VII Всероссийская конференция (с международным участием)
АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И ГЕОИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
В ЛЕСОВЕДЕНИИ, ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ И ЭКОЛОГИИ

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КЛЮЧЕВЫХ БИОТОПОВ В ЛЕСАХ НП «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ» ПО СПУТНИКОВЫМ И ТОПОГРАФИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Ершов Дмитрий Владимирович

Соавторы доклада:
ГАВРИЛЮК Е.А., ТИХОНОВА Е.В., БРАСЛАВСКАЯ Т.Ю., КОРОЛЕВА Н.В., БАВШИН И.М., ГРУММО Д.Г.

ФГБУН ЦЕНТР ПО ПРОБЛЕМАМ ЭКОЛОГИИ И ПРОДУКТИВНОСТИ ЛЕСОВ РАН
ФГБУ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ПАРК «СМОЛЕНСКОЕ ПООЗЕРЬЕ»
ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БОТАНИКИ ИМ. В.Ф. КУПРЕВИЧА НАН БЕЛАРУСИ

Проект РФФИ №18-54-00029 «Разработка наземно-дистанционных методов выявления ключевых биотопов лесов и других наземных экосистем особо охраняемых природных территорий Российской Федерации и Республики Беларусь»

Москва
22-24 апреля 2019 г.

ПОНЯТИЕ БИОТОПА

В научной литературе и природоохранной практике используется несколько определений понятия «**биотоп**» (biotope), которое подразумевает сочетание факторов физической среды с сообществом видов флоры и фауны.

Определение понятия «**местообитание**» (habitat) из Европейской национальной информационной системы классификации местообитаний - EUNIS (Davies et al., 2004): «Место, где растения или животные обычно живут, характеризуемое параметрами физической среды (топография, почвенные характеристики, климат, качество воды и т.д.) и видами растений и животных, которые там обитают».

Ключевой биотоп обладает какими-либо уникальными (отличными от окружения) свойствами, благодаря которым он имеет повышенное значение для сохранения биоразнообразия для данной территории (Редкие биотопы Беларуси, 2013).

АКТУАЛЬНОСТЬ

В России необходимость классифицировать биотопы и выделять их ключевые типы возникает, прежде всего для международных проектов по разработке трансграничных способов охраны редких и уязвимых видов, биоразнообразия в целом (Крышень и др., 2009; Географические…, 2016).

Также выявление участков приоритетных (ключевых) типов биотопов актуально в связи с участием России в формировании Изумрудной сети (the Emerald Network) в рамках Конвенции о сохранении европейской дикой природы и естественной среды обитания (Бернская конвенция) (Изумрудная книга Российской Федерации, 2011-2013).

В качестве критериев выделения биотопов используются признаки растительности и экотопа. Установлено, что около 60% местообитаний имеют четкую связь с одним или несколькими синтаксонами (типы растительных сообществ) флористической классификации (Evans, 2010).

Применение синтаксономического подхода для выделения типов биотопов в средней полосе Европейской России затруднено из-за очень ограниченного опыта использования классификации EUNIS, фрагментарности геоботанических данных и недостатка экспертных знаний о степени соответствия категорий системы EUNIS существующим классификациям растительности.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ

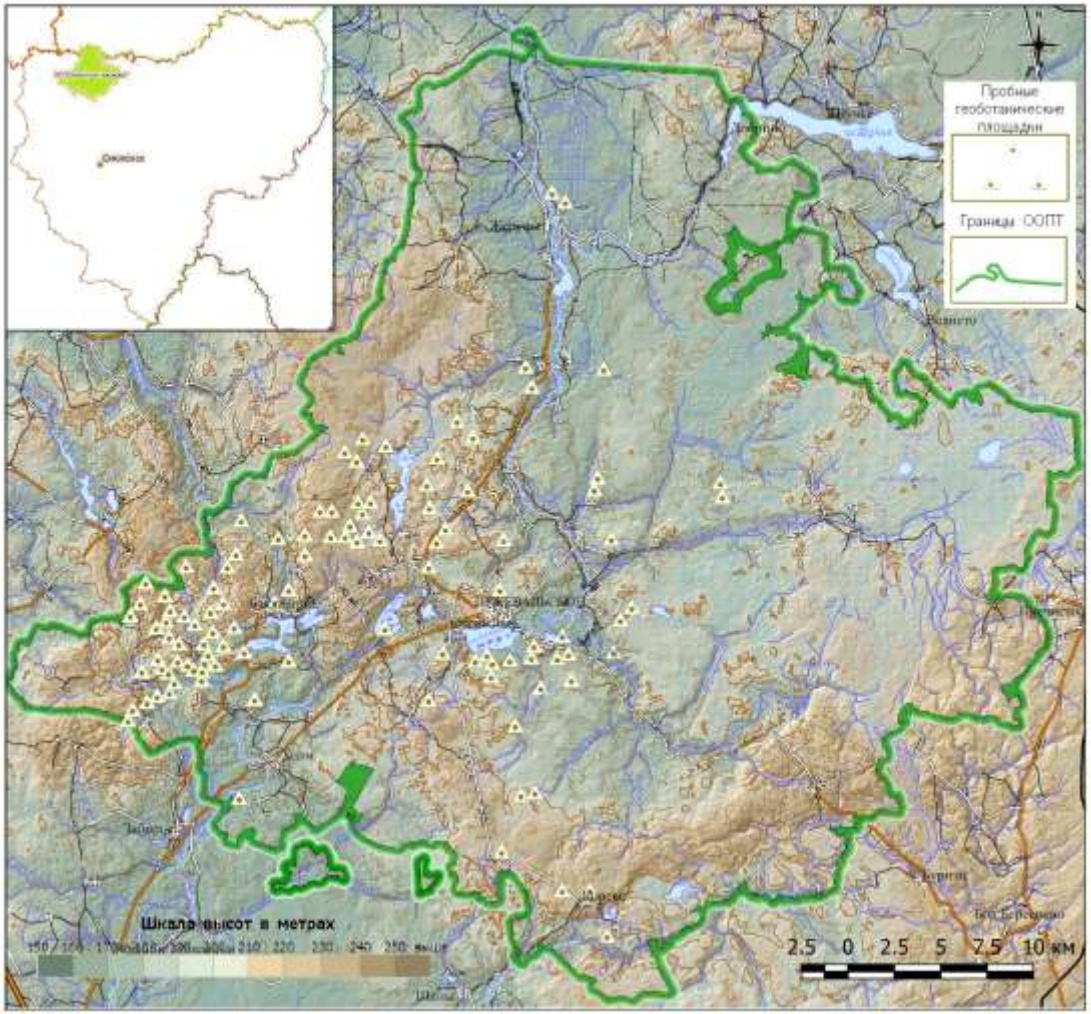
Цель исследования - вероятностная оценка распределения ключевых биотопов в лесах Национального парка (НП) «Смоленское Поозерье» на основе комбинации данных наземных обследований, серии спутниковых изображений Senitnel-2 (10-20м) и топографических характеристик местности.

Задачи исследования:

- Составление списка всех типов лесных биотопов, представленных на территории НП
- Выбор четырех ключевых типов для исследований
- Подготовка набора спутниковых и топографических данных
- Подготовка эталонов для классификации ключевых биотопов
- Оценка информативности спутниковых и топографических признаков
- Вероятностная оценка пространственного распределения ключевых биотопов по территории НП
- Сравнение результатов классификации с контрольной выборкой лесной таксации и данными наземных геоботанических описаний

ТЕРРИТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Национальный парк «Смоленское Поозерье» создан в 1992 году на землях Демидовского и Духовщинского районов Смоленской области для сохранения природных комплексов в рекреационных, просветительских, научных и культурных целях (Постановление Правительства РФ…, 1992).



Общая площадь **146237 га**, в том числе **114444** га (78%) площадь земель особо охраняемых территорий и объектов (Лесохозяйственный регламент, 2015).

К лесным землям (включая покрытые лесом) относятся **108327** га (94,6%); среди нелесных земель преобладают болота и водоемы (4%).

Наибольшее представительство по площади имеют:

- береза (41.2%),
- ель (13.8%),
- сосна (12.5%),
- осина (14%),
- ольха серая (9.3%),
- дуб (6.5%)
- липа (2.4%).

ОТОБРАННЫЕ ТИПЫ ЛЕСНЫХ БИОТОПОВ

Для исследований выбраны четыре типа ключевых лесных биотопов по EUNIS: (1) T3-F14 - бореально-неморальные черничные еловые таежные леса, (2) T3-G2 - сосновые и елово-сосновые брусничные таежные леса, (3) T1-E16A - дубово-липовые леса на севере широколиственной и в подтаежной зоне, (4) T1-5114 - подтаежные заболоченные ольховые леса.

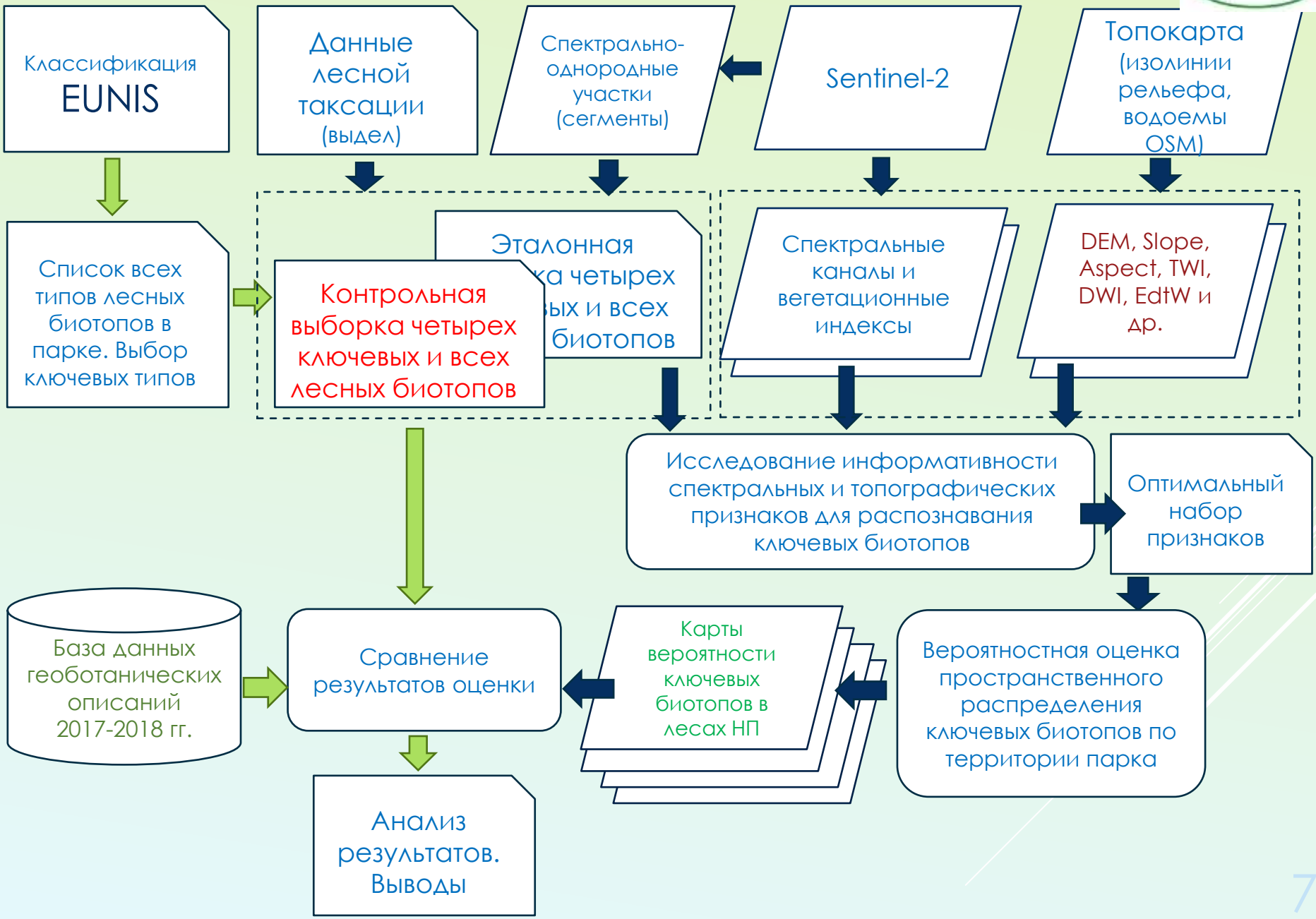
T3-F14 Елово-черничные леса

T3-G2 Сосново-брусничные леса

T1-E16A Дубово-липовые леса

T1-5114 Заболоченные ольховые леса

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

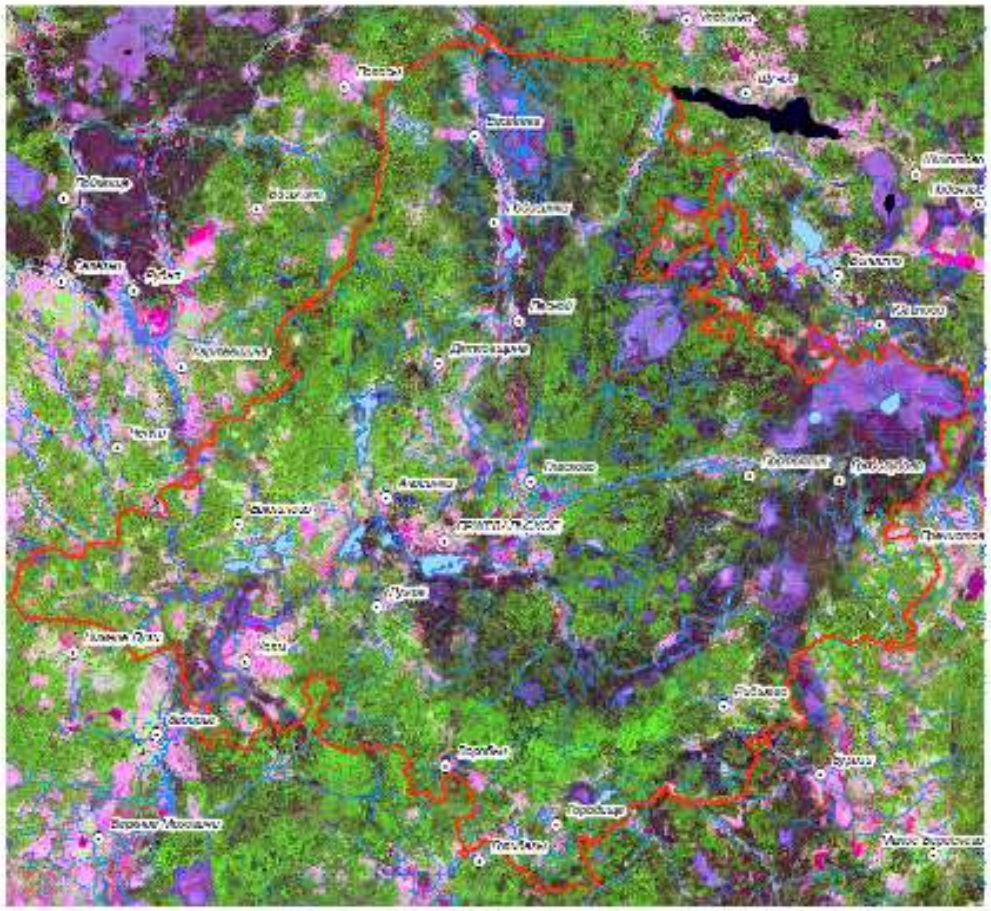


ИСХОДНЫЕ СПУТНИКОВЫЕ ДАННЫЕ

Предварительная обработка (алгоритмом MAJA) была проведена для 13 (2017 г.) и 39 (2018 г.) сцен Sentinel-2.
Из 52 сцен визуально отобрано шесть разносезонных безоблачных мультиспектральных изображений:

11 апреля 2018 г.
11 мая 2018 г.
28 мая 2018 г.
24 августа 2018 г.
23 сентября 2017 г.
10 октября 2018 г.

Безоблачное псевдо-синтезированное изображение Sentinel-2
(Псевдо-синтез Red: B12; Green: B08; Blue: B04)
территории НП «Смоленское Поозерье»



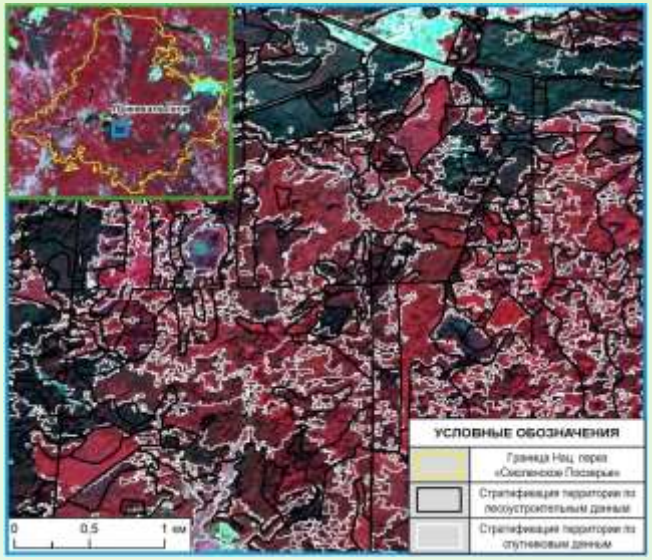
СПУТНИКОВЫЕ КАНАЛЫ И ИНДЕКСЫ

Признак	Описание	Пространственное разрешение, м	Участие в анализе	Комментарий
Спектральные каналы Sentinel-2 (для каждой из 6 дат съемки)				
BLUE	Синий (0.439-0.535 мкм)	10	Нет	Сигнал зашумлен, коррелирован с GREEN и RED
GREEN	**Зеленый (0.537-0.582 мкм)**	**10**	**Да**	**–**
RED	**Красный (0.646-0.685 мкм)**	**10**	**Да**	**–**
VRE1	Красный край (0.694-0.714 мкм)	20	Нет	Коррелирован с RED
VRE2	Красный край (0.731-0.749 мкм)	20	Нет	Коррелирован с VRE1 и VRE3
VRE3	Красный край (0.768-0.796 мкм)	20	Нет	Коррелирован с NIR1
NIR1	**Ближний ИК (0.767-0.908 мкм)**	**10**	**Да**	**-**
NIR2	Ближний ИК (0.848-0.881 мкм)	20	Нет	Коррелирован с NIR1, ниже разрешение
SWIR1	Средний ИК (1.539-1.681 мкм)	20	Нет	Коррелирован с RED и SWIR2
SWIR2	**Средний ИК (2.072-2.312 мкм)**	**20**	**Да**	**-**
Спектральные индексы на основе каналов Sentinel-2 (для каждой из 6 дат съемки)				
NDVI	**(NIR1 – RED1) / (NIR1 + RED1)**	10	Да	Rouse et al., 1974
SWVI	**(NIR2 –SWIR1) / (NIR2 +SWIR1)**	20	Да	Gao, 1996
NDRE	**(VRE3 – VRE1) / (VRE3 + VRE1)**	20	Да	Sims, Gamon, 2002

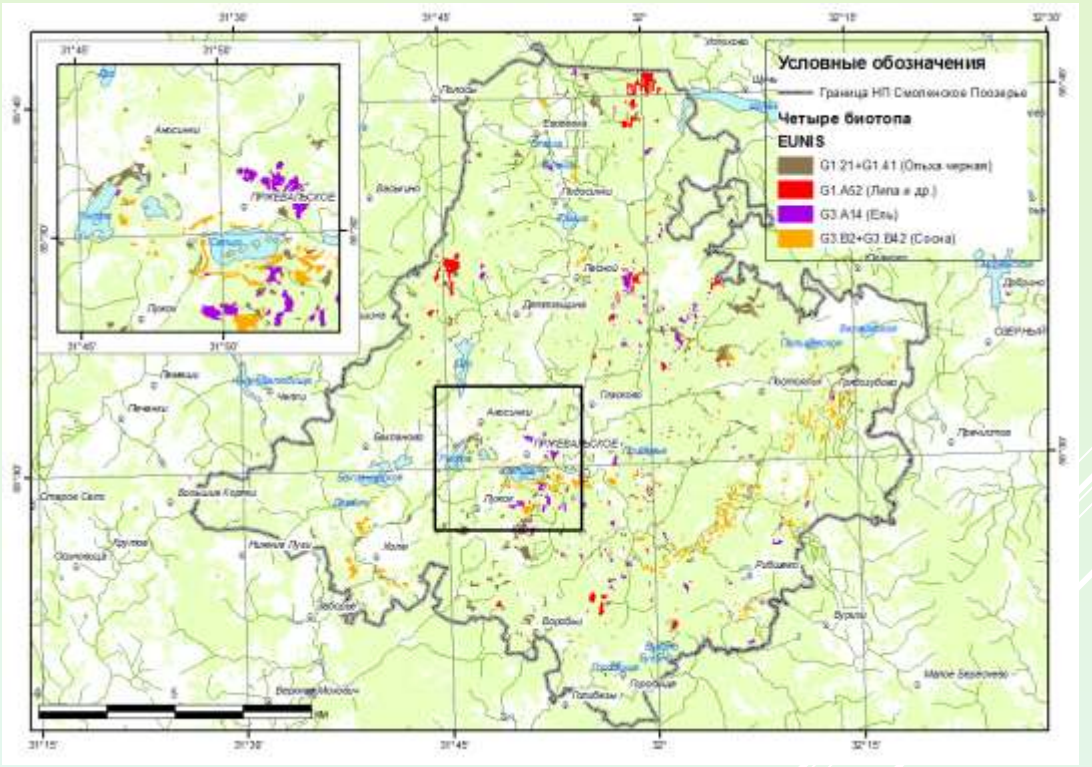
ТОПОГРАФИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Признак	Описание	Пространственное разрешение, м	Участие в анализе	Комментарий
Топографические признаки				
DEM	Высота над уровнем моря, м	10	Да	Топокарта 1: 25 000
Slope	Крутизна склона, °	10	Да	Travis et al., 1975
Aspect	Экспозиция склона, °	10	Да	
GenCurv	Общая кривизна склона, $м^{-1}$	10	Да	Shary, 1995
TPI	Индекс топографического положения, м	10	Да	Guisan et al., 1999
TWI	Топографический индекс влажности	10	Да	Beven, Kirkby, 1979
DTW	Индекс глубины залегания грунтовых вод	10	Да	Murphy et al., 2009
TDI	Прямая инсоляция склона, $Вт/м^2$	10	Да	Boehner, Antonic, 2009
EDtW	Евклидово расстояние до ближайшего водного объекта, м	10	Да	-
CoordX	Координата пикселя по оси X (с запада на восток), м	10	Да	-
CoordY	Координата пикселя по оси Y (с севера на юг), м	10	Да	-

ВЫБОР ЭТАЛОНОВ ПО ЛЕСНОЙ ТАКСАЦИИ



Фрагмент территории НП «Смоленское Поозерье» с результатами предварительной стратификации на однородные участки (прототипы биотопов) по лесоустроительным и спутниковым данным. На фоне – изображение Sentinel-2 за 24 августа 2018 года (синтез NIR/RED/GREEN)



Квартал	Выдел	Группа возраста	Породная формула	ТУМ	Код биотопа	EUNIS	Название биотопа
1	1	3	9Е1Б	С3	2Е5С1Ш1О1М1С1	G3.A14	Бореально-неморальные таежные черничные еловые леса
1	2	4	10С+Е	А2	2Е1С5Ш1О1М1А1	G3.B2+G3.B42	Таежные брусничные сосновые и елово-сосновые леса
1	3	4	7ЛИП1Е1Д1Я	С2	2Е1С1ШБО1М1С1	G1.A52	Подтаежные липовые леса
1	4	3	8СЛ-1Б1ОС	С5	2Е1С1Ш1О5М1С5	G1.21+G1.41	Восточноевропейские обводненные черноольховые леса
...	...	...	...	...	...	...	...

Код возраста	Код доли ели	Код доли сосны	Код доли широколиственных пород	Код доли ольхи черной	Код доли мелколиственных пород	Код трофности	Код увлажнения
2	Е1	С1	Ш1	О5	М1	С	5

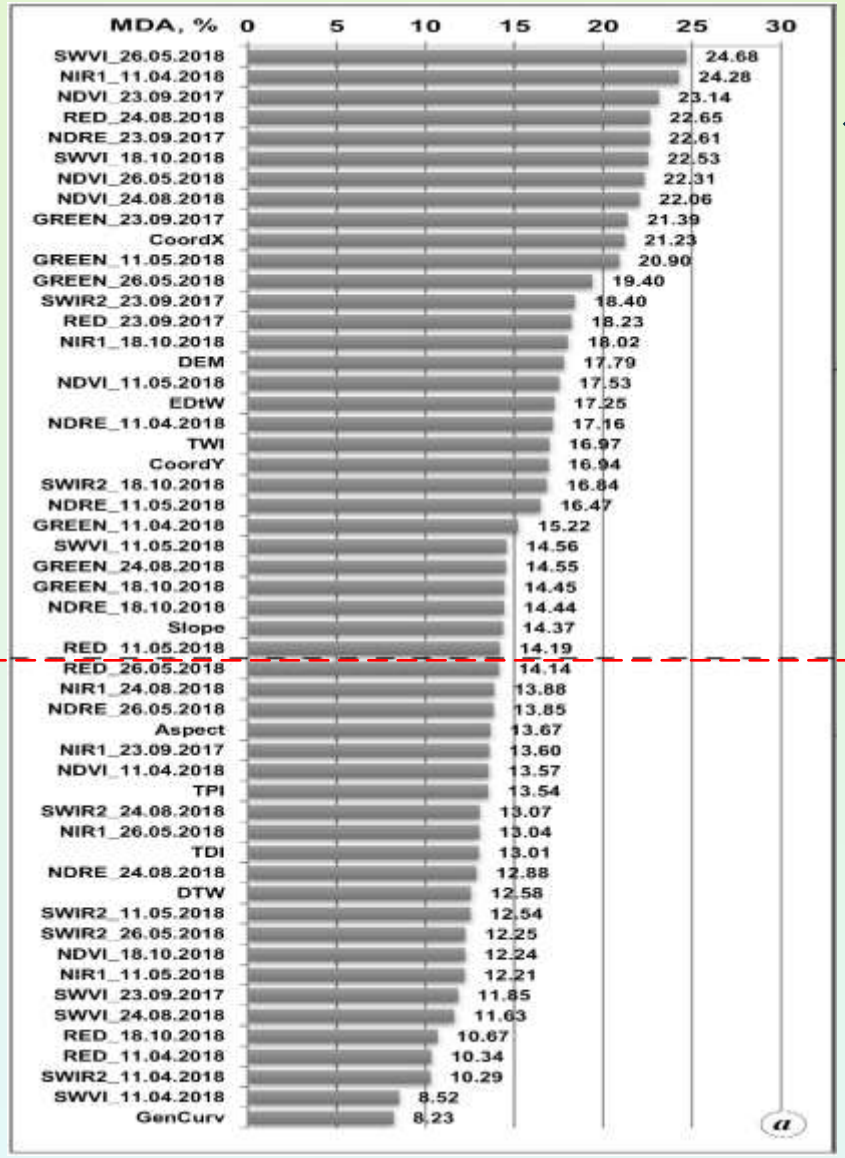
Группа возраста	Код
1 - 2	1
3 - 7	2

Доля породы	Код
0 - 3	1
4 - 6	3
7 - 10	5

ТУМ	Код
А1, А2, А3	А1
А4, А5	А5
В2, В3	В1
В4, В5	В5
С2, С3	С1
С4, С5	С5

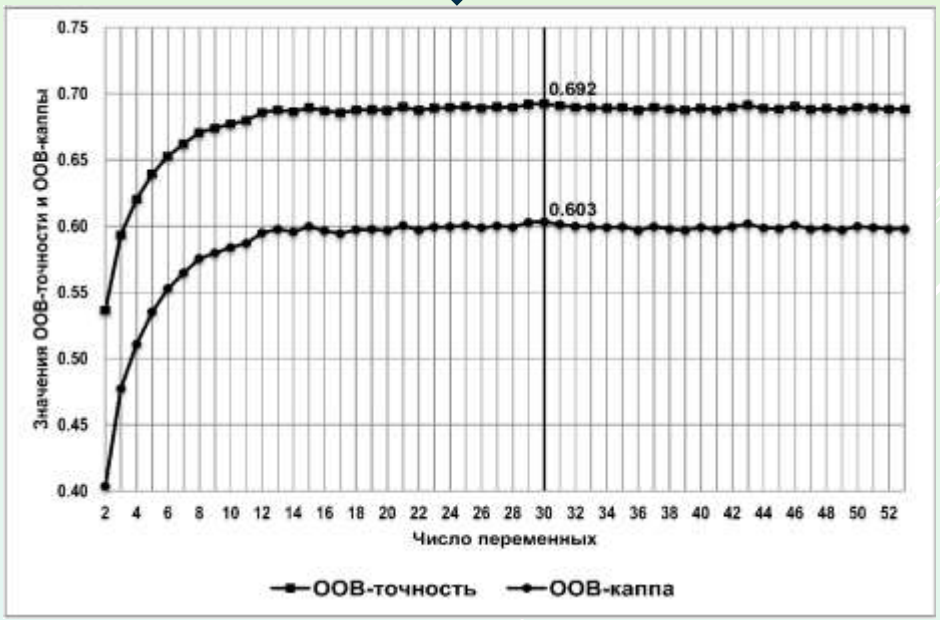
Схема распределения лесоустроительных выделов по прототипам биотопов на основе породного состава, типов условий местопроизрастания (ТУМ) и групп возраста древостоев

ОЦЕНКА ИНФОРМАТИВНОСТИ ПРИЗНАКОВ



Тридцать (из 47) наиболее информативных переменных при распознавании ключевых биотопов методом случайных лесов

Зависимость формальных показателей точности классификационной модели случайных лесов от числа переменных, использованных в ходе обучения



Примечание: величина MDA показывает, насколько в среднем снижается точность классификации при случайной перестановке значений каждой из переменных.

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА НАСТРОЙКИ МОДЕЛИ

OOB-матрица ошибок, полученная в процессе обучения классификационной модели случайных лесов (Random Forest)

Лесные биотопы	№	1	2	3	4	5	Всего	U_Acc*, %	F_1**, %
T3-F14 – Бореально-неморальные черничные еловые таежные леса	1	**261**	3	0	0	11	275	94.9	95.1
T3-G2 – Сосновые и елово-сосновые брусничные таежные леса	2	6	**216**	0	0	6	228	94.7	95.6
T1-E16A – Дубово-липовые леса на севере широколиственной и в подтаежной зоне	3	0	0	**73**	1	8	82	89.0	90.7
T1-5114 – Подтаежные заболоченные ольховые леса	4	1	0	2	**187**	9	199	94.0	94.2
Все прочие лесные биотопы	5	6	5	4	10	**237**	262	90.5	88.9
Всего		274	224	79	198	271	**1046**	92.6	–
P_Acc*, %**		**95.3**	**96.4**	**92.4**	**94.4**	**87.5**	**93.2**	**93.1**	–

Примечания. *U_Acc – User's Accuracy (или Recall) – точность пользователя карты, характеризует величину ошибок I рода; **F1 – среднее гармоническое между U_Acc и P_Acc, интегральная мера точности классификации для каждого из тематических классов; ***P_Acc – Producer's Accuracy (или Precision) – точность производителя карты, характеризует величину ошибок II рода.

ОПТИМАЛЬНЫЙ НАБОР ПРИЗНАКОВ

Спектральные признаки:
Наибольшую информативность продемонстрировали **индекс NDVI** и значения **зеленого канала** Sentinel-2, наименьшую – значения второго **среднего инфракрасного канала.**

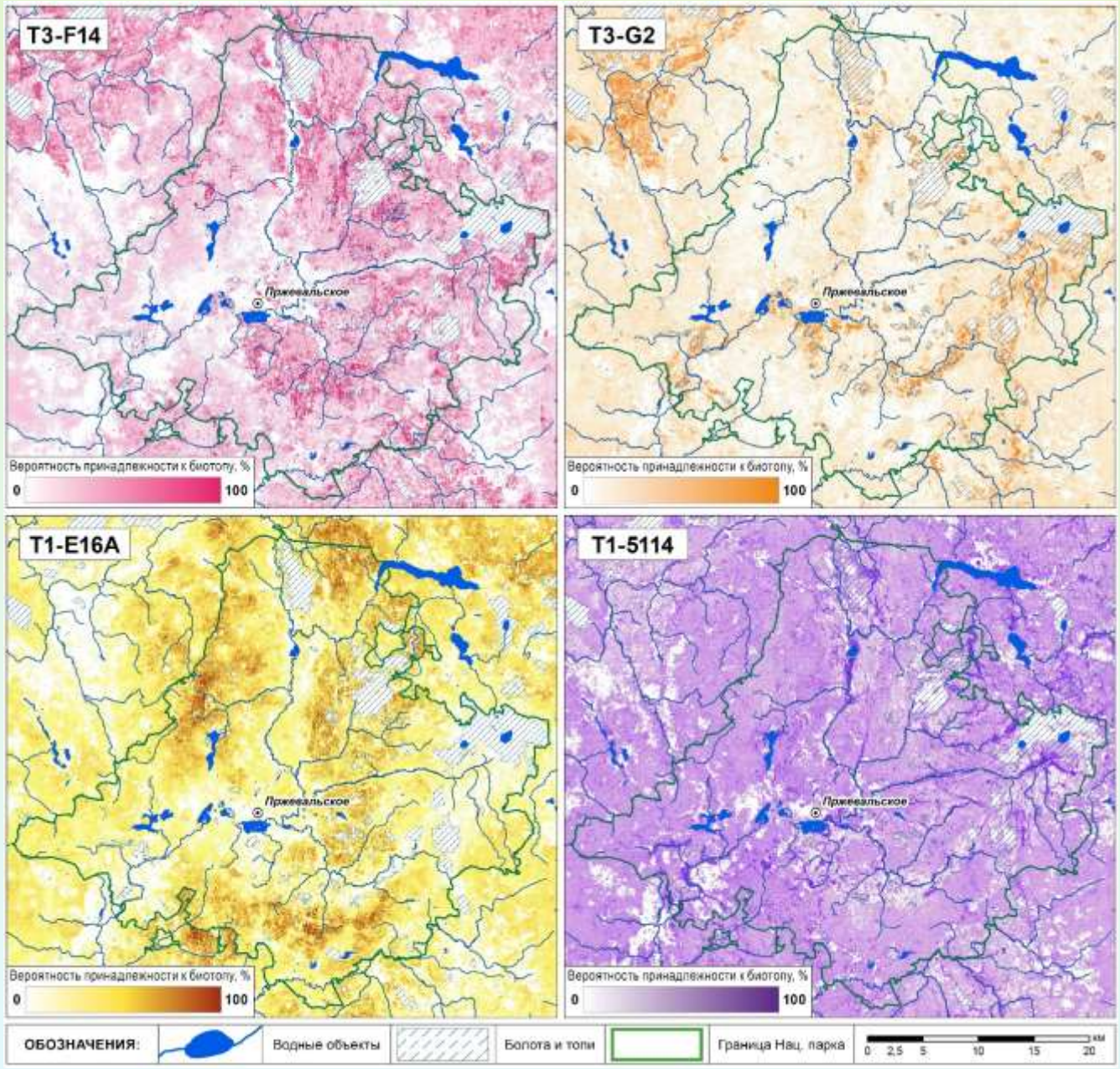
Наиболее значимыми периодами съемки для распознавания биотопов оказались конец сентября и конец мая, наименее значимым было начало апреля

Разница в значениях MDA по группам признаков и по датам съемки относительно невелика (не более 4.6%), что не позволяет единовременно отказаться от всех переменных одного типа или одного периода без потерь в точности классификационной модели.

Из одиннадцати исходных **топографических признаков:**
шесть вошли в оптимизированный набор переменных для классификации биотопов – это **координаты пикселей по осям X и Y, высота над уровнем моря, расстояние до ближайших водных объектов, топографический индекс влажности и крутизна склонов**

В целом, можно отметить явное (но не абсолютное) преимущество в информативности спектральных признаков над топографическими признаками.

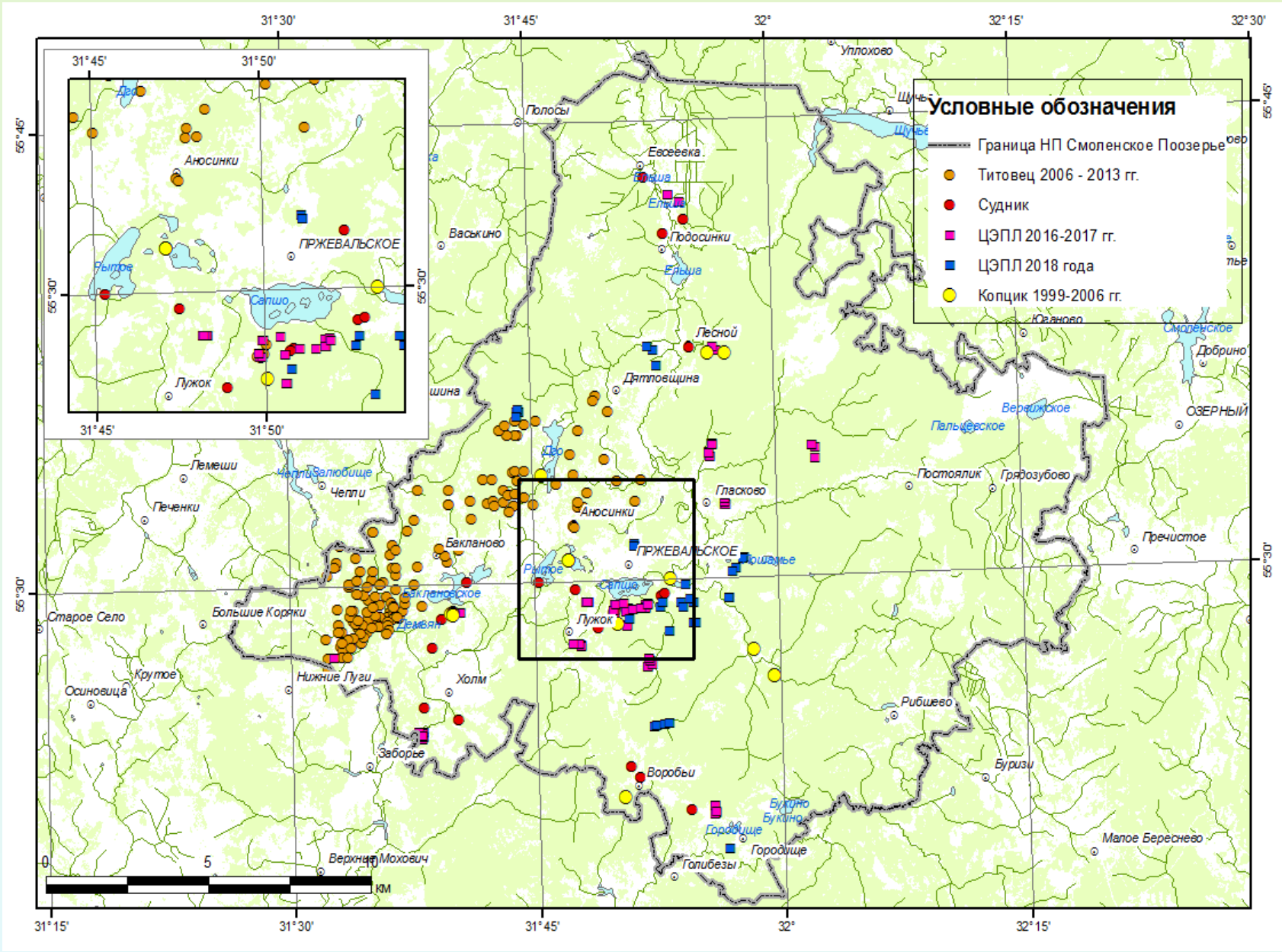
КАРТЫ ВЕРОЯТНОСТИ КЛЮЧЕВЫХ БИОТОПОВ



Площадь 4-х биотопов по данным классификации составила 14.6 тыс. га (~10%):

- Еловые черничные леса - **3.1%**
- Дубово-липовые леса - **2.5%**
- Сосновые брусничные леса – **1,4%**
- Заболоченные ольховые леса - **2,8%**

Наземные геоботанические описания



СРАВНЕНИЕ С НАЗЕМНЫМИ ДАННЫМИ

Типы лесных биотопов	T3-F14	T3-G2	T1-E16A	T1-5114	Все прочие	Всего	U_Acc, %	F_1, %
T3-F14– Бореально-неморальные черничные еловые таежные леса	**5**	3	0	0	1	**9**	55.6	30.3
T3-G2 – Сосновые и елово-сосновые брусничные таежные леса	0	**6**	0	0	0	**6**	100.0	40.0
T1-E16A – Дубово-липовые леса на севере широколиственной и в подтаежной зоне	0	0	**9**	0	1	**10**	90.0	94.7
T1-5114–Подтаежные заболоченные ольховые леса	0	0	0	**4**	4	**8**	50.0	50.0
Все прочие лесные биотопы, в том числе:	19	15	0	4	**112**	**150**	74.7	83.6
Всего	**24**	**24**	**9**	**8**	**118**	**183**	74.1	–
P_Acc, %	**20.8**	**25.0**	**100.0**	**50.0**	**94.9**	**58.1**	**74.3**	–

Все прочие лесные биотопы:

T1-G23 – мезофитные ольховые леса	0	0	0	2	32	34	94.1	–
T1-C24 – мезофитные осиновые леса	0	0	0	1	11	12	91.7	–
T1-61–мезотрофные заболоченные березовые леса	0	0	0	0	4	4	100.0	–
T1-C15 – мезофитные березовые леса	1	0	0	1	45	47	95.7	–
T3-5211 – таежные разнотравные сосновые леса	1	10	0	0	11	22	50.0	–
T3-J–олиготрофные заболоченные сосновые леса	0	3	0	0	2	5	40.0	–
T3-F34 – таежные мелкотравные еловые леса	14	2	0	0	6	22	27.3	–
T3-K – мезотрофные заболоченные еловые леса	3	0	0	0	1	4	25.0	–

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Наилучшая сходимость была получена для **дубово-липовых лесов** (T1-E16A) – лишь одна из десяти площадок была ошибочно отнесена к «прочим биотопам».

В то же время, **бореально-неморальные черничные еловые леса** (T3-F14) и **сосновые брусничные леса** (T3-G2) продемонстрировали довольно низкие показатели сходимости (30 и 40% соответственно), главным образом, за счет перепутывания с близкими к ним по породному составу «прочими биотопами» – **мелкотравными** (T3-F34) и **мезотрофными заболоченными** (T3-K) **еловыми лесами**, а также **разнотравными** (T3-5211) и **олиготрофными заболоченными** (T3-J) **сосновыми лесами**.

Заболоченные ольховые леса, в свою очередь, были корректно распознаны лишь в половине случаев, тоже из-за перепутывания с «прочими биотопами» - **мезофитными мелколиственными лесами** (T1-G23, T1-C24, T1-C15).

ВЫВОДЫ и ЗАКЛЮЧЕНИЕ

- Разносезонные спутниковые изображения позволили с высокой точностью распознать ключевые лесные биотопы друг относительно друга благодаря их принципиальным различиям в породном составе древостоев
- Использование топографических признаков не позволило достаточно уверенно распознать (отличить друг от друга) биотопы, близкие по породному составу, но различные по условиям местопроизрастания (типам напочвенного покрова)
- Вклад спектральных признаков составил около 80% из числа отобранных информативных признаков для классификации биотопов
- Получены противоречивые результаты оценки точности с использованием данных лесной таксации и наземных геоботанических площадок. Возможной причиной данной ситуации являлось то, что сеть площадок геоботанических описаний собиралась из разных источников под разные задачи и не охватывала всю территорию Национального парка

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

Подробное описание результатов работ планируется опубликовать в журнале ЛЕСОВЕДЕНИЕ в 2019 году

Вероятностная оценка пространственного распределения ключевых биотопов в лесах НП «Смоленское Поозерье» на основе спутниковых и топографических данных

Ершов Д.В.[1], Гаврилюк Е.А.[1], Тихонова Е.В.[1], Браславская Т.Ю.[1], Королева Н.В.[1],

Бавшин И.М.[2], Груммо Д.Г.[3], Судник А.В.[3], Титовец А.В.[2]

[1] ФГБУН Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов
117997 Россия, Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32, стр.14
E-mail: ershov@ifi.rssi.ru

[2] ФГБУ Национальный парк «Смоленское Поозерье»

216270, Россия, Смоленская область, Демидовский район, п. Пржевальское, ул. Гуревича, 19

[3] Институт экспериментальной ботаники им. В.Ф. Купревича НАН Беларуси,
220072 Республика Беларусь, Минск, ул. Академическая, 27

Исследование выполнено при финансовой поддержке

РФФИ (№18-54-00029) и государственного задания ЦЭПЛ РАН №АААА-А18-118052400130-7