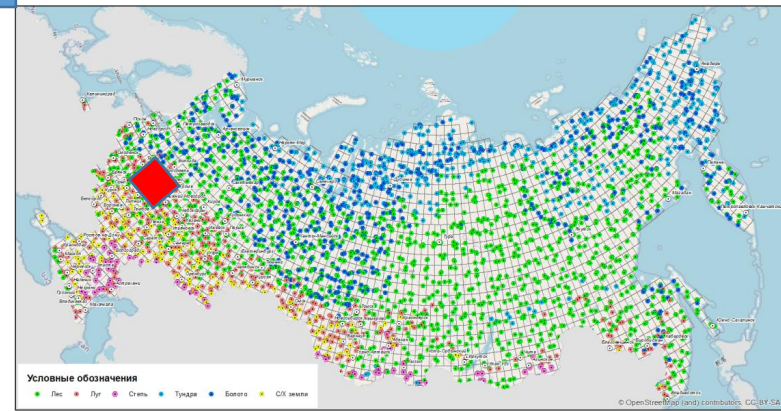
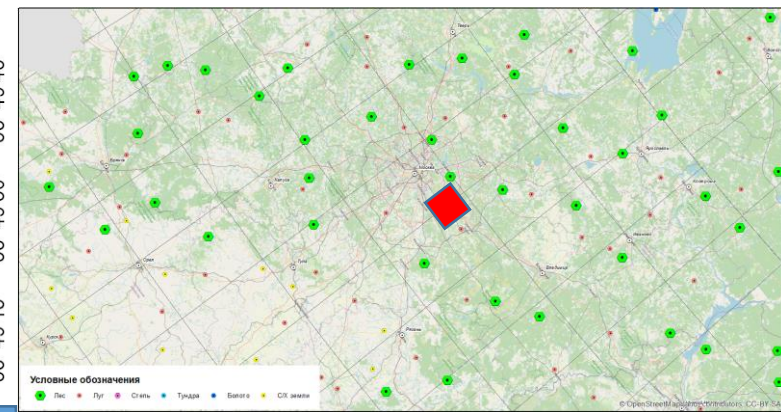
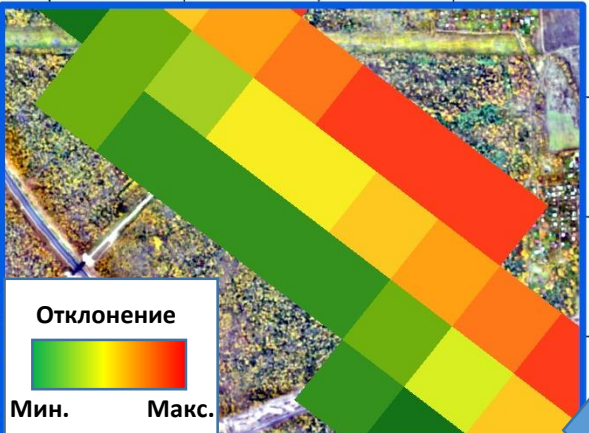
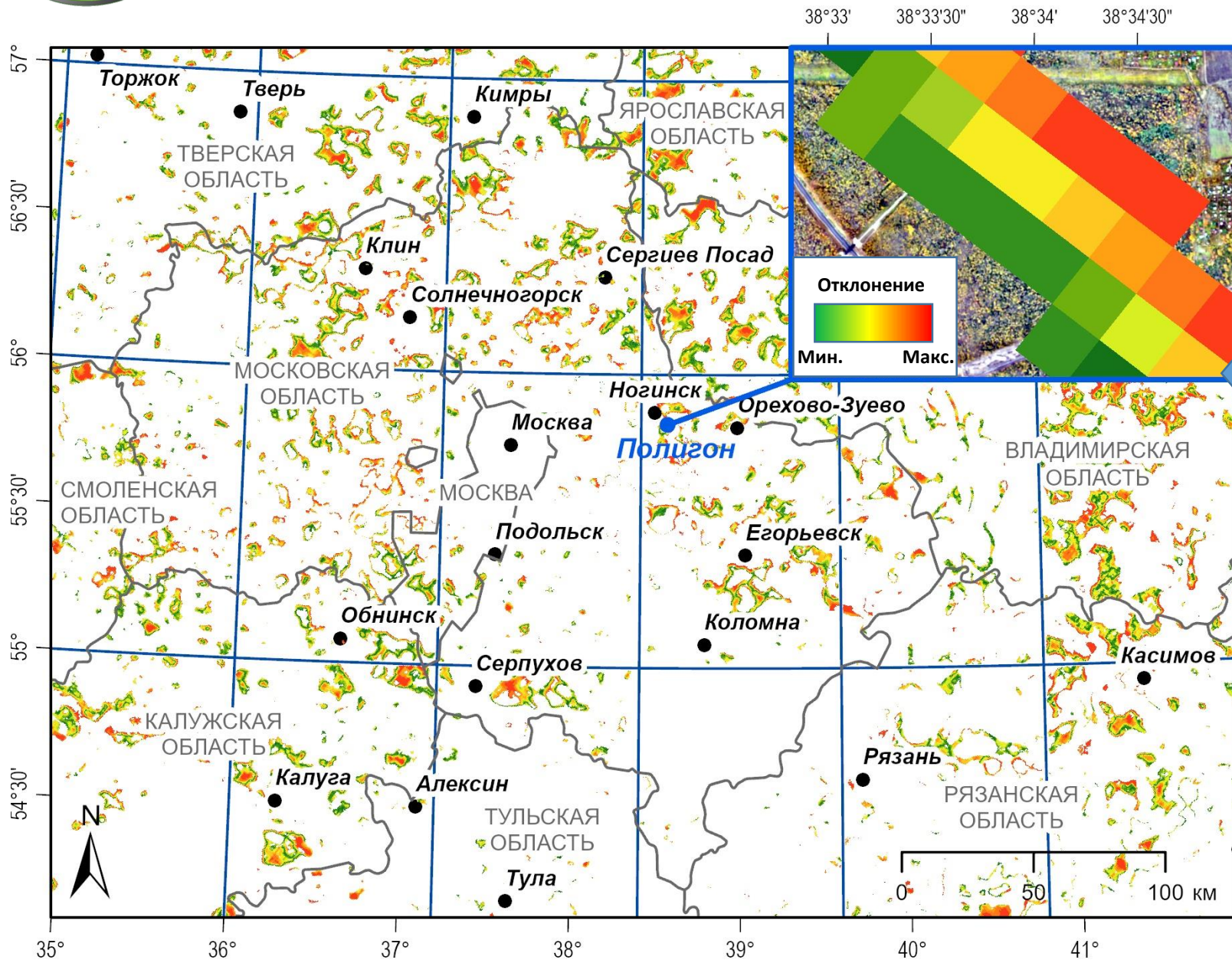
Проектирование сети постоянных пробных площадей в границах тестового полигона

(Ногинский тестовый полигон, Московская область)





Местоположение тестового полигона



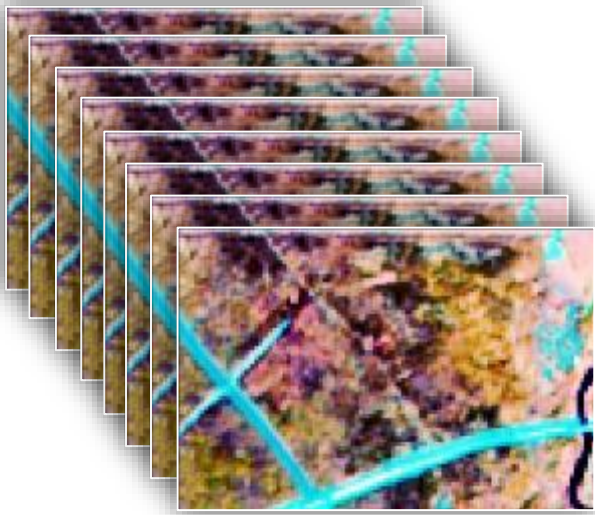


Общая методика проектирования сети пробных площадей для проведения наземных обследований на территории полигонов

- Формирование временной серии мультиспектральных изображений (сверх-) или высокого пространственного разрешения на полигон и его окрестности
- Классификация полигона по типам наземного покрова на основе имеющихся тематических продуктов и/или сформированного набора данных ДЗЗ
- Пространственная сегментация временной серии мультиспектральных изображений в границах выделенных типов наземного покрова с целью выделения участков (сегментов) однородных по своим спектрально-временным свойствам
- Оценка средних значений одного или нескольких показателей прямо или косвенно характеризующих запас углерода внутри каждого полученного сегмента (далее – показатели углерода), и объединение сегментов в комплексные группы (кластеры), выделяемые на основе значений этих показателей
- Определение для каждого кластера средних значений показателей углерода и выявление внутри него сегментов со значениями показателей наиболее близкими к средним (далее – типичный сегмент)
- Пространственное позиционирование одной пробной площади внутри каждого типичного сегмента таким образом, чтобы средние значения показателей в пределах пробной площади были максимально близки к средним значениям показателей сегмента

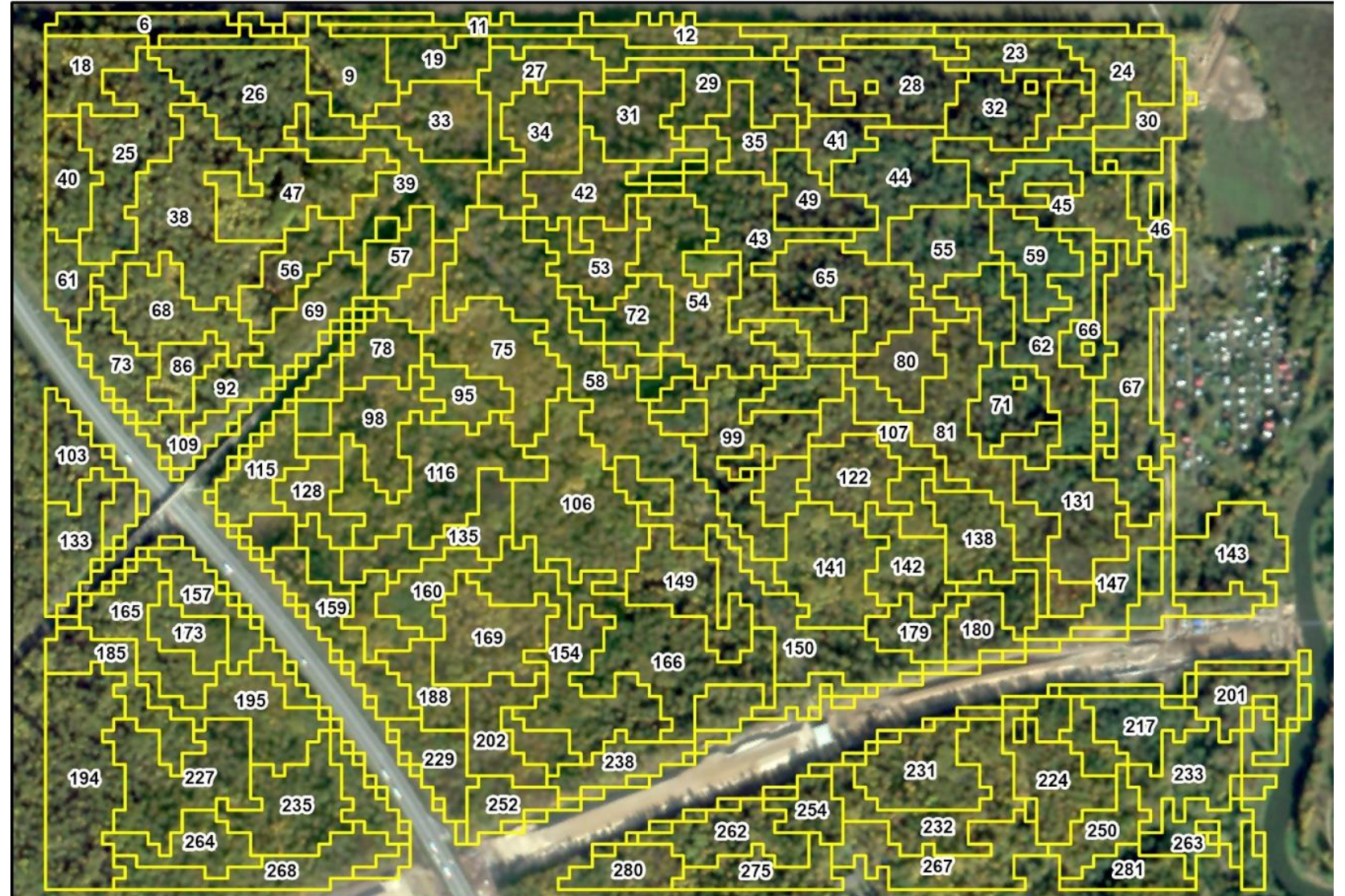


Формирование временной серии и сегментация спутниковых изображений



Разносезонные композитные
изображения Sentinel-2

пространственное разрешение
10-20 метров

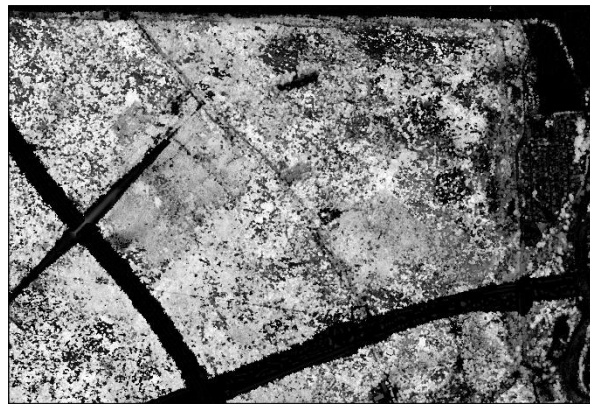




Оценка характеристик сегментов: сомкнутость древесного полога



Сегментация

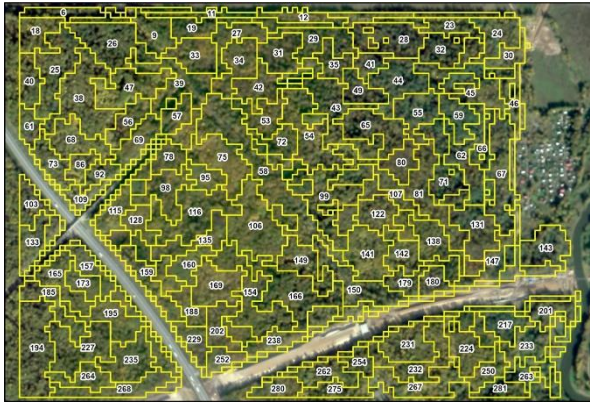


Модель высот древесного полога
БПЛА съемка

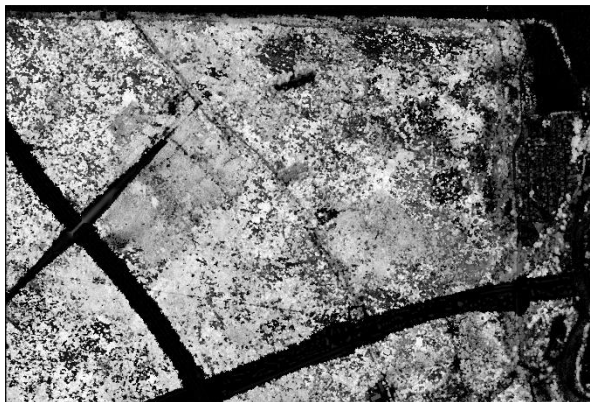




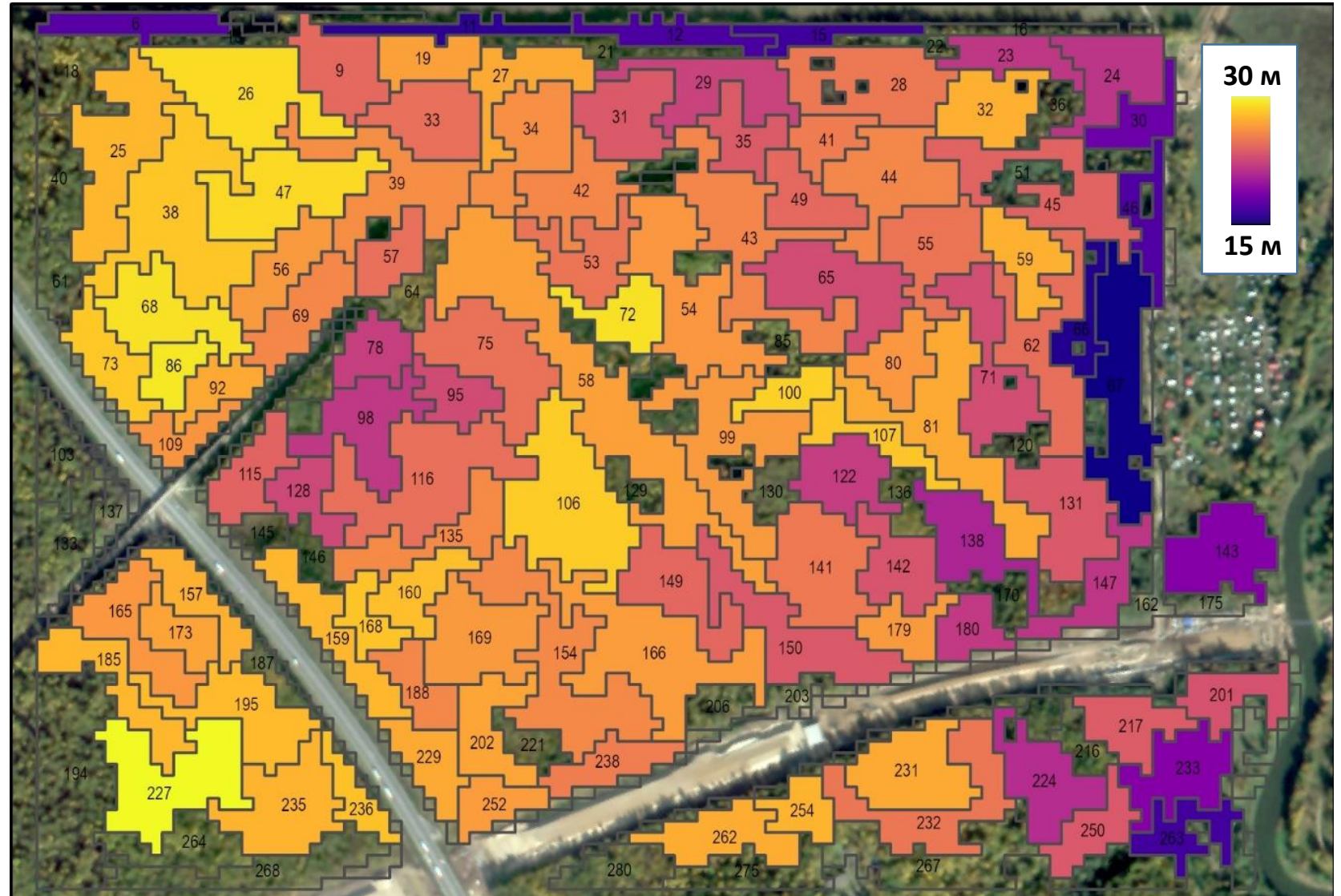
Оценка характеристик сегментов : высота 1-го яруса древостоев



Сегментация



Модель высот древесного полога
БПЛА съемка





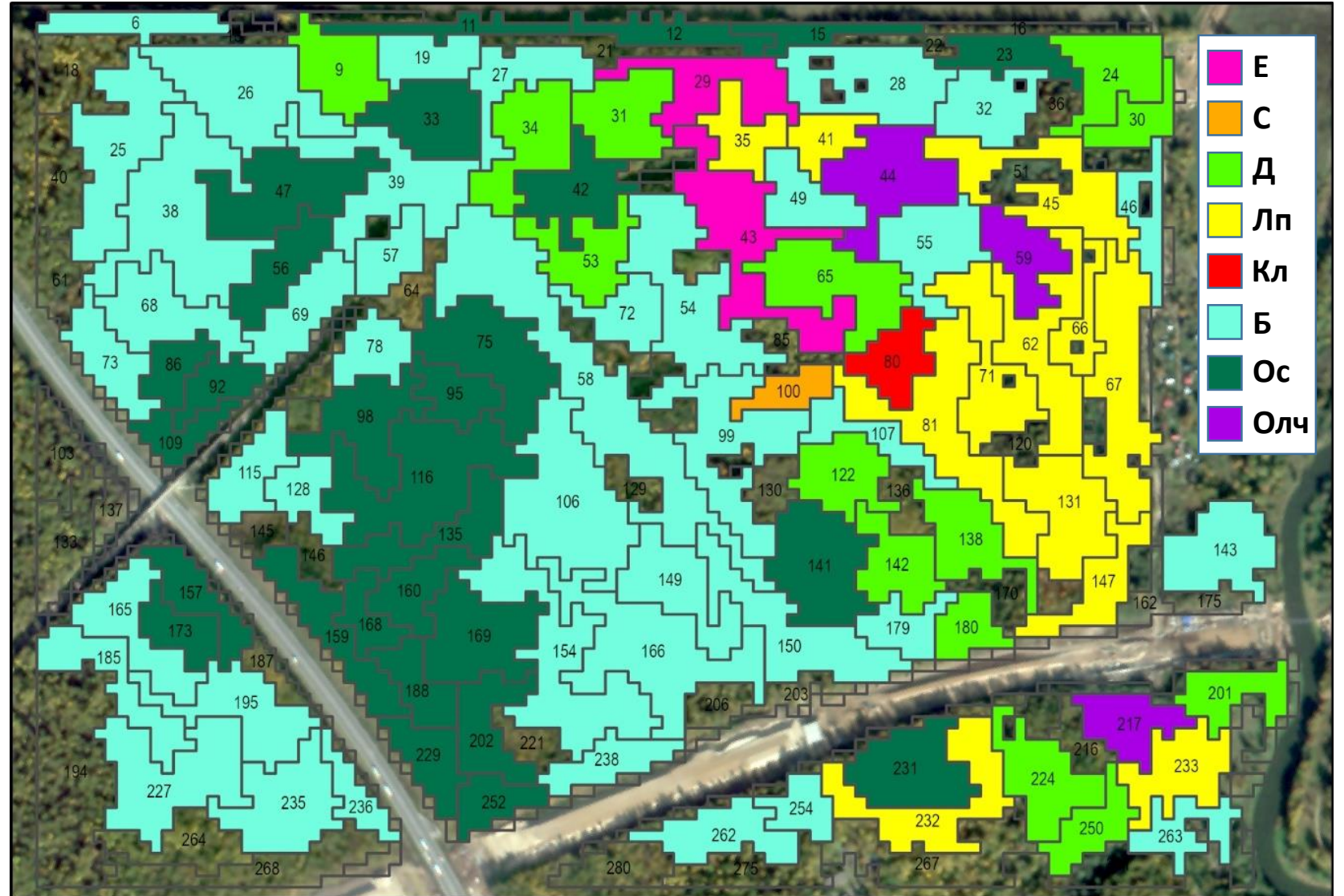
Оценка характеристик сегментов: преобладающая древесная порода



Сегментация



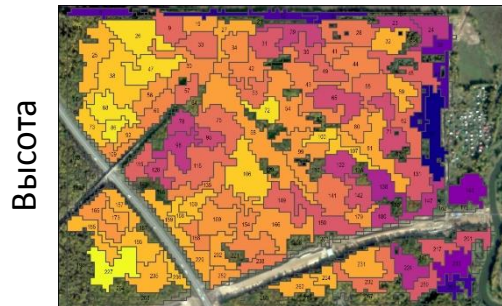
Разносезонная БПЛА-съемка



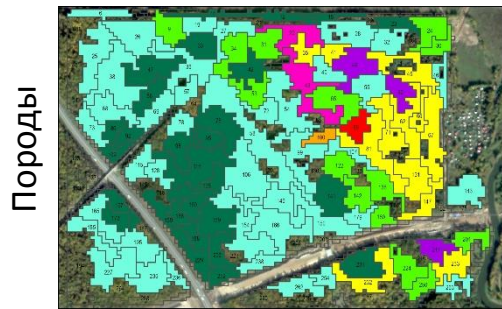
Формирование тематических кластеров



+



+

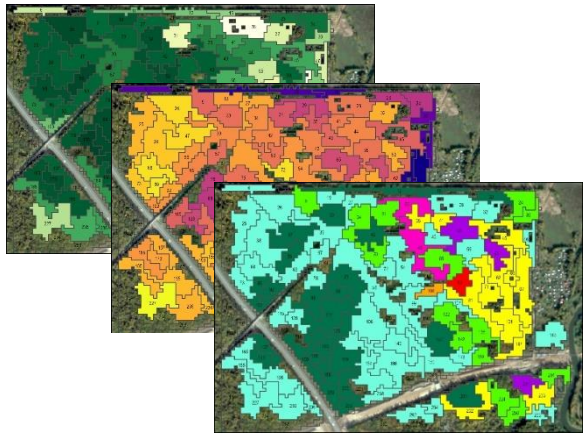




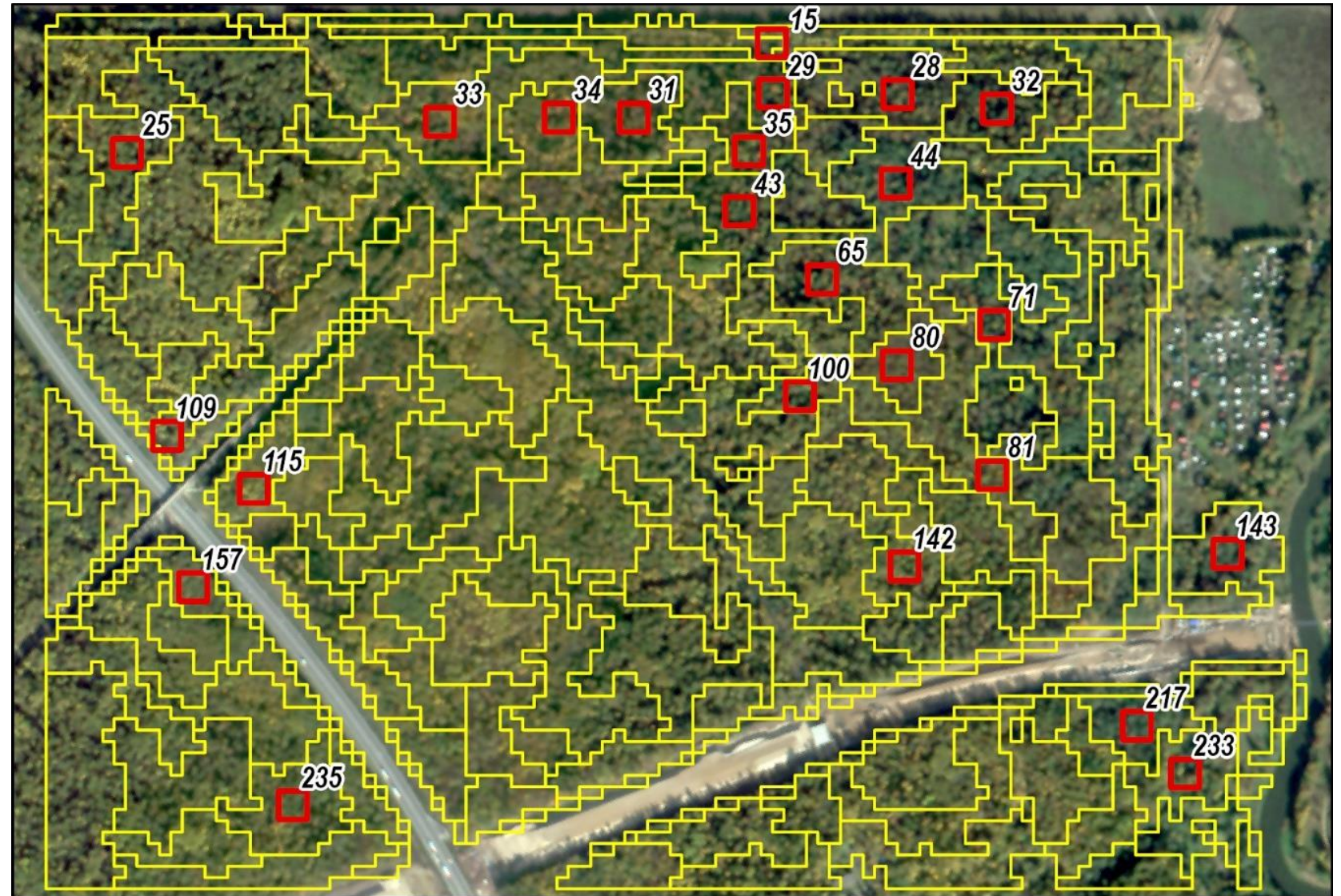
Выбор мест для закладки постоянных пробных площадей: типичный сегмент



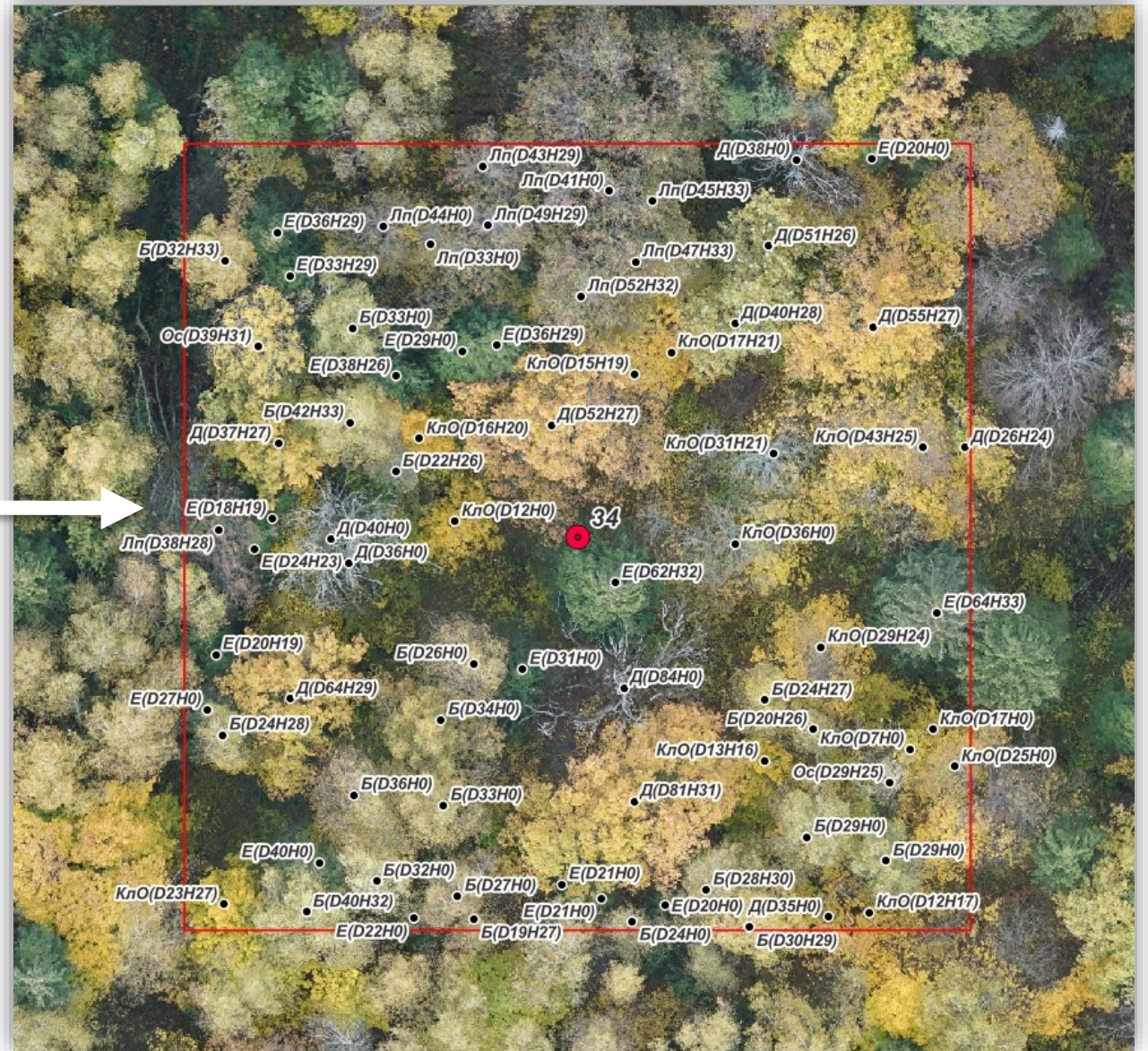
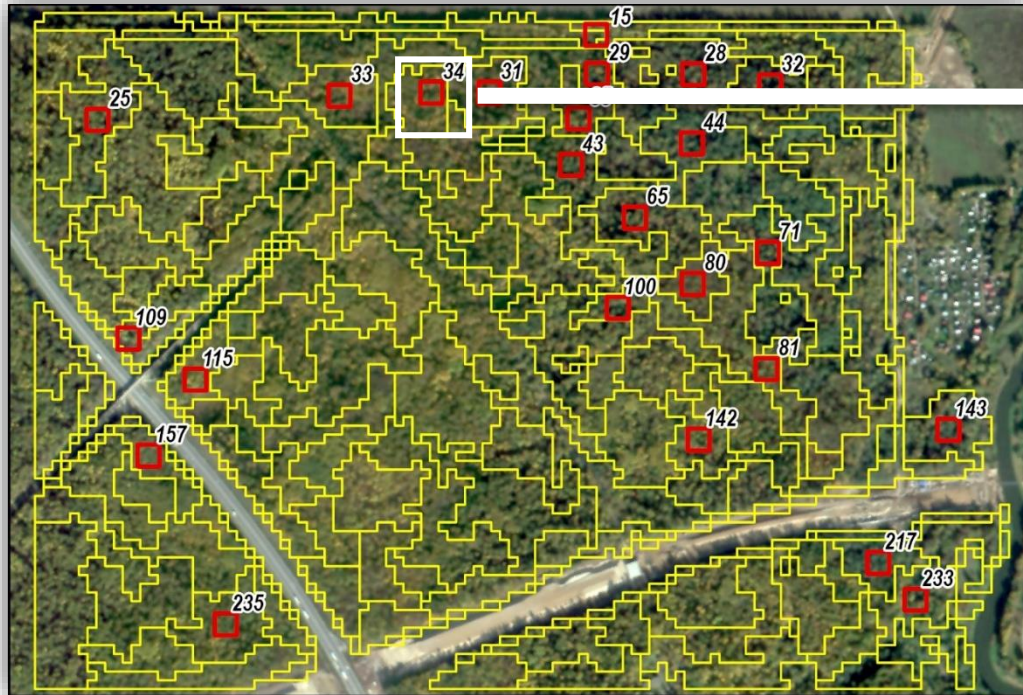
Кластеры



Характеристики сегментов



Использование данных беспилотной съемки при закладке пробной площади размером 50x50 м

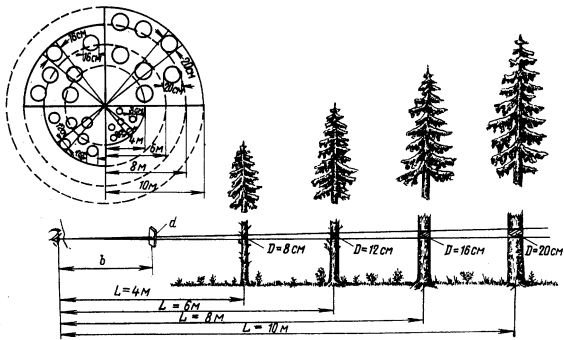




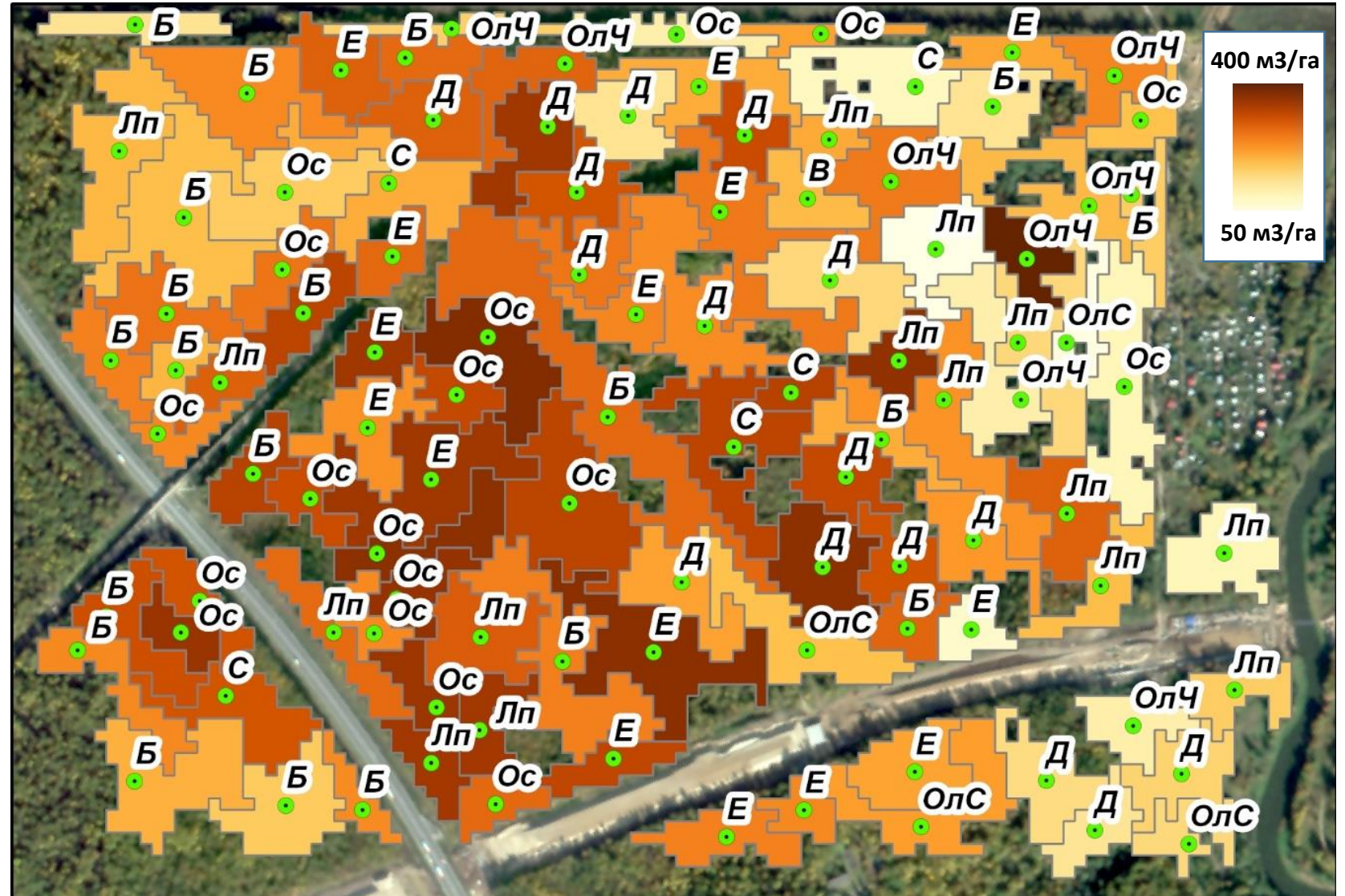
Рекогносцировка или наземная экспресс оценка характеристик древостоев методами производственной таксации



Сегменты



Реласкопические площадки





ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- ✓ Размер (площадь) тестового полигона определяется объектом изучения, т.е. зависит от типа наземной растительности (лес, луг, тундра, болото, степь, с/х земли), её видового разнообразия, вариации растительного и почвенного пулов углерода. При этом, использование полученных данных на полигоне для валидации спутниковых продуктов углерода среднего пространственного разрешения (230 м) накладывает ограничение на нижнюю границу площади полигона, т.е. порядка 4 км², а ограниченные возможности проведения наземных и аэросъемочных работ – на её верхнюю границу, т.е. не более 10 км²
- ✓ Проектирование постоянных пробных площадей на тестовом полигоне должно выполняться на основе обработки мультиспектральных спутниковых изображений высокого или детального пространственного разрешения для установления связей характеристиками растительности и валидации продуктов. Площадь сегмента при этом также зависит от видового разнообразия растительности и вариации запаса пулов углерода в растительности и почве полигона. Средний размер для лесных экосистем оценивается на уровне 1 гектара. В других экосистемах средние размеры сегмента будут уточнены на этапе пилотной фазы проекта
- ✓ Рекомендуется включить в цикл работ этап наземной экспресс оценки характеристик лесов и почвенного покрова, почвенных измерений углерода для получения более актуальных данных о запасах углерода и размещения сети постоянных пробных площадок (ППП) в сегментах полигона. Съёмка с беспилотных летательных аппаратов позволит точно позиционировать места закладки ППП, а также устанавливать связи с запасами растительного и почвенного пула на основе мультиспектральных и лидарных измерений, цифровой модели местности и переноса их на данные спутниковых наблюдений
- ✓ При закладке от 20 до 25 постоянных пробных площадей на 2916 полигонах (оптимальный сценарий) количество измерений будет сопоставимо с данными Государственной инвентаризации лесов (50-72 тыс. ППП), но при этом охват территории и детальность измерений всех пулов углерода будет значительно выше.

РИТМ
углерода

КОНФЕРЕНЦИЯ «УГЛЕРОД В НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ:
МОНИТОРИНГ». РЕАЛИЗАЦИЯ ВАЖНЕЙШЕГО ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА ГОСУДАРСТВЕННОГО
ЗНАЧЕНИЯ «ЕДИНАЯ НАЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА КЛИМАТИЧЕСКИ АКТИВНЫХ
ВЕЩЕСТВ». 15-16 ФЕВРАЛЯ 2023 г. МОСКВА

русская инновационная технология мониторинга
углерода

СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!

Дмитрий Владимирович Ершов
Контакты:
Телефон +7(903)795-8246
E-mail: ershov@ifi.rssi.ru



ЦЭП РАН



ИГи РАН



ИПЭ РАН



ИПЭ РАН



ИПЭ РАН
им. В.В. Докучаева



ИГи РАН



ИПЭ РАН



ИПЭ РАН



ИОА СО РАН



ИПЭ РАН



ИПЭ РАН



ИПЭ РАН



ИПЭ РАН



ИПЭ РАН



ИПЭ РАН



ИПЭ РАН



ИПЭ РАН



ИПЭ РАН



ИПЭ РАН



ИПЭ РАН



ИПЭ РАН