



Пятая Национальная научная конференция с международным участием «Математическое моделирование в экологии»

Дистанционные методы пространственной оценки характеристик лесов для задач их ресурсного и экологического мониторинга

Ершов Д.В., Гаврилюк Е.А., Лукина Н.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов
Российской академии наук
(ЦЭПЛ РАН)



г. Пущино, 20.10.2017 г.

Актуальность

- Отсутствует открытая периодически обновляемая достоверная информация о состоянии лесных ресурсов России
- Отсутствует система мониторинга лесов в России с оценкой характеристик лесов дистанционными методами, масштабов всех деструктивных факторов (исключая пожары), стадий восстановительных сукцессий лесов
- Тормозит развитие других научных направлений изучения процессов протекающих в лесных экосистемах на разных пространственных уровнях (биоразнообразие, экосистемные функции и услуги и др.)

Предпосылки

- Большое разнообразие данных высокого и детального пространственного разрешения российских и зарубежных спутниковых систем, накопленных за последние 25 лет (Landsat, Sentinel, Канопус, Ресурс-П и др.)
- Локальные данные аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов
- Материалы наземных и таксационных измерений биометрических характеристик древостоев и их состояния модельных регионов (потенциально для исследований можно использовать сети ICP Forest, стационары институтов РАН, отраслевые системы сбора наземных данных)
- Методический и технологический задел ведущих научных организаций РАН в области дистанционного мониторинга лесов

Цель

Адаптировать существующие и разработать новые методы комплексного анализа данных наземных и дистанционных наблюдений для перехода от локальной к пространственной оценке характеристик лесов на разных уровнях охвата исследуемой территории (ландшафта)

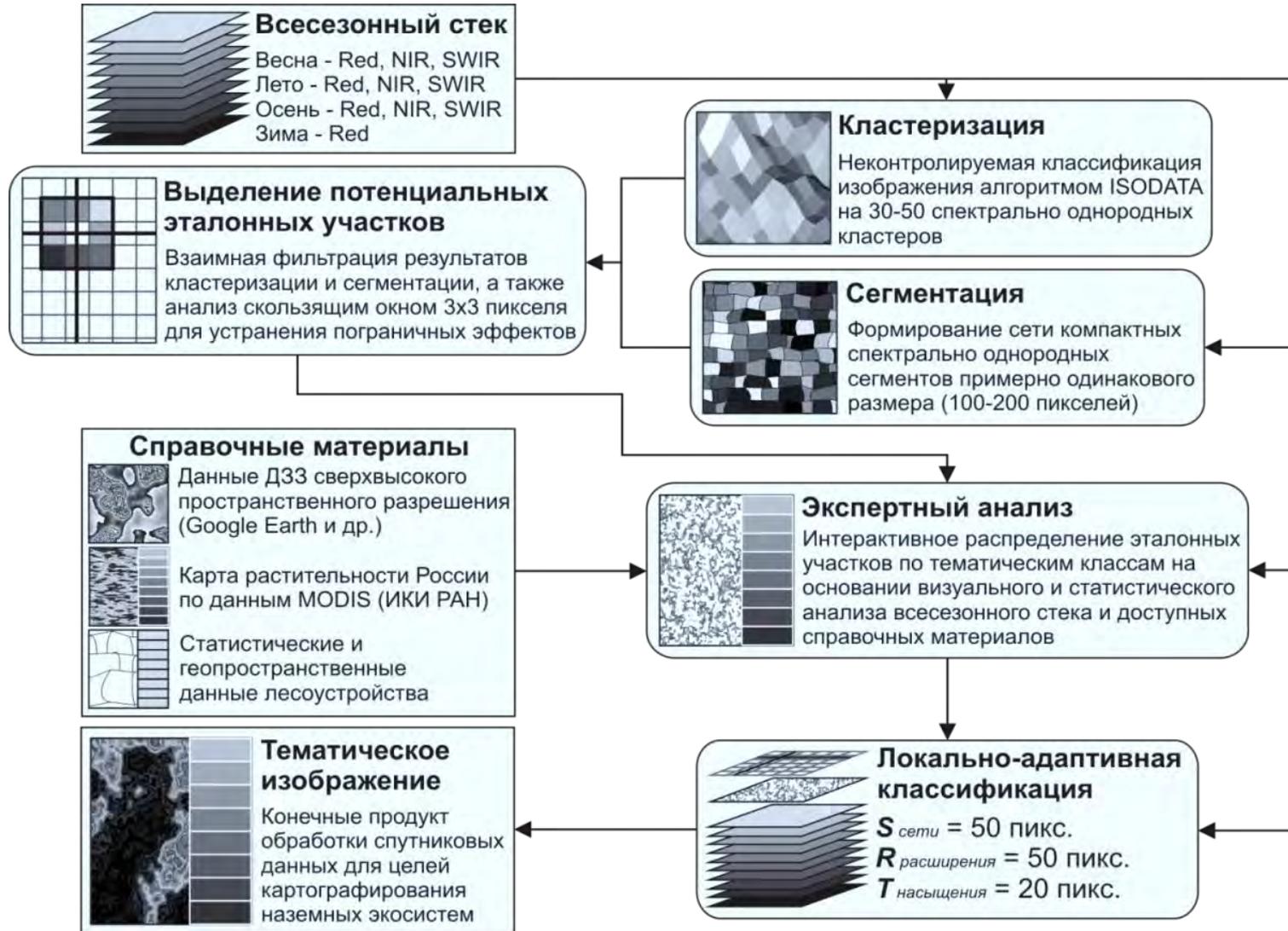
Методический задел

- Совместно с коллегами ИКИ РАН разработана методология спутникового картографирования лесных экосистем различного пространственного разрешения (Барталев и др., 2012);
- Разработан оригинальный метод оценки запасов стволовой древесины, основанный на комбинации зимних спутниковых изображений и данных лесной таксации о запасах древесного полога (Сочилова и Ершов, 2012).
- Созданы и апробированы в разных лесорастительных условиях методы выявления изменений и анализа динамики лесного покрова (Гудкова и Ершов, 2013; Королева и Ершов, 2013; Мягкова и Ершов, 2013; Белова и Ершов, 2013; Князева и др., 2014), вызванных различными негативными факторами (вырубки, пожары, массовое размножение насекомых вредителей леса);
- Исследованы взаимосвязи спектральных характеристик лесных пород с некоторыми биометрическими характеристиками (сомкнутость, высота и возраст древостоя) на основе комплексного с использованием таксационных и спутниковых данных (Бурцева и Ершов, 2013; Сочилова и Ершов, 2013; Королева, 2014);
- Разработаны подходы использования тематических спутниковых продуктов для оценки биоразнообразия лесов (Центральный федеральный округ - Ершов и др., 2015), сукцессионного статуса лесов (Печоро-Илычский заповедник, Ершов и др., 2017) и др.

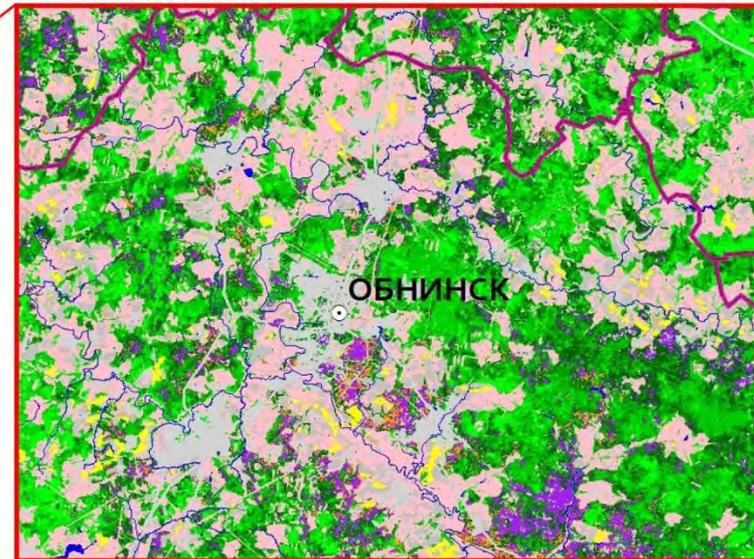
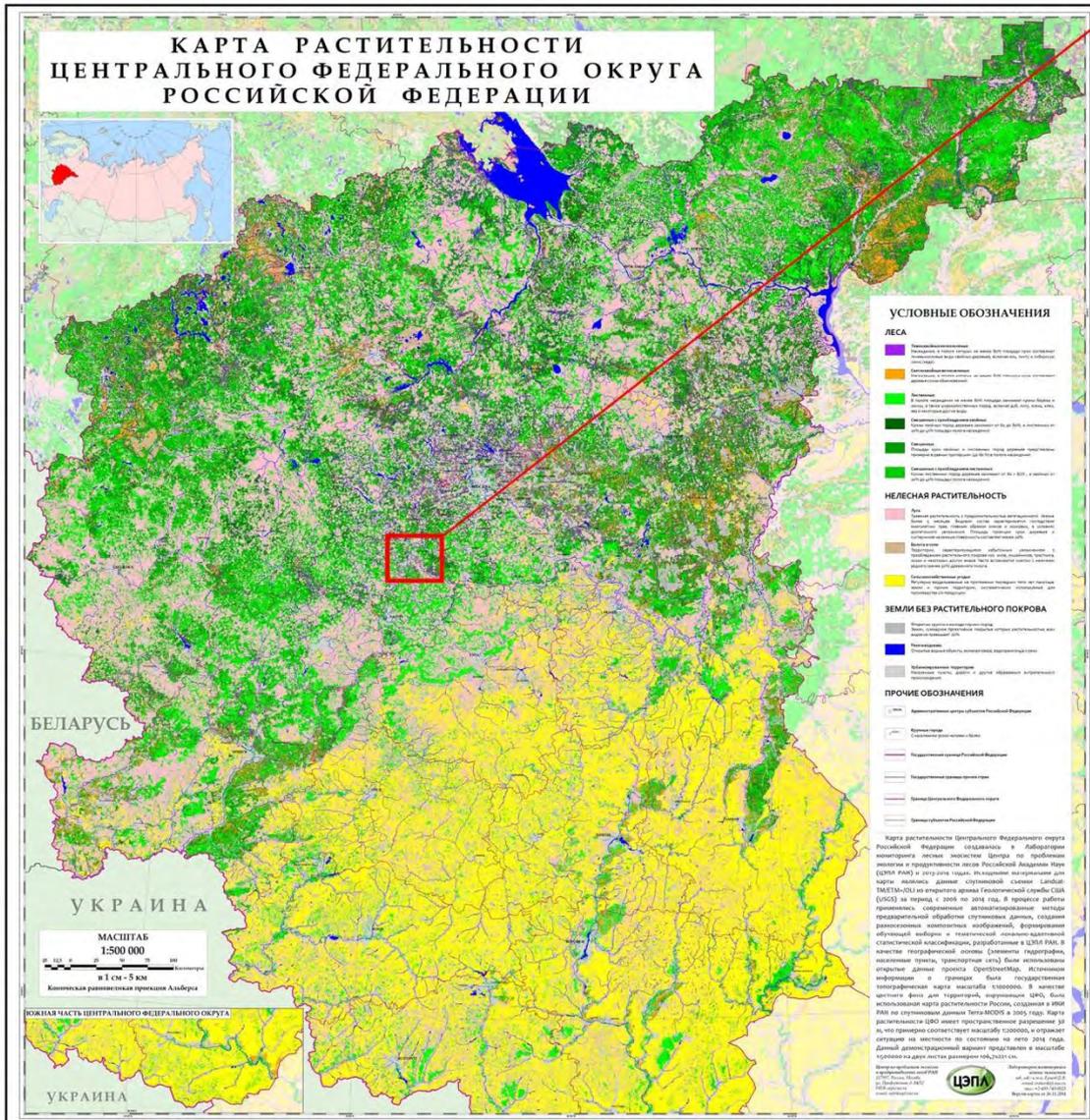
Технологический задел / Тематические продукты

- Создана технология подготовки пятилетних сезонных безоблачных композитных изображений высокого пространственного разрешения (Белова и Ершов, 2005,2012; Белова, 2014)
- Разработана технология подготовки обучающей выборки (эталонов) и классификации наземных экосистем по спутниковым данным высокого пространственного разрешения в среде ArcGIS ArcView (Гаврилюк и Ершов, 2012, 2013; Ковганко и Ершов, 2012)
- Создан ряд спутниковых тематических продуктов (Landsat, 30 м):
 - карта наземных экосистем Центрального федерального округа 2010 и 2014 гг. (Ершов и др., 2015). В 2018 году планируется провести обновление карты
 - карта лесных экосистем Иркутской области (2010 г.)
 - карта наземных экосистем Витебской области (республика Беларусь) 2016 года (проект РФФИ № 16-54-00142)
 - карты лесных пород особо охраняемых природных территорий (Заповедник «Брянский лес», НП «Смоленское Поозерье», Печоро-Илычский заповедник)

Общая схема тематической обработки спутниковых данных для картографирования состояния и динамики наземных экосистем



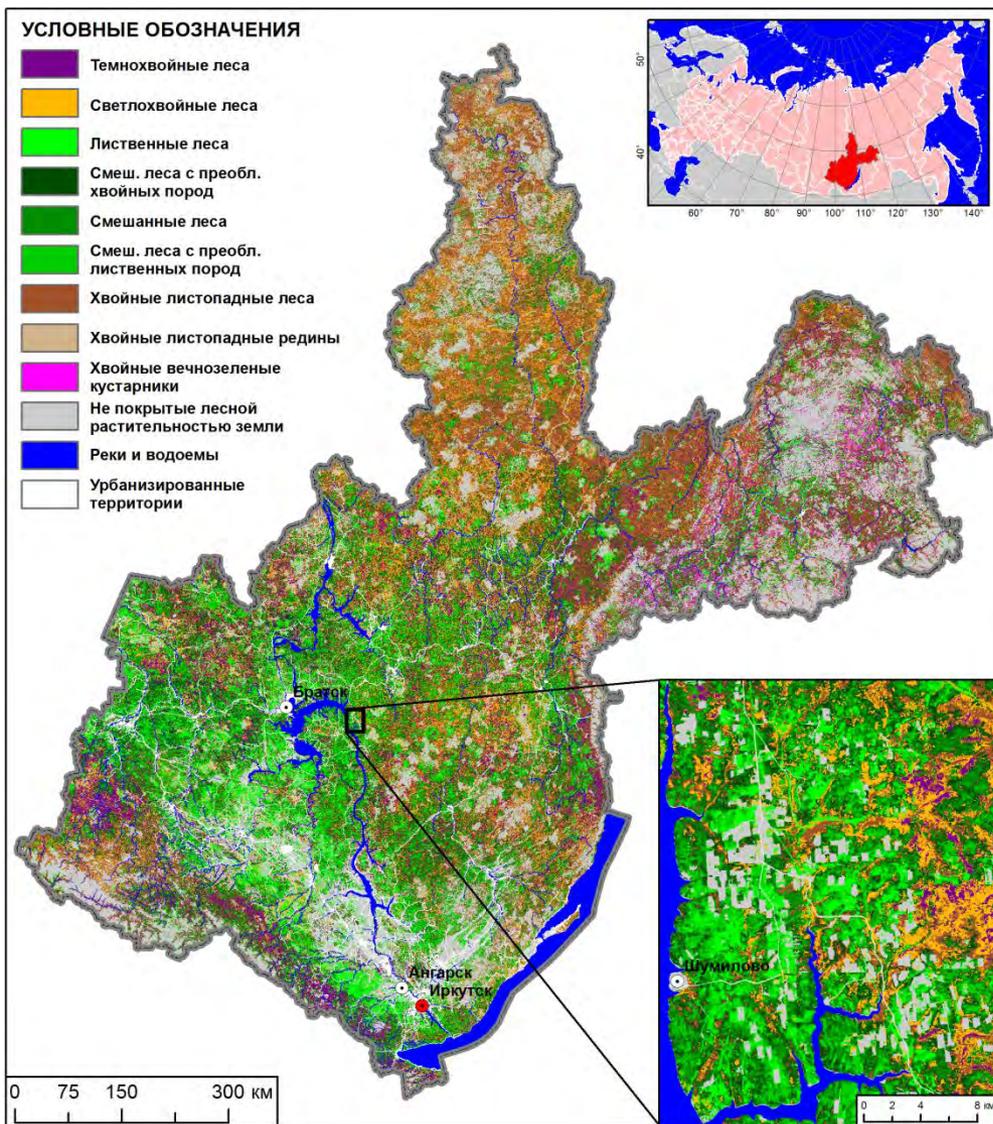
Карта наземных экосистем ЦФО



Интерактивный вариант карты на сайте
ЦЭПЛ РАН (<http://cepl.rssi.ru/>)

За счет средств Госзадания ЦЭПЛ РАН, Программы
Президиума РАН «Живая природа», хоз. договоров
поддержки ИСДМ-Рослесхоз 2014-2016 гг.

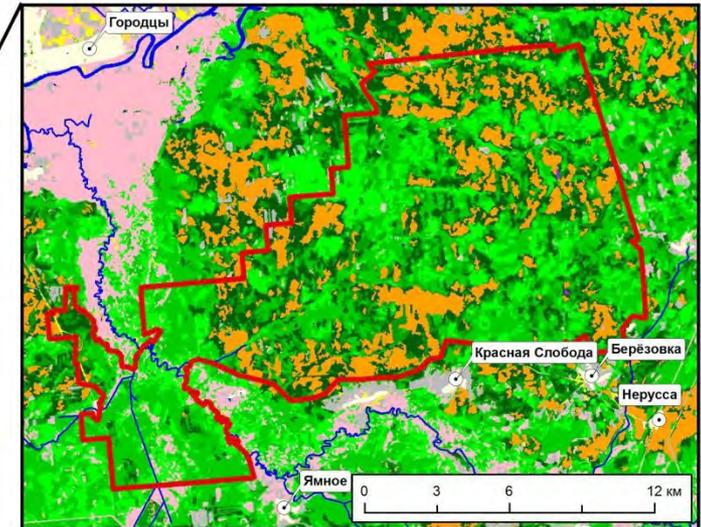
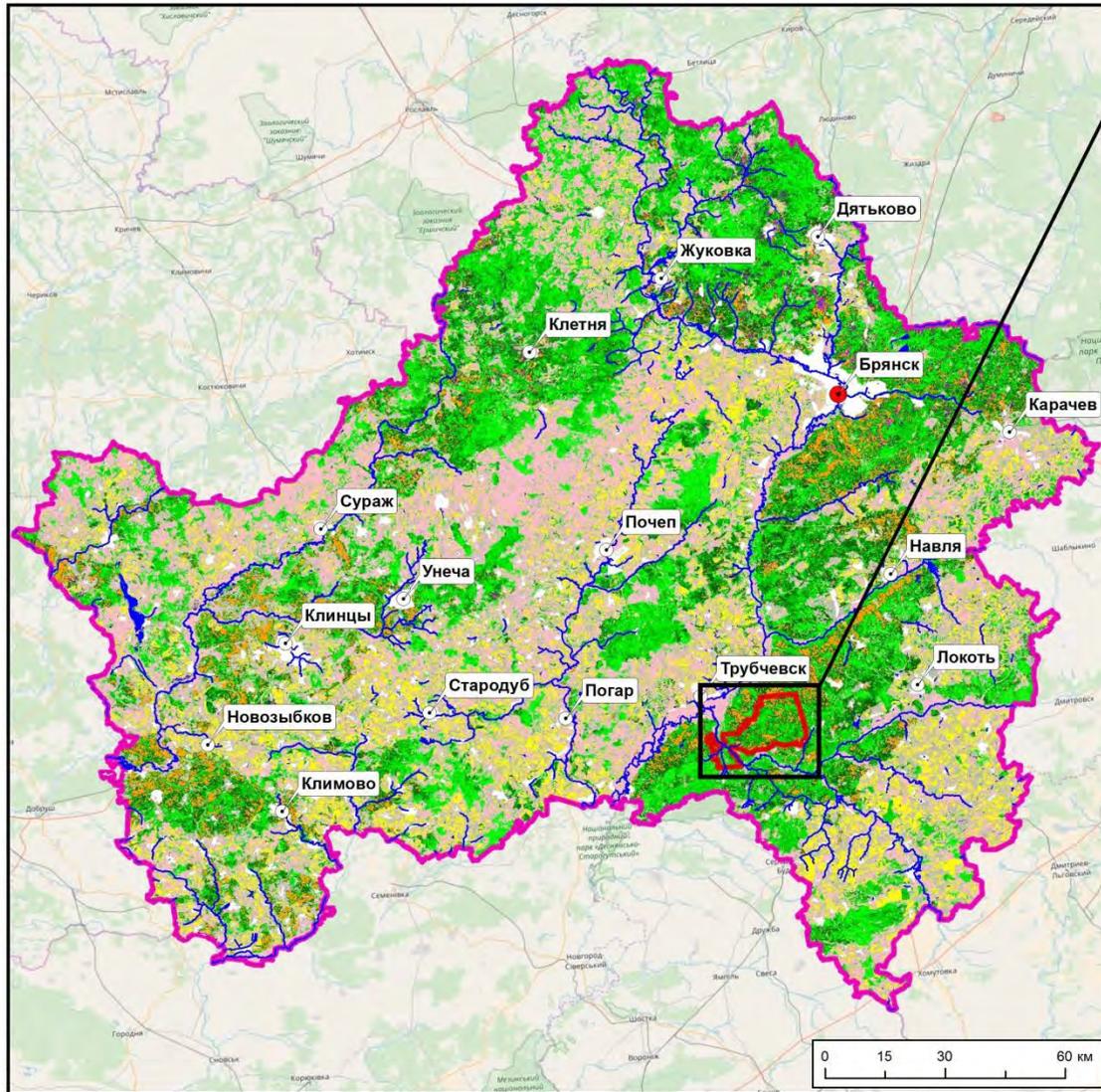
Карта лесных экосистем Иркутской области



Класс на карте	Описание класса
Темнохвойные леса	Насаждения, в пологе которых не менее 80% площади крон составляют теневыносливые виды хвойных деревьев, включая ель, пихту и кедр.
Светлохвойные леса	Насаждения, в пологе которых не менее 80% площади крон составляют деревья сосны обыкновенной.
Лиственные леса	В пологе насаждений не менее 80% площади занимают кроны березы, осины, а также широколиственных пород, включая дуб, липу, ясень, клен, вяз и др.
Смешанные леса с преобладанием хвойных пород	Кроны деревьев хвойных пород занимают 60-80%, а лиственных 20-40% площади полога насаждений.
Смешанные леса	Площади крон деревьев хвойных и лиственных пород представлены примерно в равных пропорциях (40-60%) в пологе насаждений.
Смешанные леса с преобладанием лиственных пород	Кроны деревьев лиственных пород занимают 60-80%, а хвойных 20-40% площади полога насаждений.
Хвойные листопадные леса	В пологе насаждений кроны лиственницы занимают не менее 80% площади.
Хвойные листопадные редины	Участки, занятые отдельно стоящими деревьями или разреженными насаждениями лиственницы с проективным покрытием крон менее 30%.
Хвойные вечнозеленые кустарники	Кустарниковые заросли или низкоствольные леса из кедрового стланика.
Не покрытые лесной растительностью земли	Земли, суммарное проективное покрытие которых лесной растительностью всех видов не превышает 20%, включая луга, степи, тундры, водно-болотные комплексы, пашни, открытые грунты и выходы горных пород.
Реки и водоемы	Открытые водные объекты, включая озера, водохранилища и реки.
Урбанизированные территории	Населенные пункты, дороги и другие образования антропогенного происхождения.

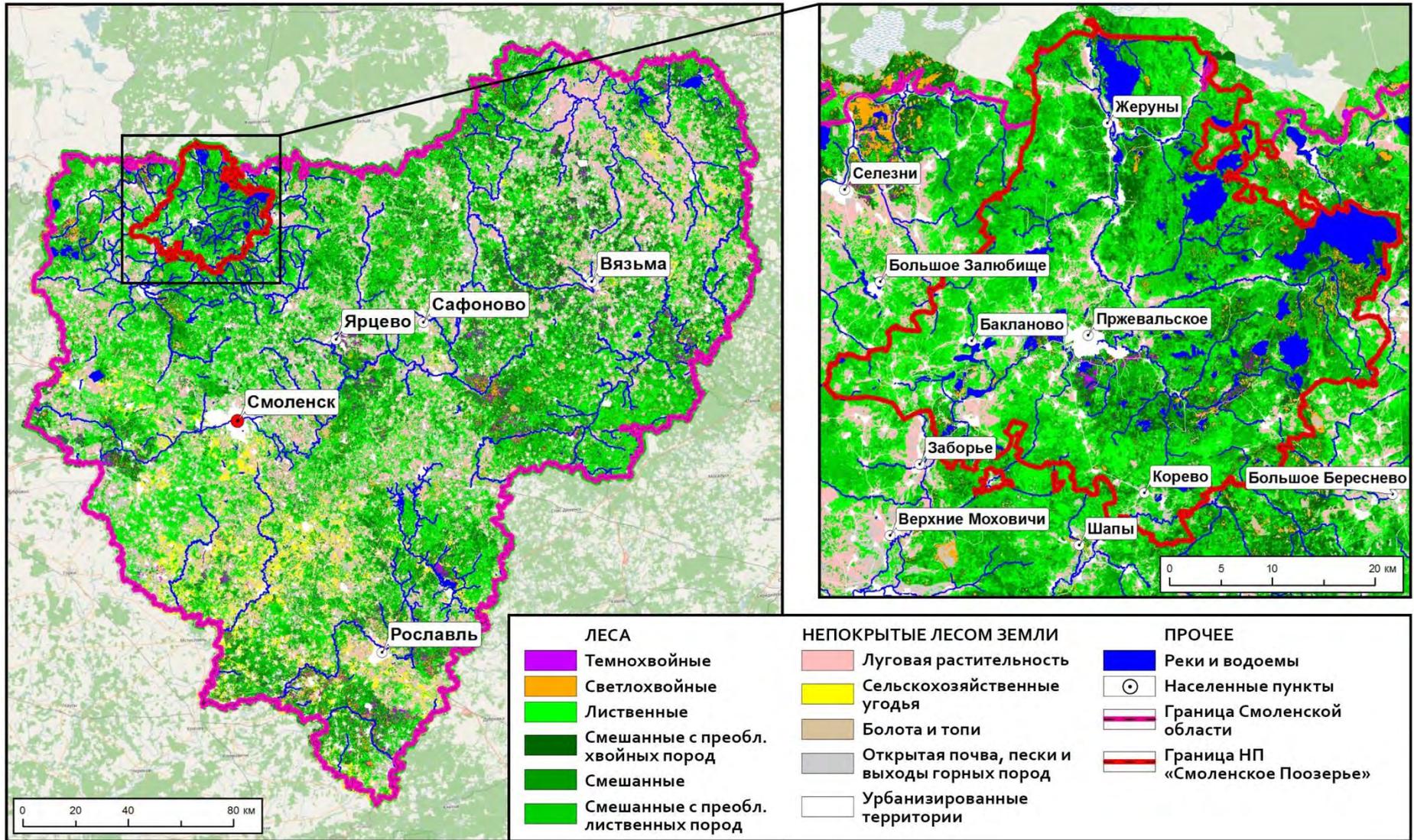
За счет средств Госзадания ЦЭПЛ РАН, Программы Президиума РАН «Живая природа», хоз. договоров поддержки ИСДМ-Рослесхоз 2014 г.

Карта наземных экосистем Брянской области



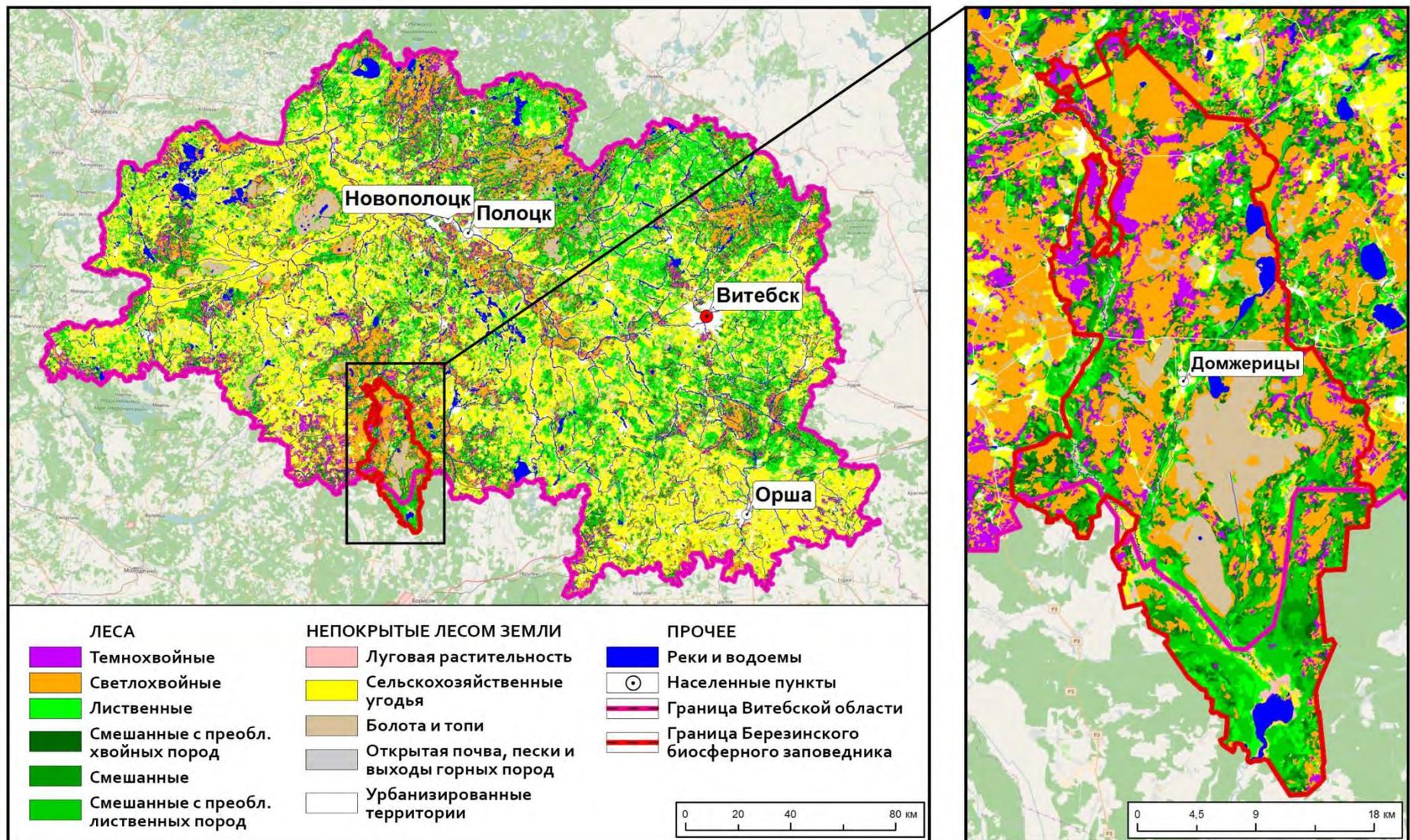
За счет средств гранта РФФИ № 15-29-02697 (2015-2016 гг.): Выявление роли экосистемных инженеров и биоразнообразия в функционировании лесов на основе синтеза наземных и спутниковых данных

Карта наземных экосистем Смоленской области



За счет средств гранта РФФИ № 16-54-00142 (2016-2017 гг.): Трансформация растительного покрова сопредельных регионов Российской Федерации и Республики Беларусь в связи с современными изменениями землепользования

Карта наземных экосистем Витебской области (республика Беларусь)



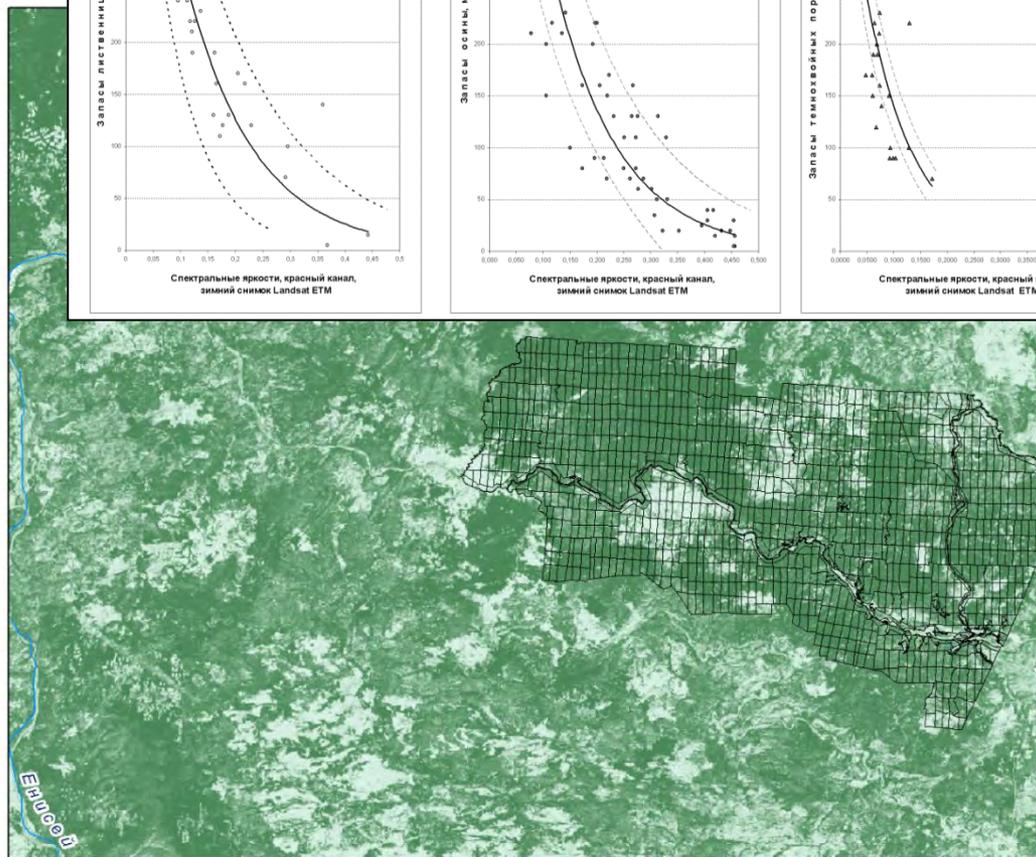
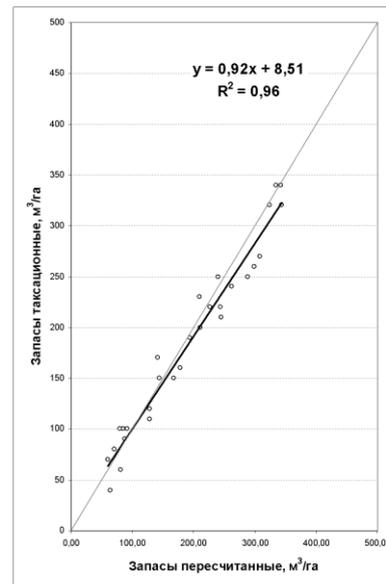
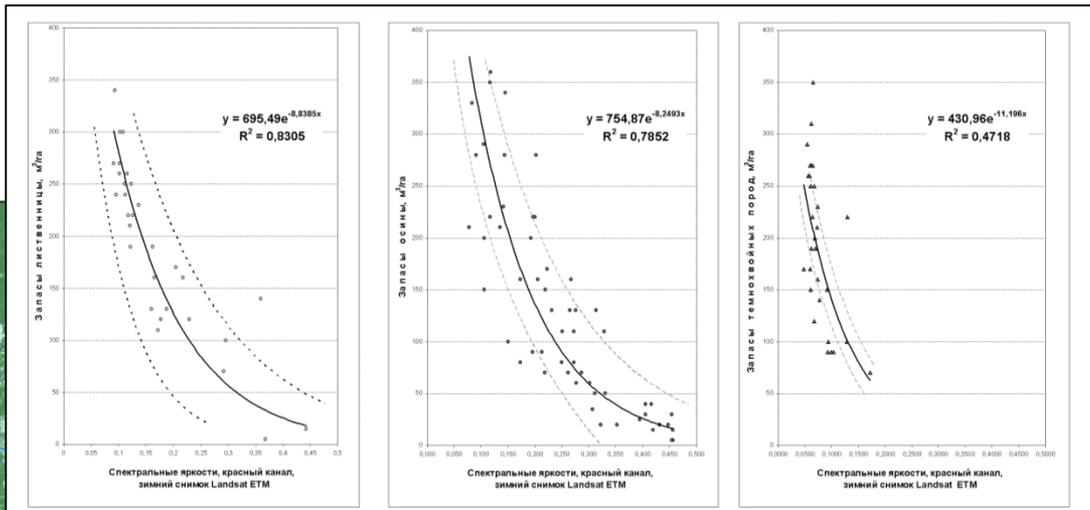
За счет средств гранта РФФИ № 16-54-00142 (2016-2017 гг.): Трансформация растительного покрова сопредельных регионов Российской Федерации и Республики Беларусь в связи с современными изменениями землепользования

Оценка запасов лесов на основе регрессионных взаимосвязей спектральных характеристик с данными таксации

Лиственница

Осина / Береза

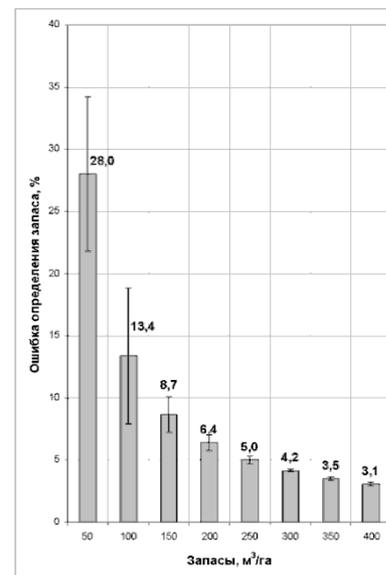
Ель



Оценка точности

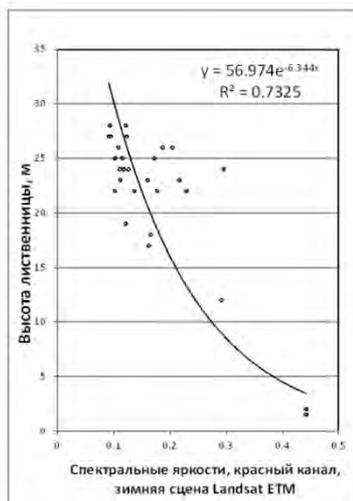


Легенда



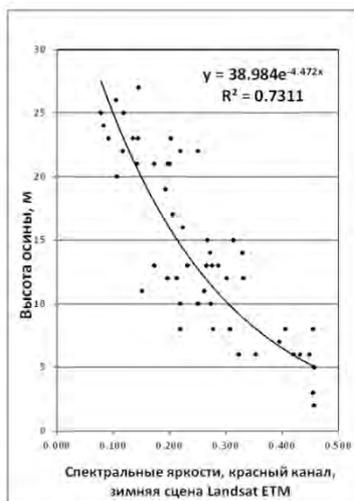
Оценка возраста лесов на основе регрессионных взаимосвязей спектральных характеристик с данными таксации

Лиственница



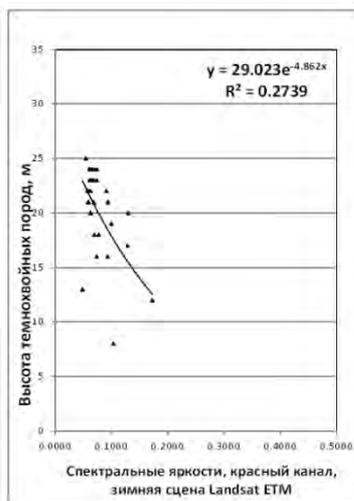
(а)

Осина / Береза

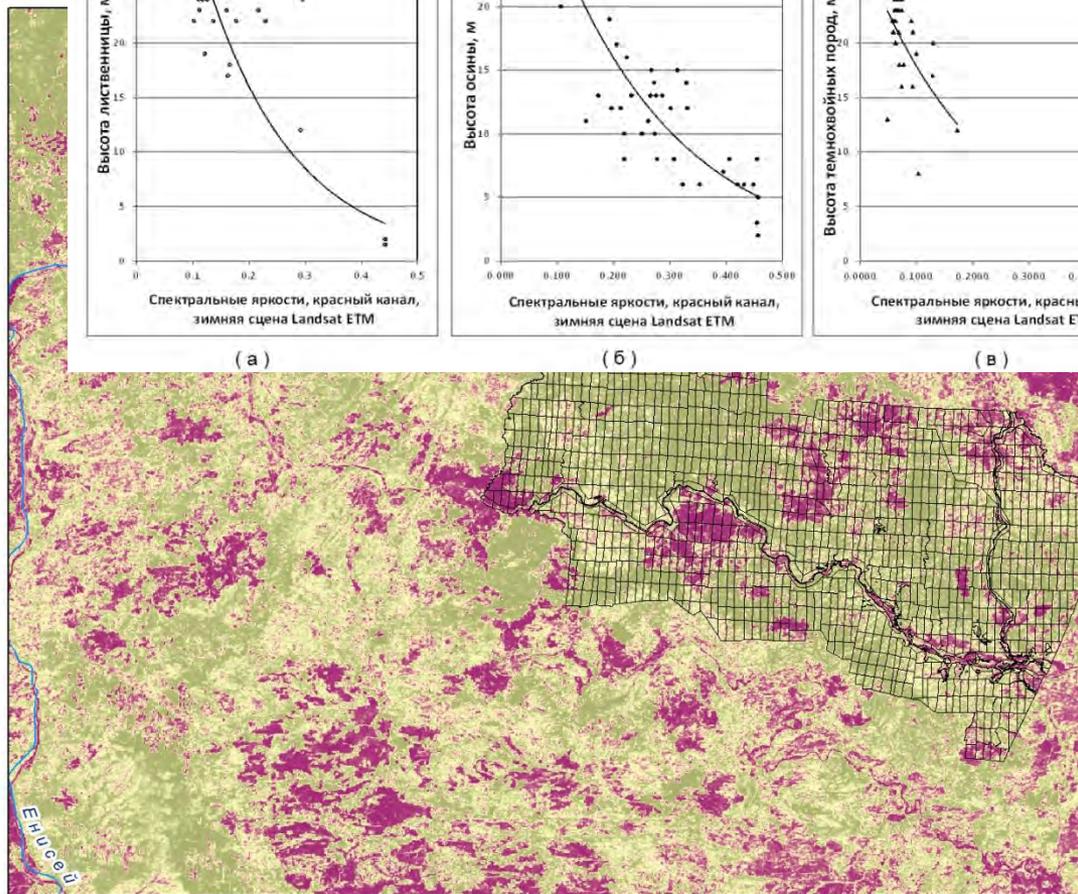
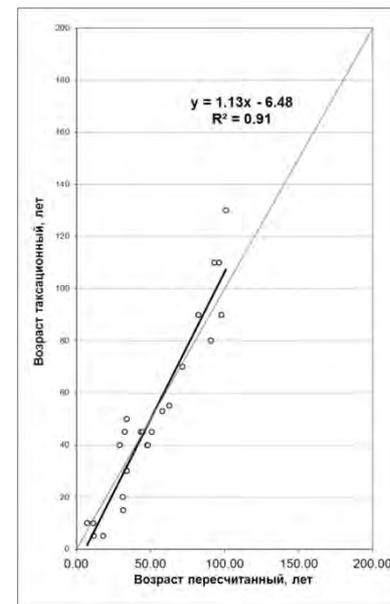


(б)

Ель



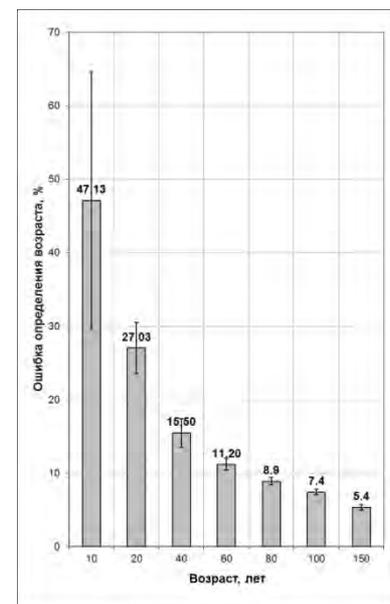
(в)



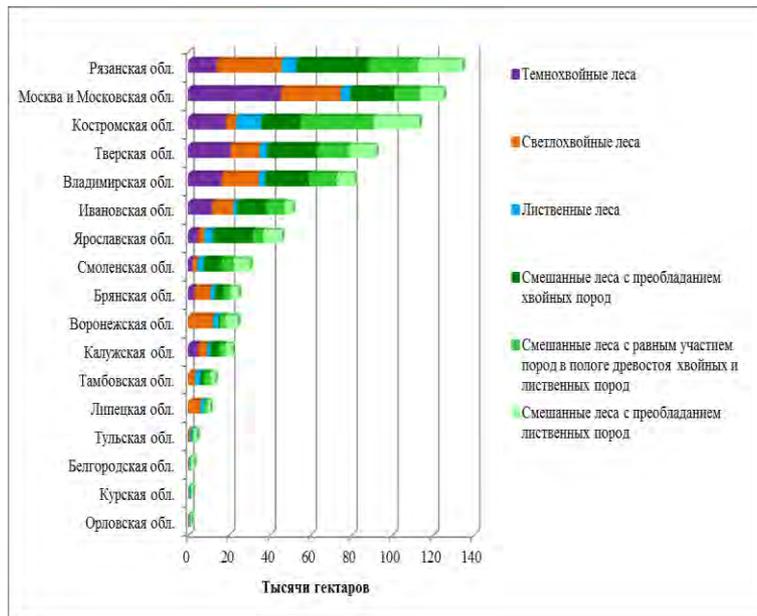
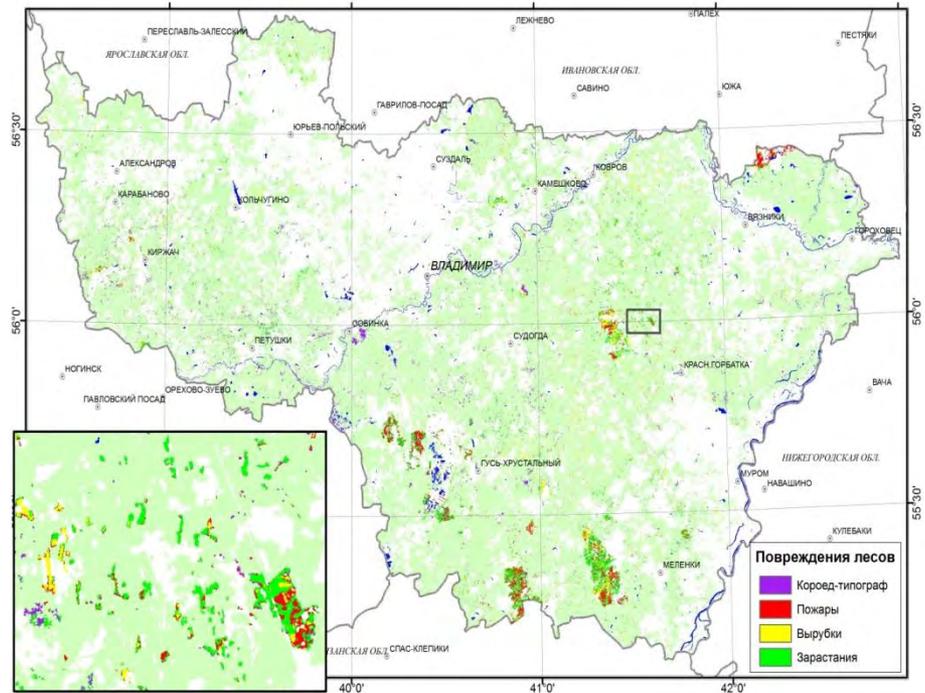
Оценка точности

Легенда

Высокий : 176.296
Низкий : 11.8109



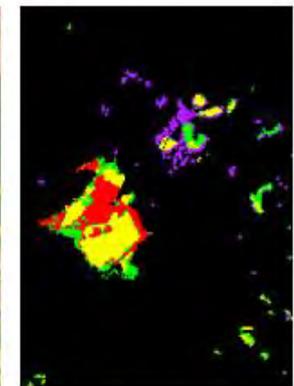
Выявление и классификация нарушений в лесах (вырубки, пожары, насекомые-вредители, восстановление)



Мозаика Landsat 2010 год



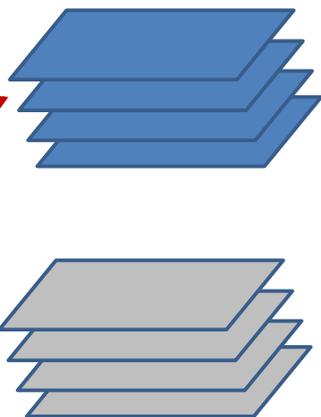
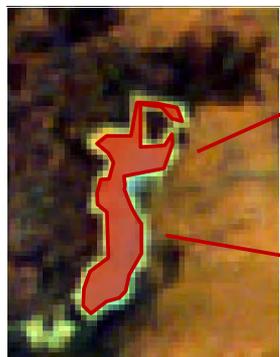
Мозаика Landsat 2010 год



Типы нарушений

Оценка зарастания вырубок

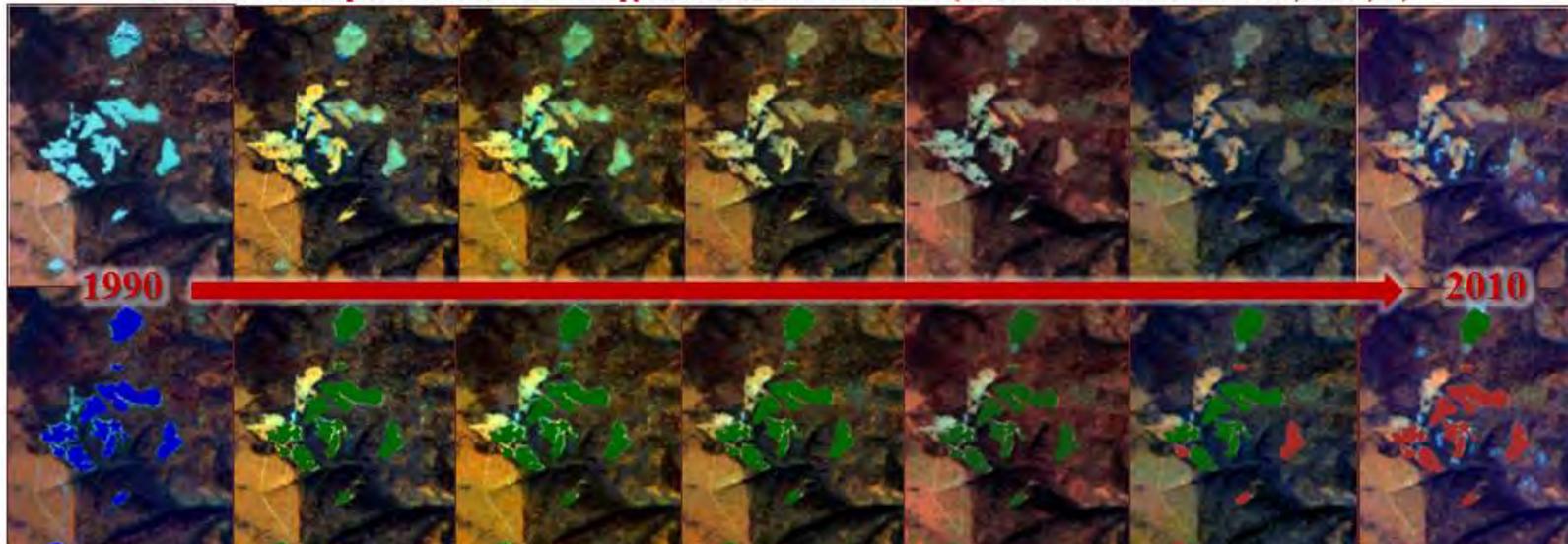
Красноярский край



$$V_{\text{год}i} = V_{\text{год}(i-1)} + M_{x,\text{год}i}$$



Восстановление растительности на вырубках по данным Landsat (комбинация каналов: БИК, СИК, К):



Классификация вырубок: синий – свежие вырубки, зеленый – восстановление растительности, коричневый – восстановленный лес

Белова Е.А. и Ершов Д.В., Лесоведение, 2015, № 5, с. 339–345

Оценка зарастания с/х земель

Национальный парк «Смоленское Поозерье»

Временной ряд изображений

Ландсат за период с 1985 по 2015 гг.

Алгоритм заполнения пропусков в измерениях спектральных каналов

Заполнение пропусков в измерениях спектральных яркостей из-за облачного покрова и теней от облаков с помощью статистического алгоритма кросс-скользящего среднего SMA в окне размером [1x15] (Гришилов и др., 1997).

$$SMA_{R_{ij}} = \frac{1}{L} \sum_{l=1}^{L-1} R_{i-l} + \frac{R_{ij}}{L} + \frac{1}{L} \sum_{l=1}^{L-1} R_{i+l}$$

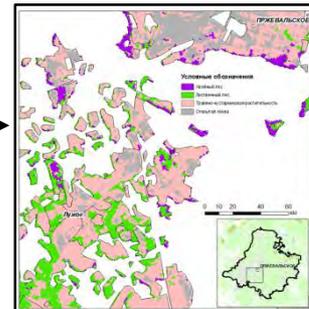
где $SMA_{R_{ij}}$ – простое скользящее среднее значение в точке R_{ij} ; L – размер скользящего интервала (окна); i – количество измерений от центрального пиксела, включая сам центральный пиксел (в нашем случае $m=3$); j – номер значения в скользящем интервале; s – номер пиксела во временном ряду, для которого производится расчет среднего; R – яркость спектрального канала.

Границы с/х полей

ГРАНИЦЫ НЕЛЕСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Оцифровка границ нелесных территорий Национального Парка «Смоленское Поозерье» проводилась на основе картографических материалов 1970-80 х годов и спутниковых данных геопортала «Панорама Земель» (<http://kh.google.com>)

Площадь выделенных нелесных территорий по нашим оценкам составила 37575 га



Классифицировались алгоритмом «Random Forest» следующие стадии восстановительных сукцессий:

- 1 – открытая почва (ОП),
- 2 – травяно-кустарниковая растительность (ТК),
- 3 – лиственный лес (ЛЛ),
- 4 – хвойный лес (ХЛ)

Выбор эталонных участков для классификации

Выбор эталонных участков для классификации

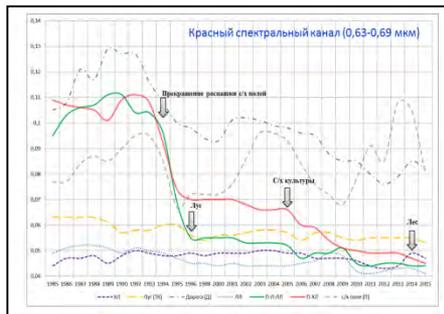
2012 год

1990 год

2015 год

Google Earth, WordView (2 м)

Landsat мозаика (30 м)



Оценка площадей

Наземные обследования



Урочище Заходы

Очень пестрая картина зарастания (береза, сосна, ель)

Т.61. Луг разнотравный. Отдельный подрост сосны (6-9 лет) и березы

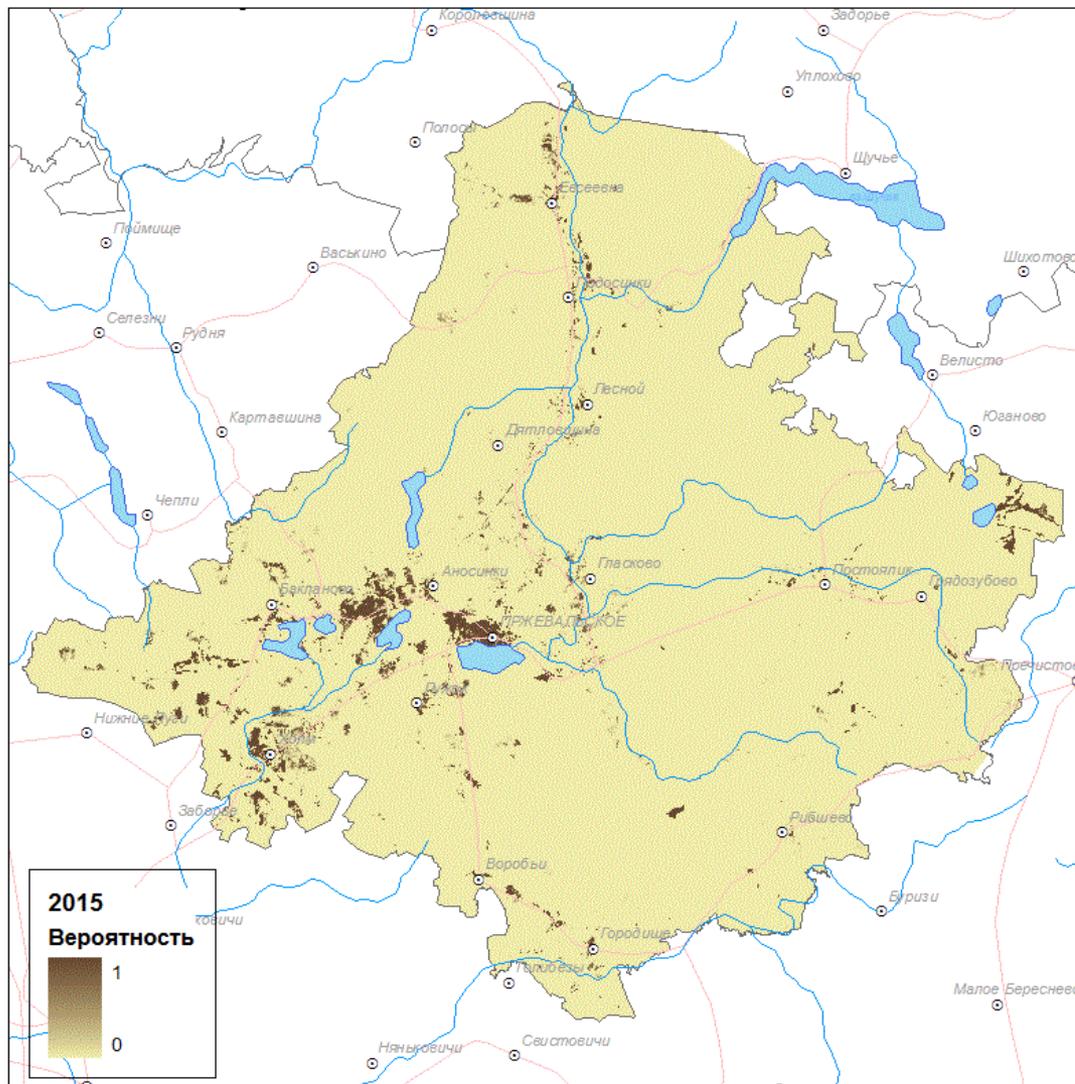
Поле за деревней Клин

Т.76. Березовый явлово-малиновый лес. Возраст ~ 30 лет. Высота 12-15 м, диаметр 6-15 см

Т.77. Явлово-ольгово-березовый малиново-явловоый лес. Возраст ~ 25 лет. Высота 10-13 м, диаметр 5-12 см

За счет средств гранта РФФИ № 16-54-00142 (2016-2017 гг.): Трансформация растительного покрова сопредельных регионов Российской Федерации и Республики Беларусь в связи с современными изменениями землепользования

Пространственная динамика сокращения площади с/х полей с 1985-2015 гг.



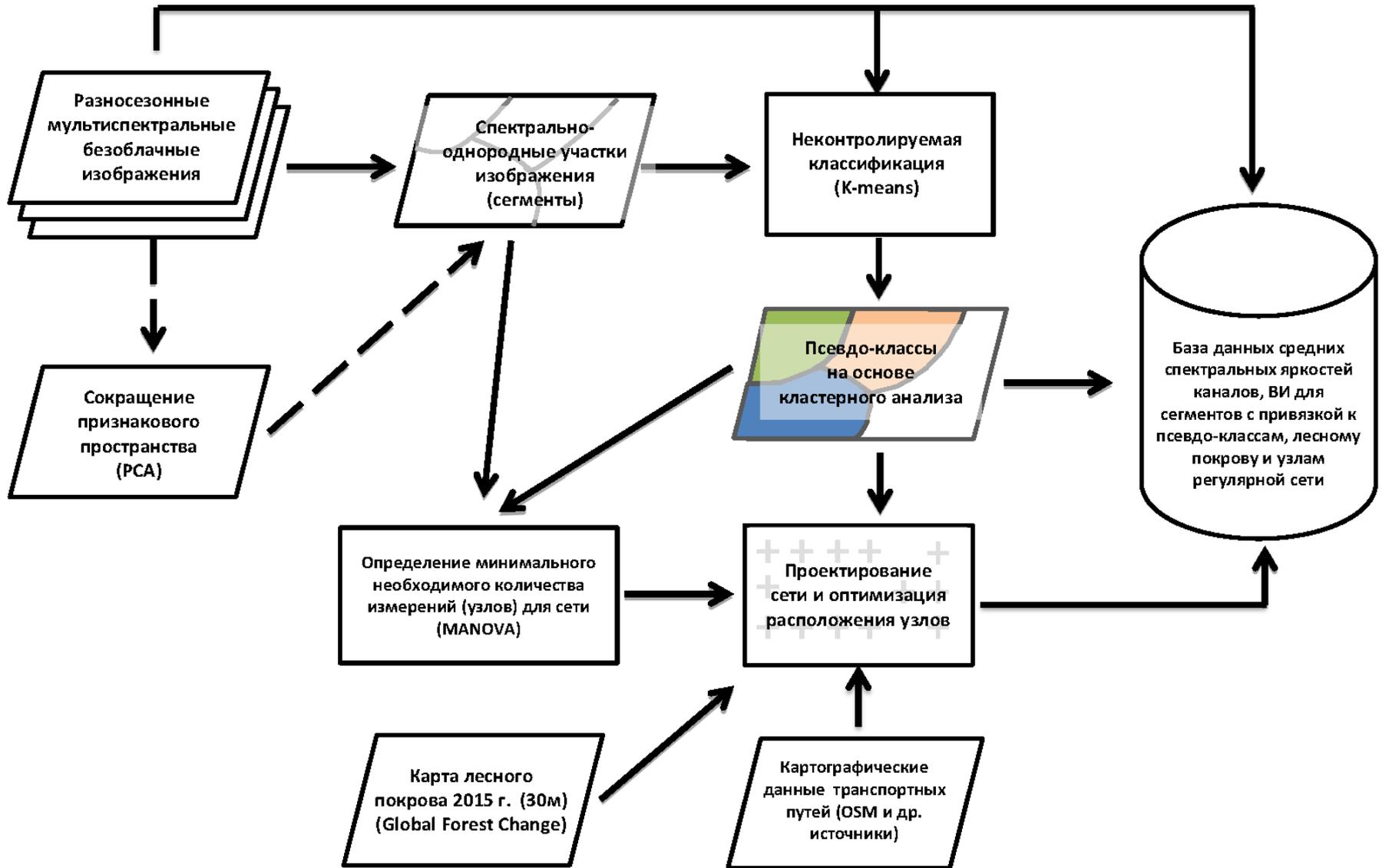
Единый подход к дистанционной оценке характеристик лесов для ресурсного и экологического мониторинга в рамках комплексной программы научных исследований

(КПНИ ЛЕС)

Основные методы и подходы

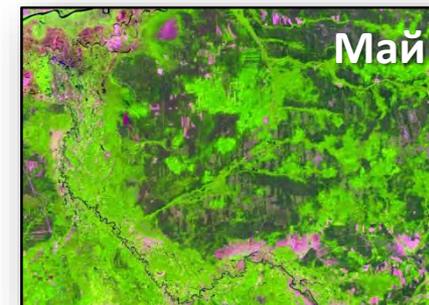
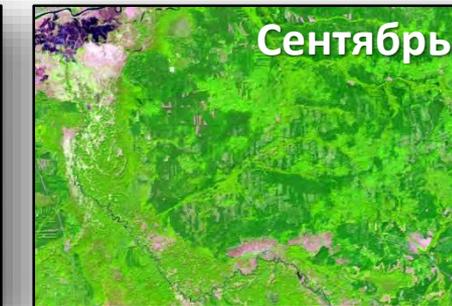
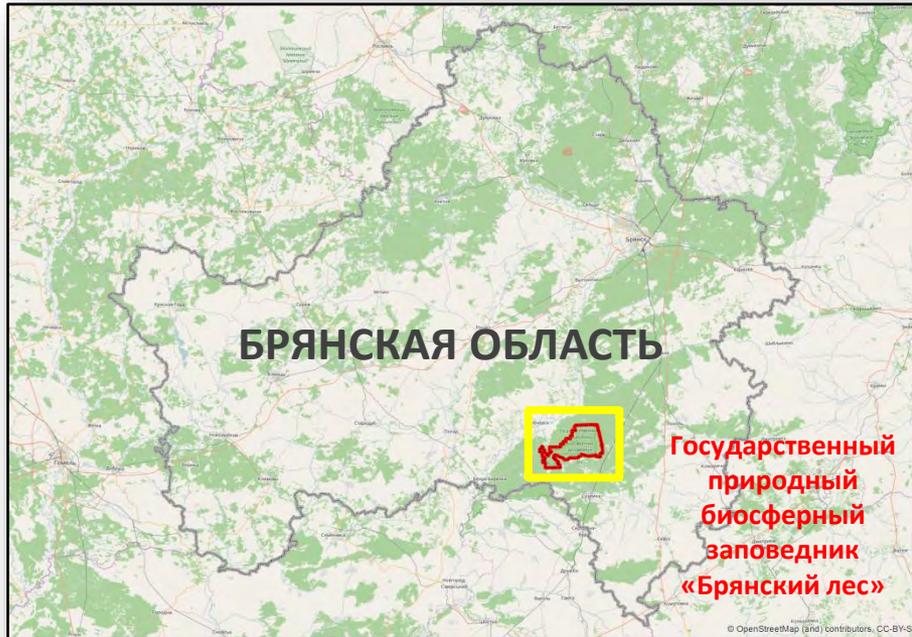
- Методы сегментации спутниковых изображений для выделения однородных участков лесов по спектрально-отражательным характеристикам
- Методы проектирования регулярных сетей пробных площадей на основе анализа вариабельности спектральных яркостей сегментов
- Методы автоматизированной обработки детальных изображений пробных площадок (пунктов наблюдений) регулярных сетей для определения ключевых характеристик лесов (сомкнутость, породный состав, размер крон деревьев, усохшие кроны)
- Восстановление характеристик лесного участка через аллометрические уравнения (средняя высота и возраст, запас)
- Методы классификации (Random forest, SVM и др.) с обучением для установления и переноса статистических взаимосвязей спектрально-отражательных и биометрических характеристик лесов на разные пространственные уровни
- Методы экстраполяции данных, которые не могут оцениваться напрямую дистанционными методами

Проектирование регулярной сети на основе ДЗЗ



Пример на локальном уровне: заповедник «Брянский лес»

Исходные данные



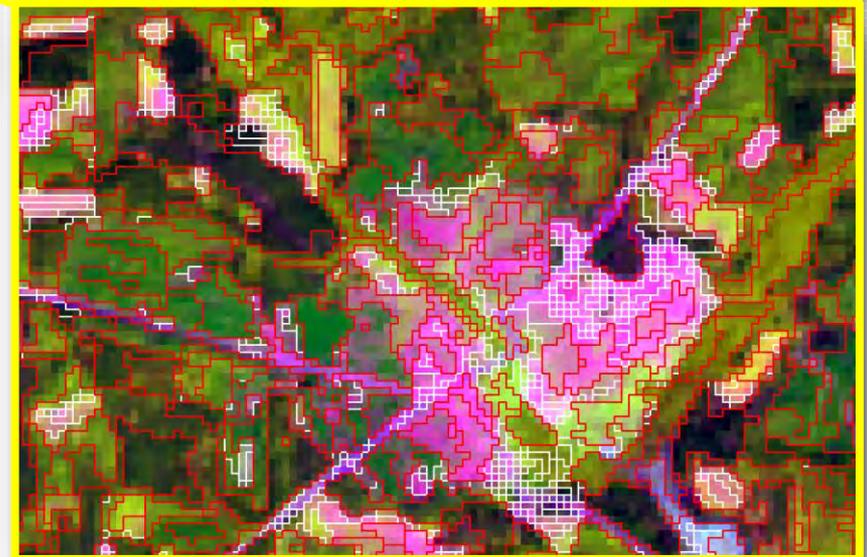
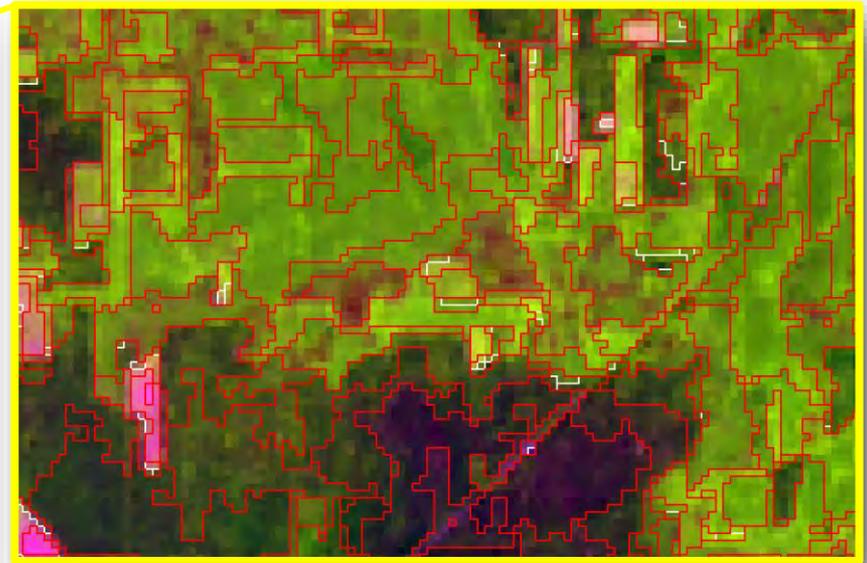
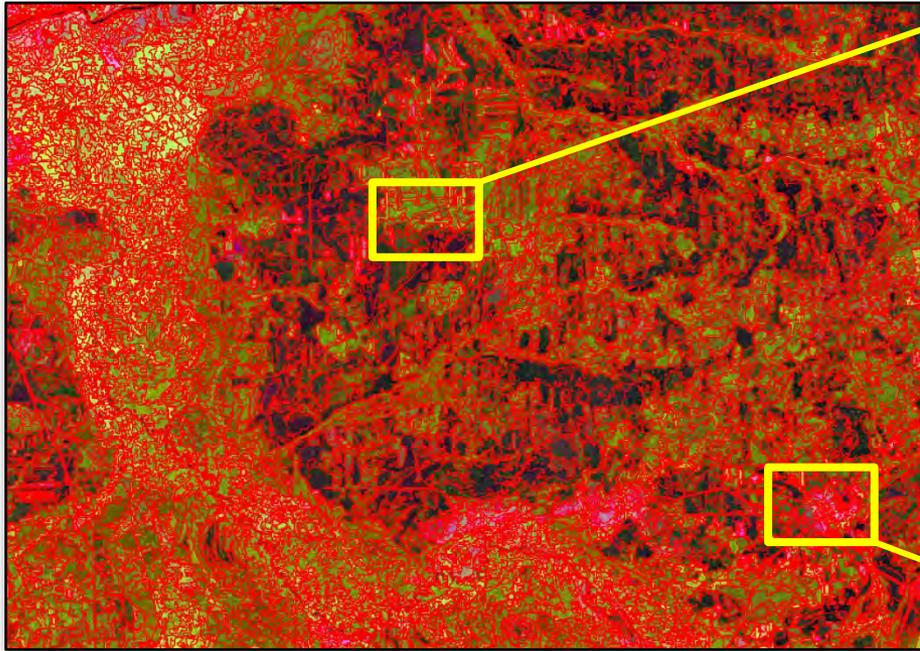
Шесть разносезонных сцен Landsat-OLI пространственным разрешением 30 м в четырех спектральных каналах:

- красный (0,63-0,69 мкм)
- ближний ИК (0,75-0,9 мкм)
- средний ИК-1 (1,55-1,75 мкм)
- средний ИК-2 (2,09-2,35 мкм)

Всего – 24 информационных слоя

Пример на локальном уровне: заповедник «Брянский лес»

Сегментация спутникового изображения



Алгоритм Full Lambda Schedule (FLS)

(Redding et al., 1999)

Средний размер сегмента:

45 пикселей (\approx 4 га)

Критерии для сегментации:

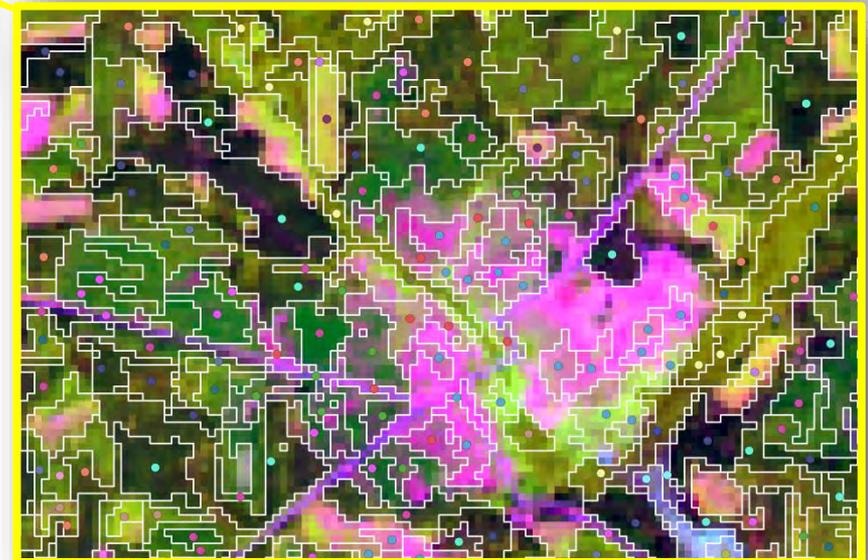
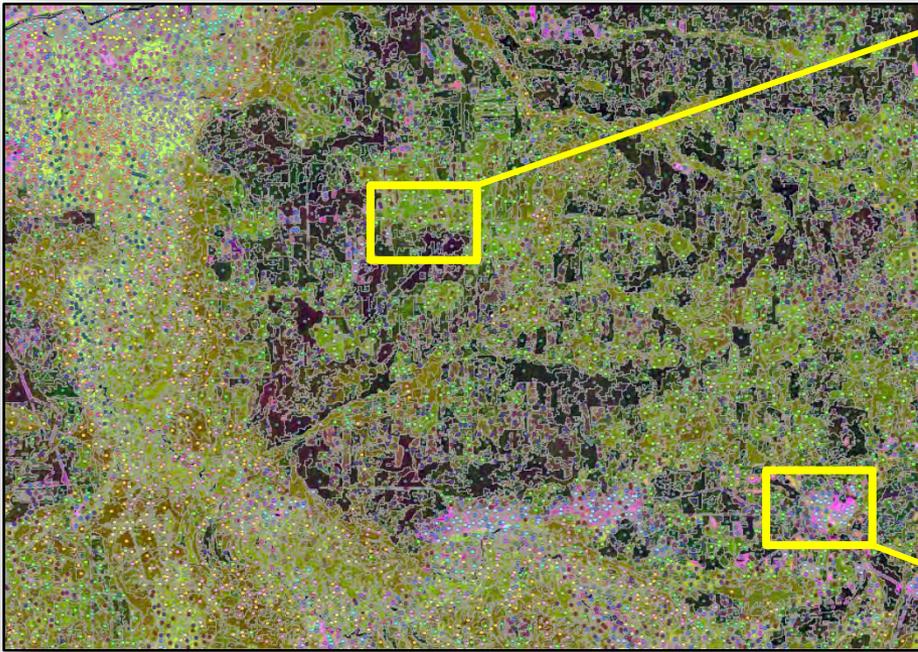
спектральная яркость и размер сегмента

Порог отбора по площади:

1 га (12 пикселей)

Пример на локальном уровне: заповедник «Брянский лес»

Неконтролируемая классификация сегментов



Метод k-means с инициализацией
центров по алгоритму k-means++
(Arthur & Vassilvitskii, 2007)

*Критерий для выбора
оптимального числа кластеров:*

$$\overline{R^2} > 0.9$$

Число кластеров : 30

Пример на локальном уровне: заповедник «Брянский лес»

Оценка минимального необходимого размера обучающей выборки

Многофакторный дисперсионный анализ (MANOVA test) в ПО G*Power
(Faul et al., 2013)

Число групп = число кластеров = 30

Число переменных = число спектральных каналов = 24

Вероятность ошибок первого рода:

$$\alpha = 0,05$$

Необходимая мощность выборки:

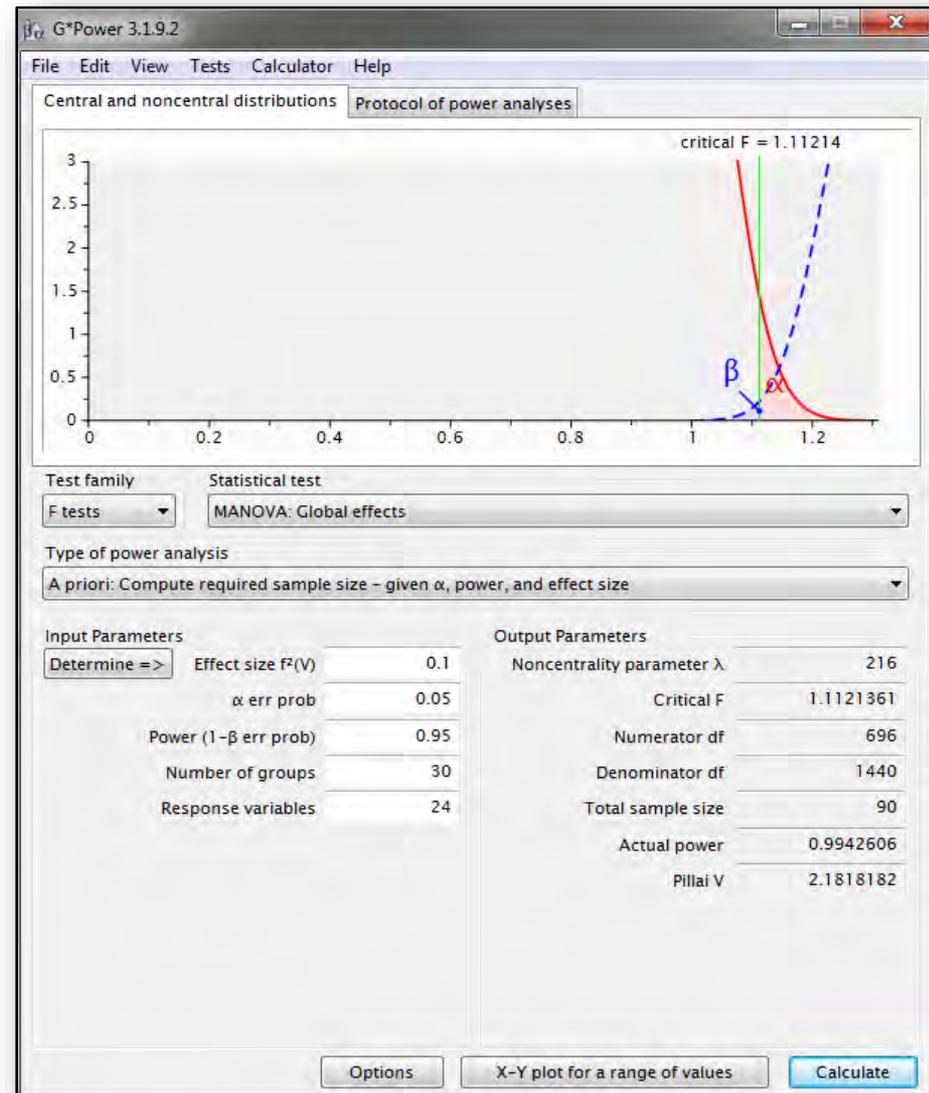
$$1 - \beta = 0,95$$

Величина эффекта:

$$f^2(V) = 0.1$$

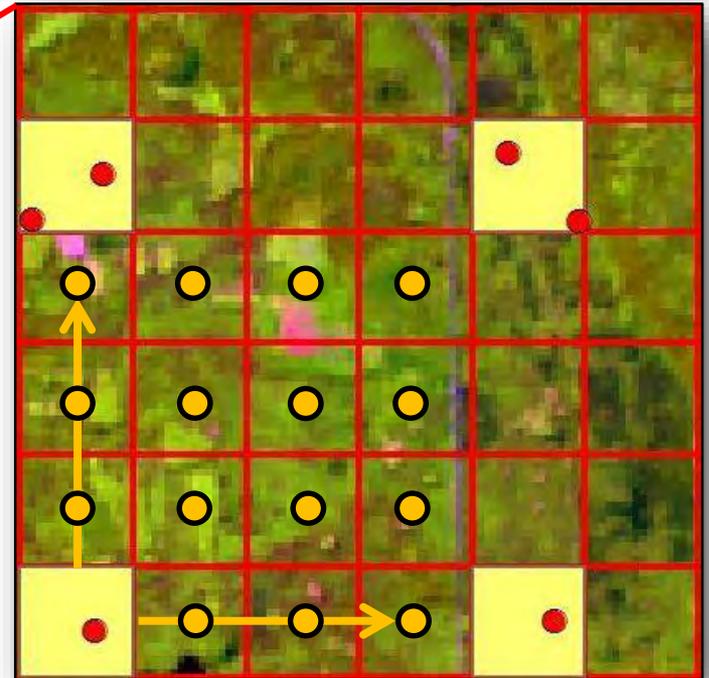
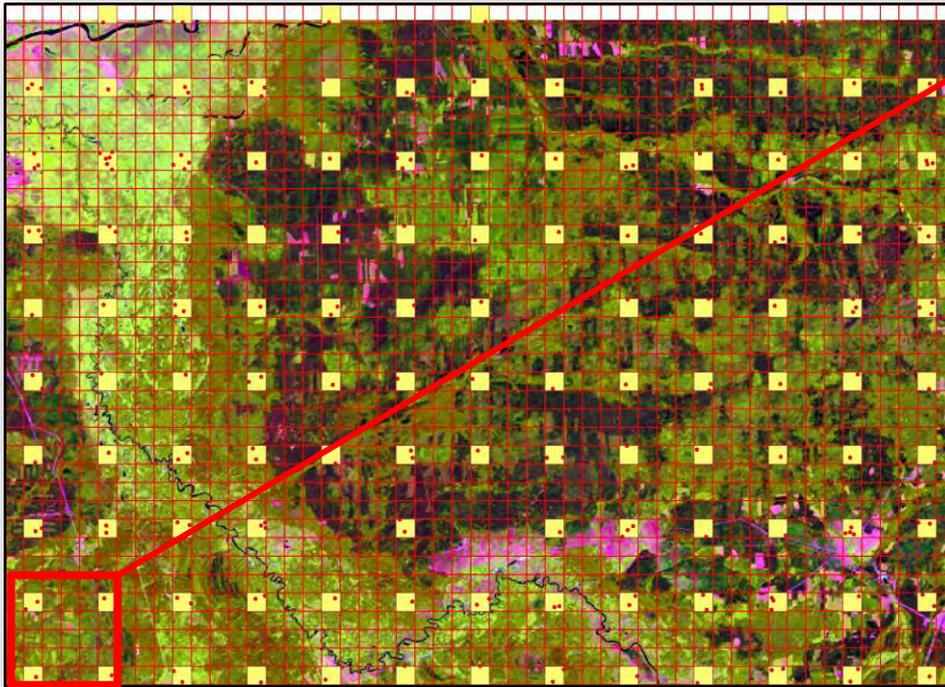
Рассчитанный размер выборки:

$$N = 90$$



Пример на локальном уровне: заповедник «Брянский лес»

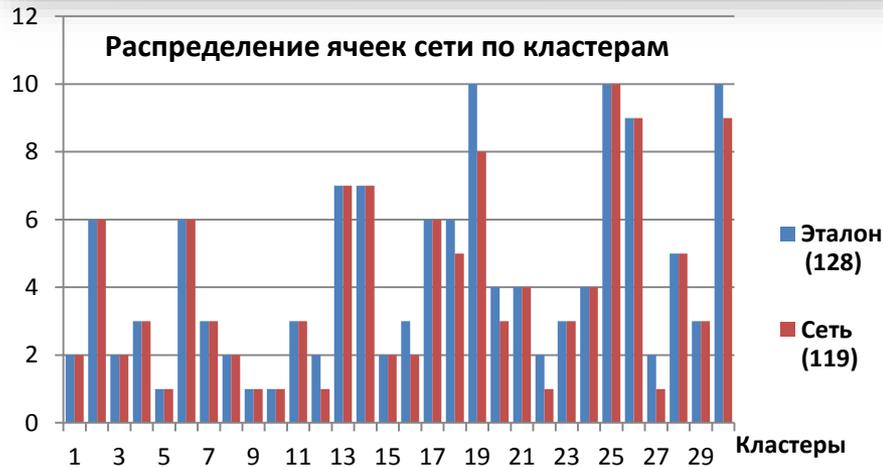
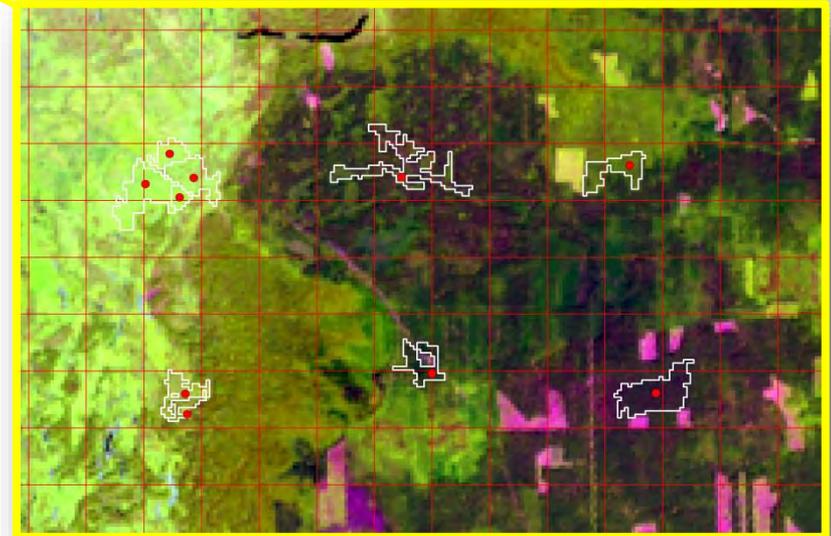
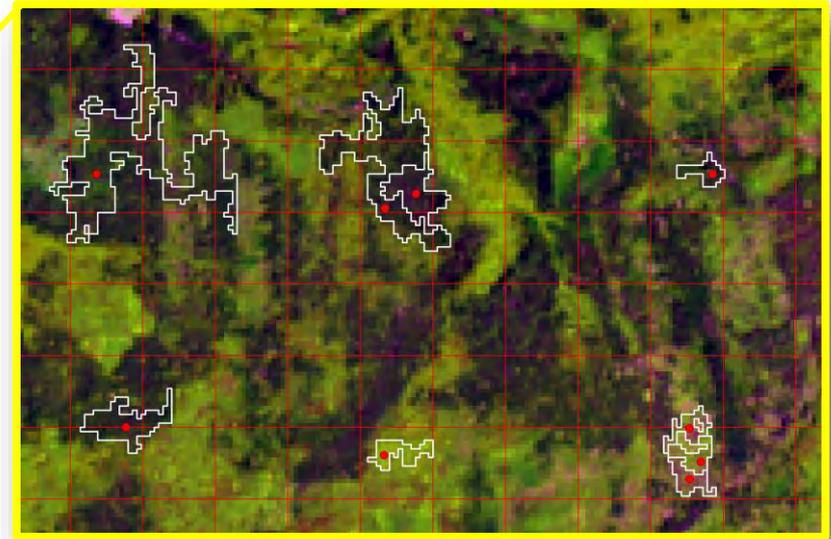
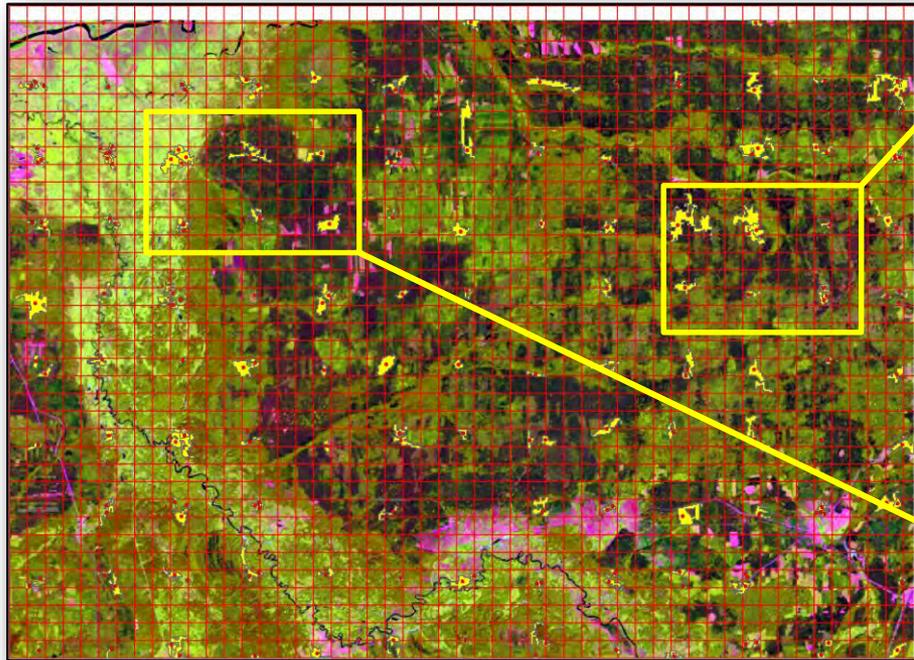
Позиционирование регулярной сети



- 1) Выбор шага базовой регулярной сети s (в примере $s = 500$ м);
- 2) Расчёт шага проектируемой сети $S = s * \text{floor}(\sqrt{n_s / N})$, где n_s – число ячеек базовой сети, N – минимальный объем обучающей выборки (в примере $S = 2$ км);
- 3) Распределение объема обучающей выборки по кластерам пропорционально числу сегментов;
- 4) Выбор положения проектируемой сети относительно базовой, основываясь на 3 критериях:
 - Максимальное число охваченных кластеров (в идеале – все)
 - Максимальное число заполненных сегментами ячеек сети (не меньше N)
 - Максимум корреляции распределения ячеек сети по кластерам с распределением объема обучающей выборки (не ниже определенного порога, в примере $R^2 > 0.9$)

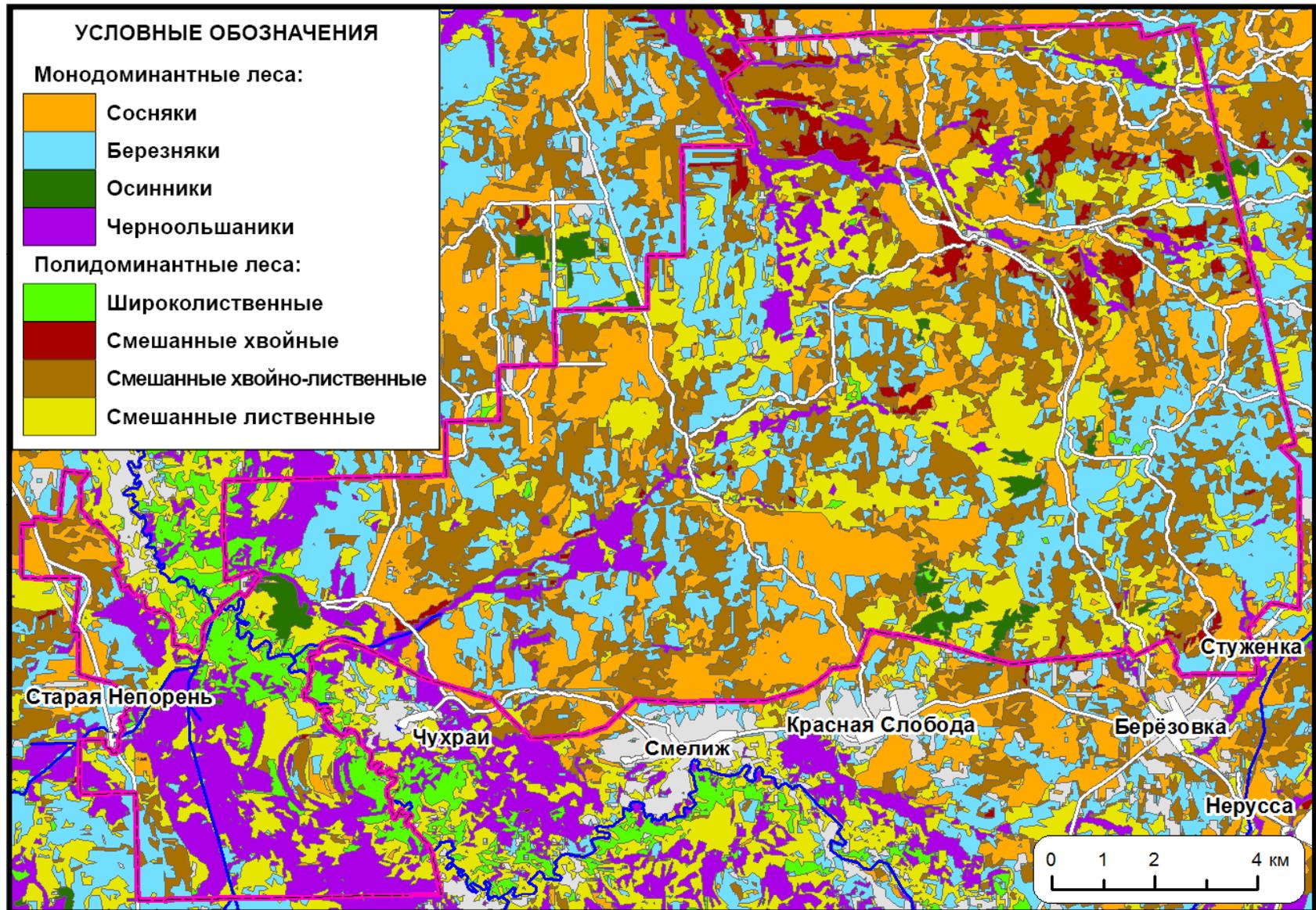
Пример на локальном уровне: заповедник «Брянский лес»

Регулярная сеть сегментов – основа обучающей выборки



Пример на локальном уровне: заповедник «Брянский лес»

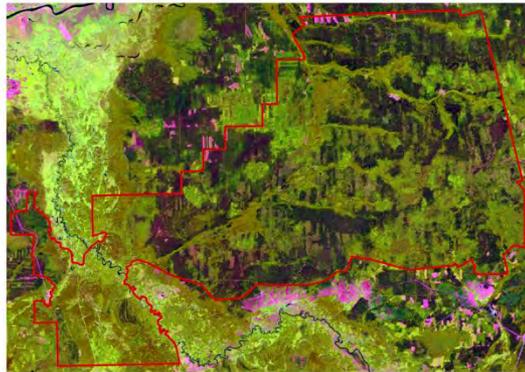
Результаты классификации спутникового изображения: породы



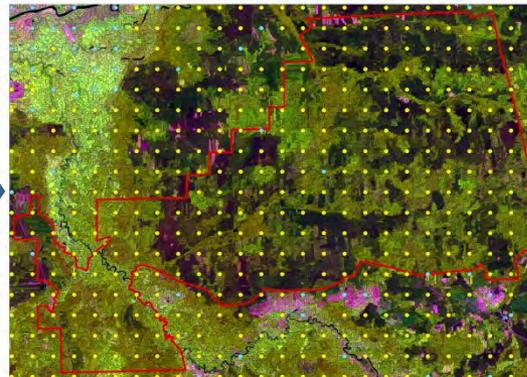
Пример на локальном уровне: заповедник «Брянский лес»

Результаты классификации спутникового изображения: запас

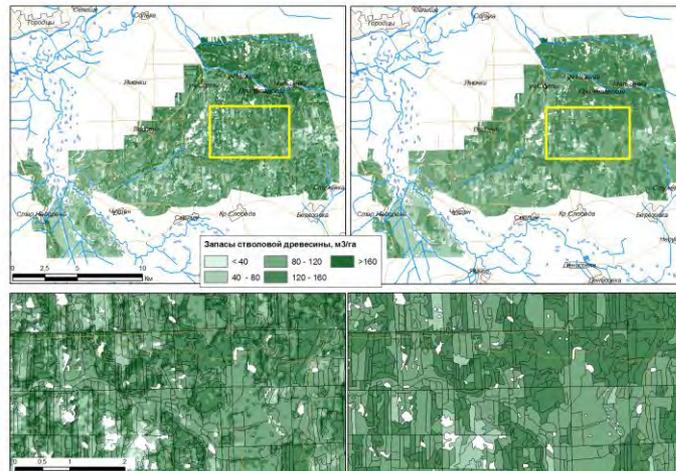
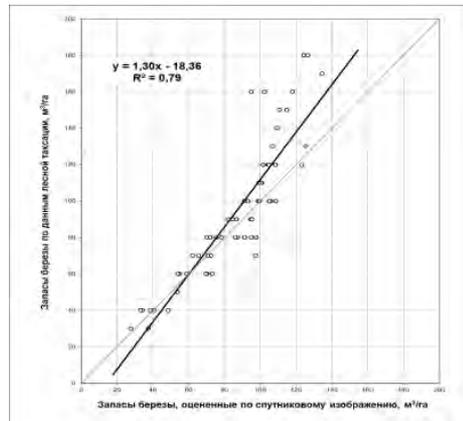
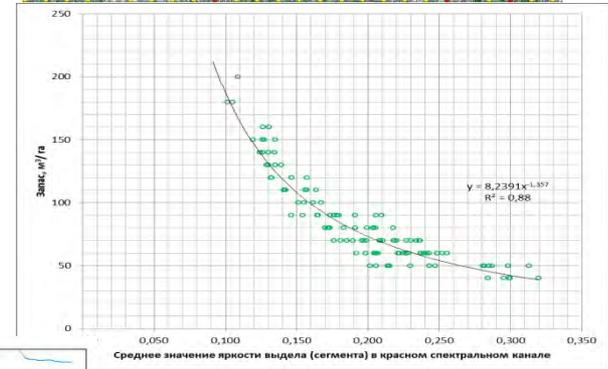
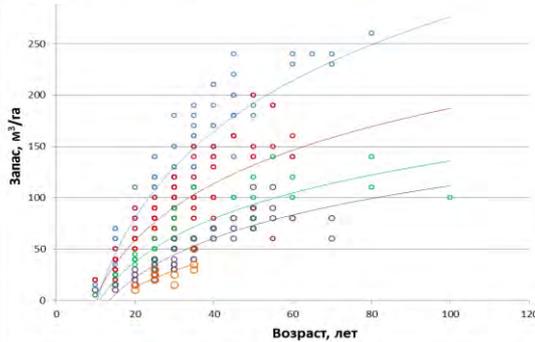
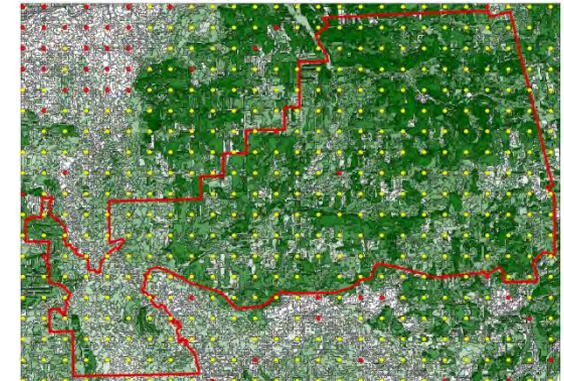
Landsat



Сегменты и сеть площадок

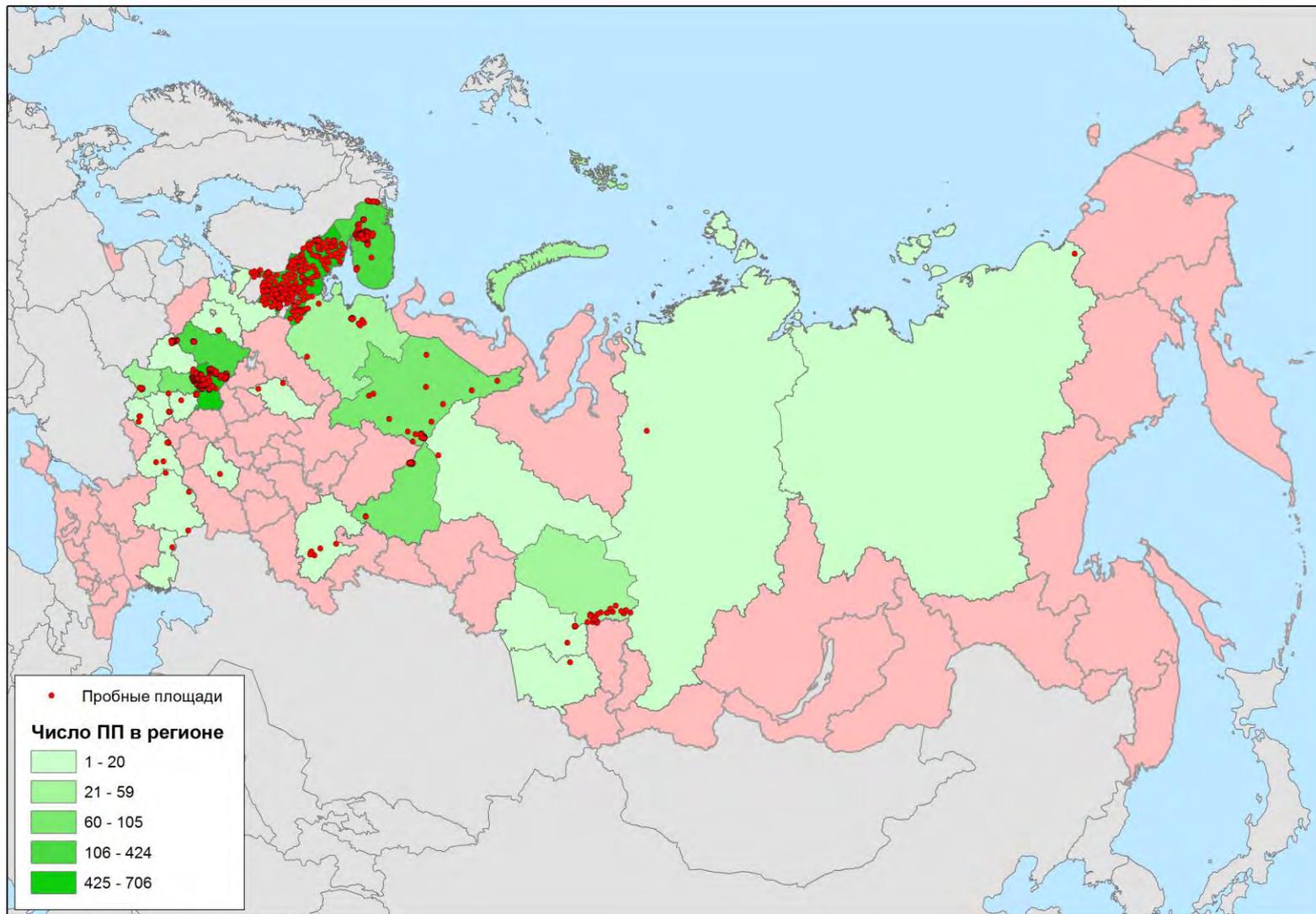


Сеть площадок и данные таксации



Карта запасов березы на основе установленных взаимосвязей со спектральными яркостями в красном канале зимней сцены Landsat

Наземные пробные площади участников КПНИ «Лес» (на начало 2017 года)



Всего: 2705 ПП в 28 регионах

Наземные пробные площадки и прототип регулярной сети Московская область

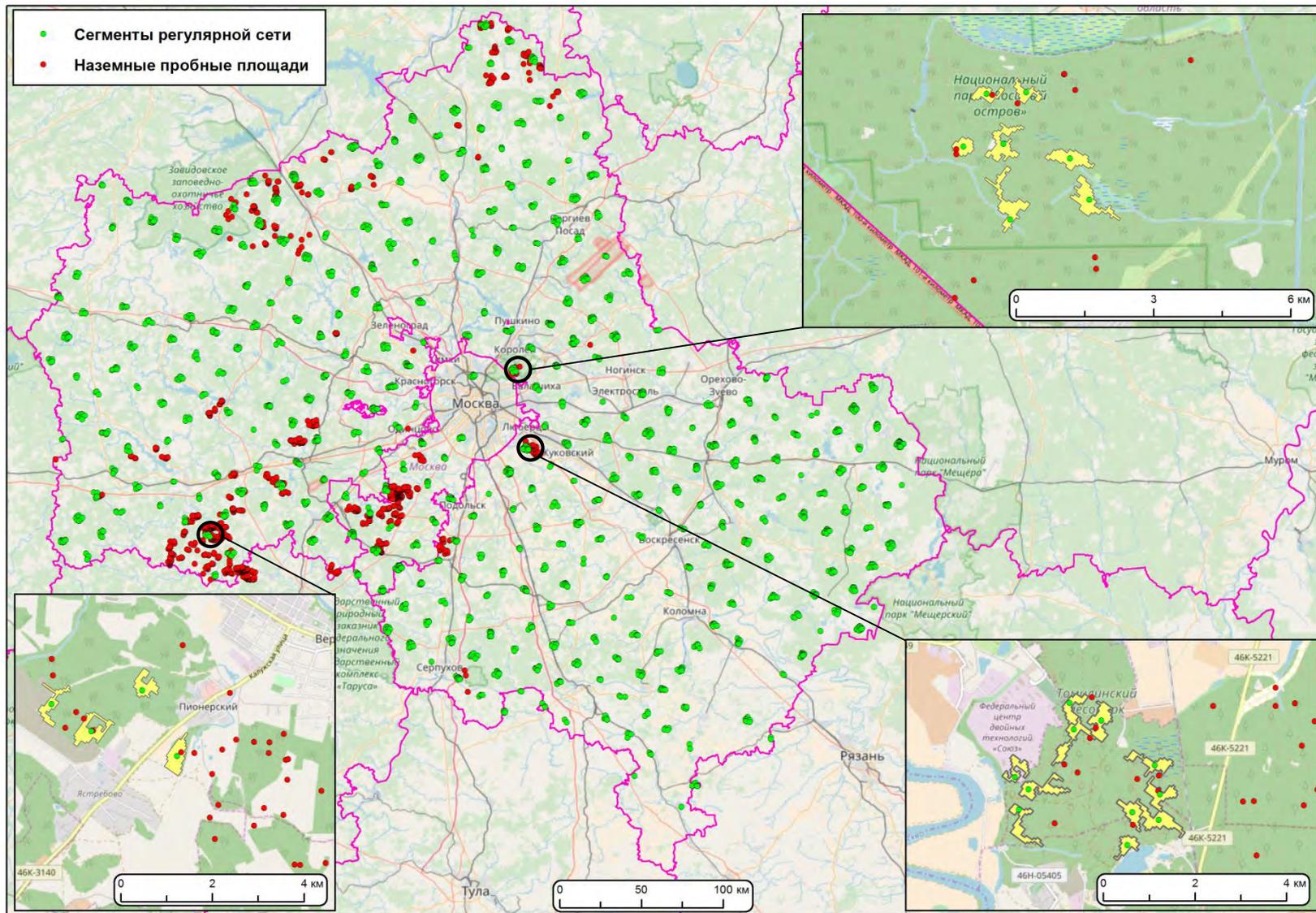
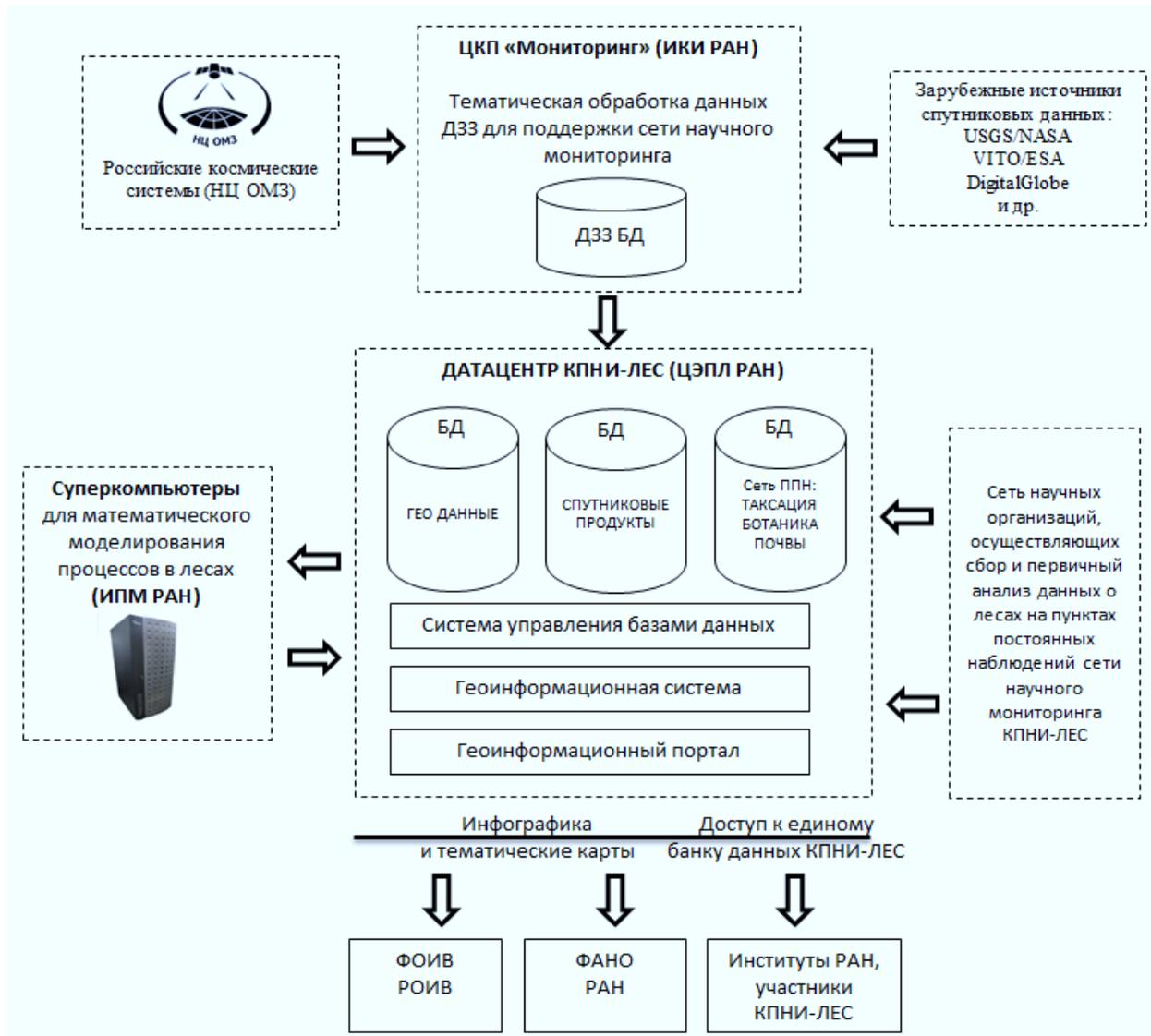


Схема взаимодействия Дата центра с другими участниками программы КПНИ ЛЕС



Заключение

- Данные дистанционного зондирования являются в настоящее время одним из ключевых источников для получения актуализированной информации о состоянии и динамике наземных экосистем, оценки ресурсного потенциала и биоразнообразия лесов на всей территории России
- Имеется достаточно большой задел по применению методов тематического анализа данных ДЗЗ в сочетании с различной информацией о лесных экосистемах
- Эффективность методов тематической обработки данных ДЗЗ может быть достигнута только при плотной интеграции с материалами наземных обследований (лесная таксация, геоботанические описания, почвенные исследования и другие).
- Для реализации крупномасштабных комплексных научных программ (КПНИ ЛЕС) должна быть разработана единая методика создания и поддержки научных сетей сбора наземной информации на основе данных дистанционного зондирования Земли

Спасибо за внимание!

Ершов Д.В., Гаврилук Е.А., Лукина Н.В.

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов
Российской академии наук
(ЦЭПЛ РАН)

Сайт: <http://cepl.rssi.ru>
e-mail: cepfras@cepl.rssi.ru
Телефон (499)743-00-25
Факс (499) 743-00-16