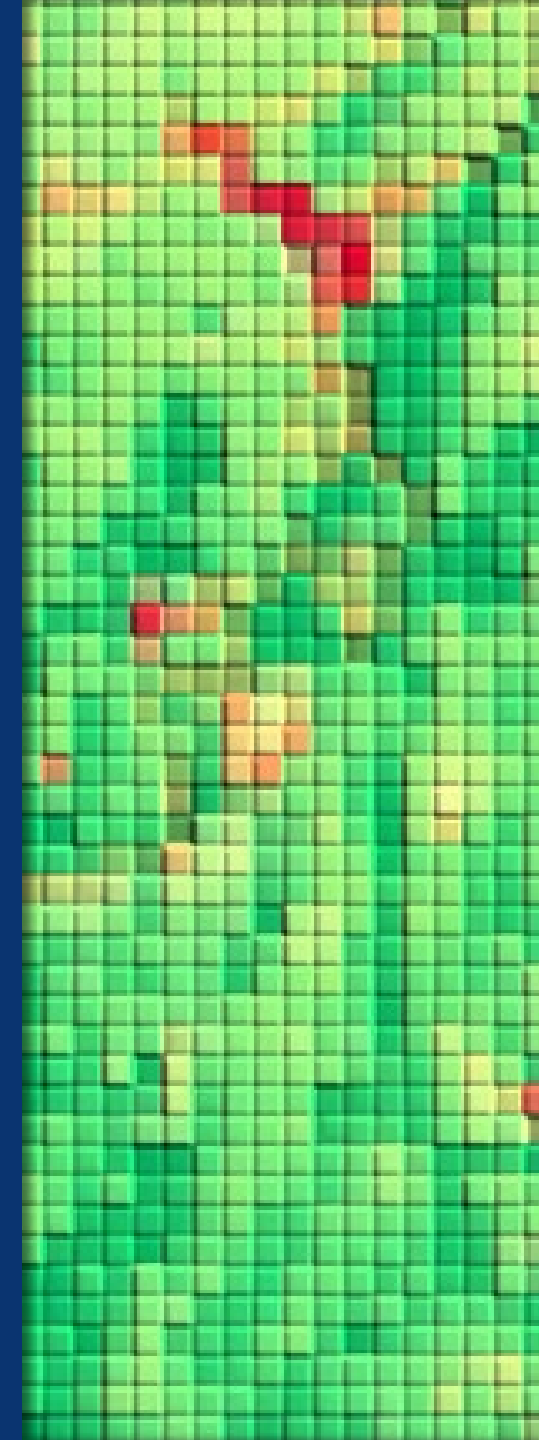


АНАЛИЗ СПЕКТРАЛЬНЫХ ДЕШИФРОВОЧНЫХ ПРИЗНАКОВ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД НА ОСНОВЕ ЗНАЧЕНИЙ ВЕГЕТАЦИОННОГО ИНДЕКСА NDVI

аспирант **ШЕСТАКОВ НИКИТА АЛЕКСЕЕВИЧ**
доцент, к. г. н. **ТОПАЗ АНТОНИНА АНАТОЛЬЕВНА**

Факультет географии и геоинформатики БГУ, Минск, Республика Беларусь



ВВЕДЕНИЕ

Для изучения и картографирования растительных покровов по многоспектральным изображениям широко применяются различные **вегетационные спектральные индексы (ВИ)** – относительные показатели, получаемые в результате комбинации информации о спектральной отражательной способности растительности из нескольких спектральных каналов, задаваемой по математической формуле [1, 2].

Наиболее широкое практическое применение среди ВИ получил нормализованный разностный вегетационный индекс **NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)** [3–6].

HEALTHY

VEGETATION REFLECTANCE

50% NIR 8% RED



NDVI = 0.72

STRESSED

40% NIR 30% RED



NDVI = 0.14

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Рис. 1. Формула расчёта NDVI

ОБЪЕКТ И ТЕРРИТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проведения исследования была выбрана территория **ландшафтного заказника «Озёры»**. Объектом исследования выступал **лесной покров территории заказника**.

Территория заказника расположена в западной части Беларуси, в пределах физико-географического района Средненёманская низменность округа Понёманье Западно-Белорусской провинции. В административно-территориальном отношении заказник «Озёры» располагается на северо-востоке Гродненского и в западной части Щучинского районов Гродненской области (в 20 км к северо-востоку от г. Гродно). При этом 89,95 % занимаемой заказником территории находится в Гродненском районе, и только 10,05 % – в Щучинском. Территория заказника имеет значительную протяжённость с запада на восток.



Рис. 2. Место заказника в системе ФГР Беларуси

ОБЪЕКТ И ТЕРРИТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

В перечень исследуемых пород вошли **6** **лесообразующих пород**, получивших наибольшее распространение на территории заказника (7 видов): *сосна обыкновенная (Pinus sylvestris)*, *ель европейская (Picea abies)*, *берёза повислая (Betula pendula)*, *берёза пушистая (Betula pubescens)*, *ольха чёрная (Alnus glutinosa)*, *осина (Populus tremula)*, *дуб черешчатый (Quercus robur)*.

Исследование проводилось на базе **5 тестовых участков (ТУ)**.

- ТУ № 1 «Юго-Западный»
- ТУ № 2 «Каменистая-Бушнево»
- ТУ № 3 «Зацково-Белое»
- ТУ № 4 «Ежовица»
- ТУ № 5 «Соболянское»

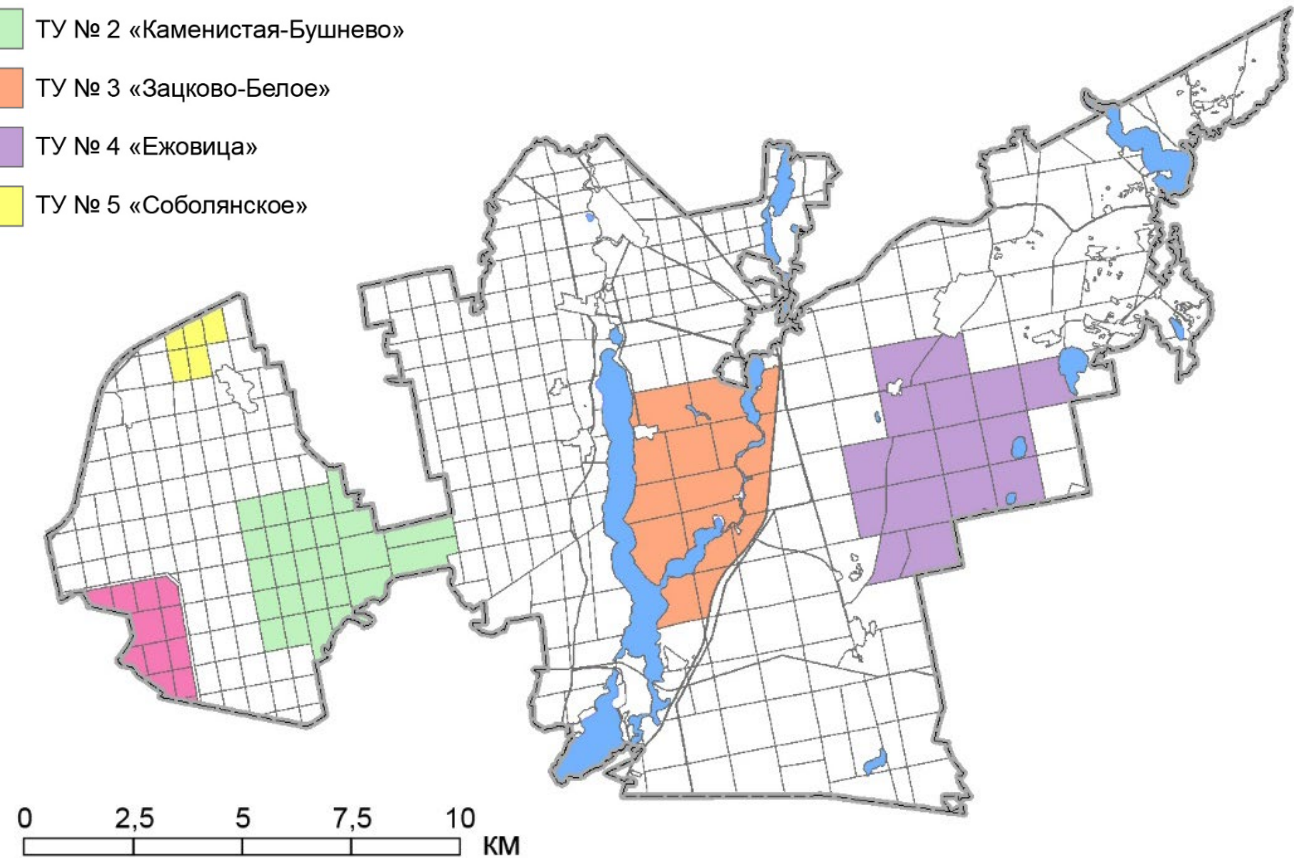


Рис. 3. Выделение тестовых участков (ТУ)

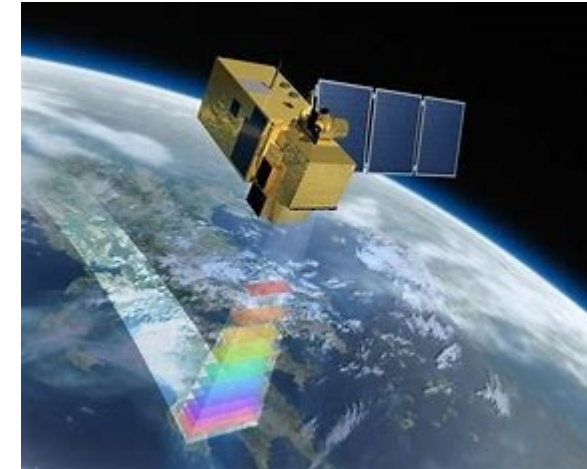
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЗЗ

В качестве исходных данных ДЗЗ были выбраны *разновременные (14.02.2022–30.10.2022 гг.) мультиспектральные спутниковые снимки Landsat-8/9 и Sentinel-2A/2B.*

Предварительная и тематическая обработка данных ДЗЗ (включая расчёт значений NDVI) осуществлялась в программном комплексе ENVI 5.6.



Рис. 5. Программный комплекс ENVI 5.6 (logo)



а



б

Рис. 4. Космические аппараты Sentinel-2A (а) и Landsat-8 (б)

ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ДЗЗ

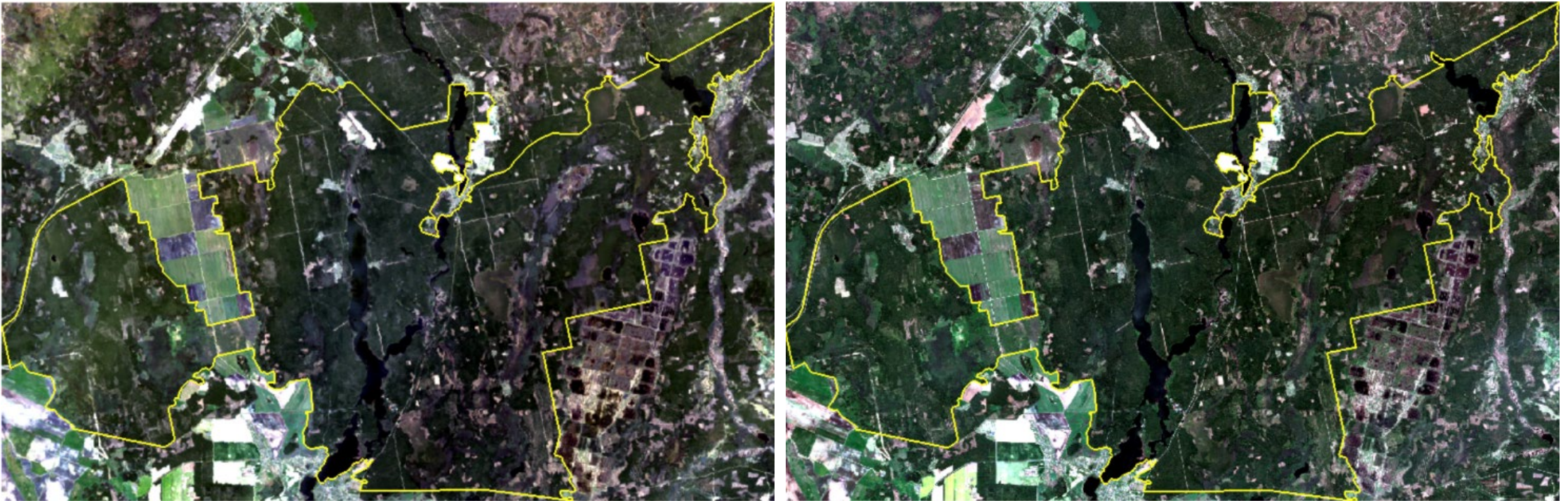


Рис. 6. Подготовленные в ENVI 5.6 мультиспектральные спутниковые снимки Landsat-8 и Sentinel-2A на территорию заказника «Озёры» за 05/09.05.2022 г.

РАСЧЁТ NDVI

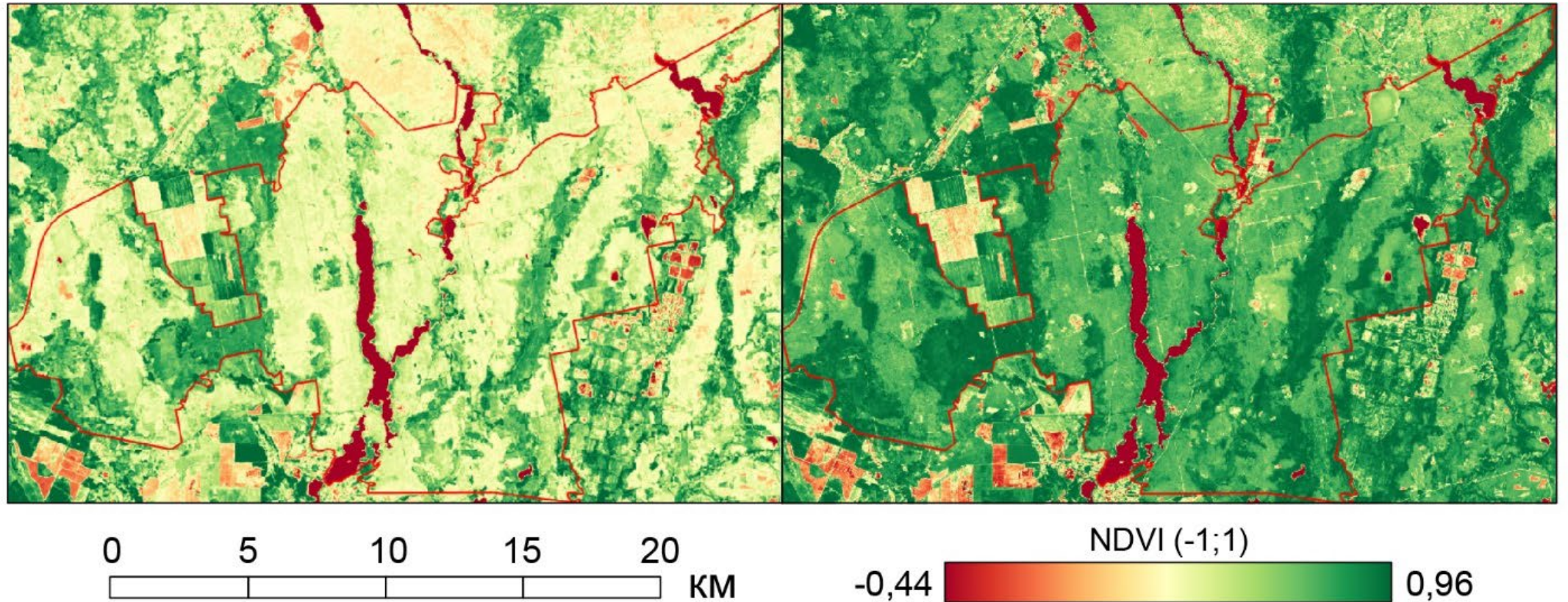


Рис. 7. Индексные изображения NDVI на территорию заказника «Озёры», составленные по данным Landsat-8 (слева) и Sentinel-2B (справа) за II декаду июня

АНАЛИЗ ЗНАЧЕНИЙ NDVI

На основе рассчитанных в ENVI 5.6 индексных изображений был выполнен **анализ значений NDVI по 3-м направлениям**: *анализ спектральных дешифровочных признаков типов поверхности, типов леса и лесообразующих пород.*

1. При анализе значений NDVI типов поверхности наблюдаются:

- самые низкие отрицательные значения индекса для водных объектов (от -0,10 до -0,30), а также для переувлажнённых и заболоченных почв (от -0,15 до -0,20);
- низкие отрицательные значения индекса (0,20–0,35) для открытой почвы и грунтовых дорог;
- низкие положительные значения индекса для снега, льда в зимнее время (0,00–0,10), а также для облаков и затенённых участков (0,10–0,20);
- средние положительные значения индекса (0,40–0,50) для сухой или разреженной травянистой растительности;
- высокие положительные значения индекса (0,50–0,70) для хвойной лесной, а также густой травянистой растительности;
- самые высокие положительные значения индекса (0,70–1,00) для лиственной лесной и активно вегетирующей травянистой растительности.

АНАЛИЗ ЗНАЧЕНИЙ NDVI

2. На основе анализа индексных значений во II декаде июня отмечается достаточно высокая разделимость **хвойных** и **лиственных пород**. При этом различаются по значениям индекса сосновые и еловые насаждения – в раннелетний период самыми низкими значениями NDVI среди 6 исследуемых пород характеризуется сосна. В то же время для лиственных пород (берёза, ольха чёрная, осина, дуб) средние значения NDVI характеризуются низким уровнем спектральной разделимости, что говорит о низкой информативности индекса для дешифрирования лиственных пород в данный период и необходимости *включения в анализ иных факторов* (косвенных дешифровочных признаков) или *применения более «чувствительных» вегетационных индексов*.

Таб.1. Значения NDVI для 6 лесообразующих пород во II декаде июня

Лесообразующая порода	Значение NDVI за 18.06.2022 по данным Sentinel-2B		
	среднее	минимальное	максимальное
сосна	0,78	0,57	0,89
ель	0,85	0,74	0,96
берёза	0,89	0,69	0,93
ольха чёрная	0,89	0,72	0,89
осина	0,89	0,73	0,93
дуб	0,89	0,72	0,93

АНАЛИЗ ЗНАЧЕНИЙ NDVI

3. При анализе **сезонных изменений** значений NDVI по 6 лесообразующим породам были выявлены следующие закономерности: низкие значения (0,20–0,40) в феврале и первой половине марта; минимум значений (0,17–0,27) в конце марта и в апреле; рост значений индекса в мае (до 0,40–0,60); максимум значений в июне и первой декаде июля (0,70–0,90); высокие значения (0,70–0,80 и выше) на протяжении всего летнего периода; снижение значений индекса в сентябре и резкий спад (до 0,57–0,63) в октябре для лиственных пород. Фиксируемый минимум значений индекса в конце марта и апреле объясняется активной вегетацией травяной растительности, на фоне которой хвойные и не покрытые густой листвой лиственные породы выделяются более низкими значениями NDVI.

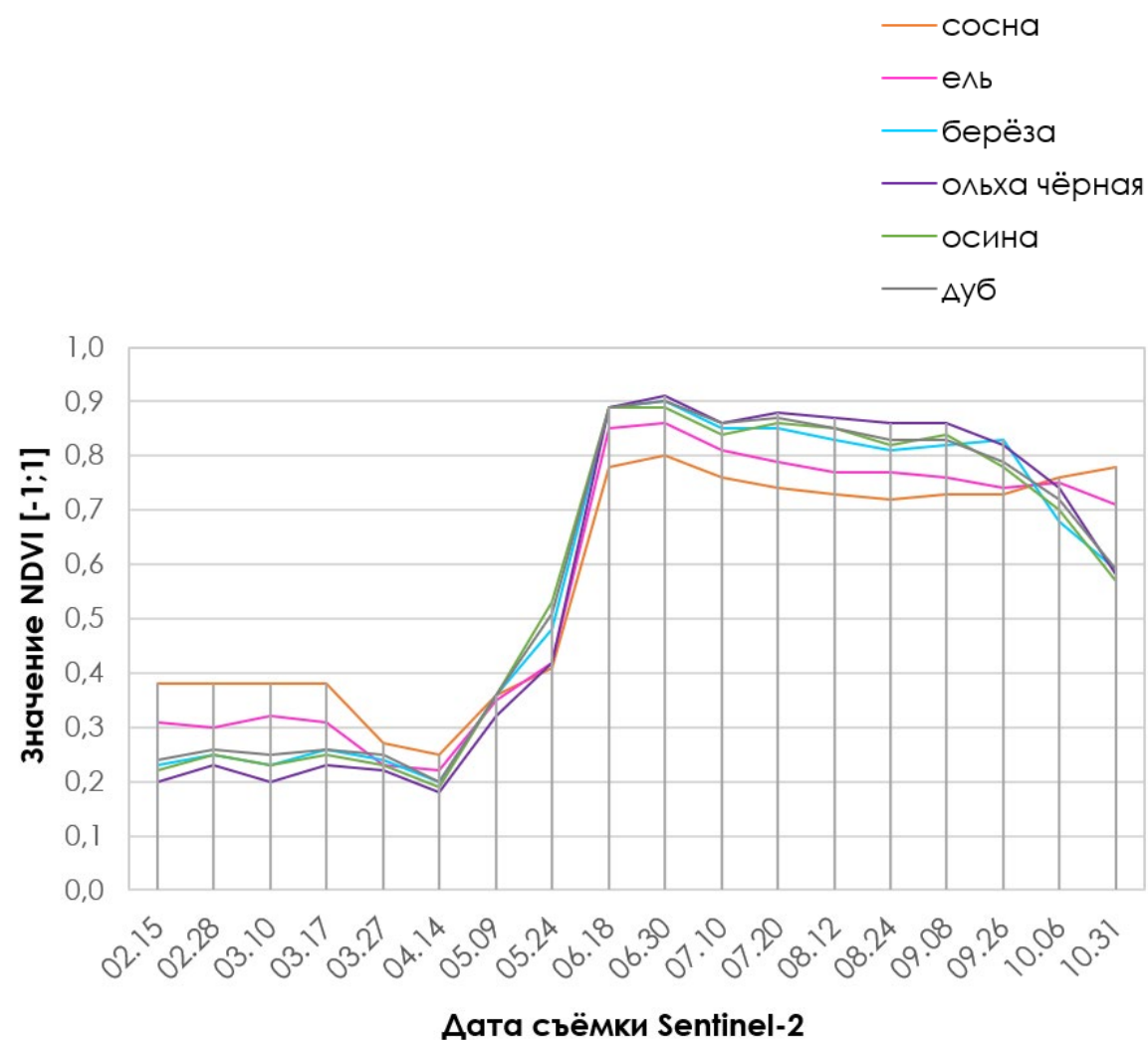


Рис. 7. Сезонные изменения спектральной яркости лесообразующих пород на основе значений NDVI, полученных по данным Sentinel-2

АНАЛИЗ ЗНАЧЕНИЙ NDVI

3. Для **хвойных пород** значения индекса с февраля по апрель *превышают индексные значения лиственных пород* (по причине отсутствия листвы на кронах деревьев); начиная со второй половины мая индексные значения лиственных пород *превышают значения хвойных* (появление и активное развитие лиственной массы); в июне наблюдается пик значений индекса (0,77–0,85), постепенно убывающий в июле, августе и сентябре. При этом с февраля по май, а также в ноябре спектральная кривая индекса для **ели** располагается ниже, чем для **сосны**. В целом, *амплитуда сезонной динамики* значений индекса для сосны составляет 0,55, для ели – 0,64.

Для **лиственных пород** фиксируются более низкие значения индекса в зимний и весенний период (0,20–0,30); максимальные – в июне (0,87–0,90). *Уровень разделимости, в целом, ниже*, в сравнении с хвойными породами, однако в летний и осенний периоды *индекс характеризуется большей информативностью*. Так, среди лиственных пород в летний и осенний период наиболее низкие значения NDVI отмечаются у **берёзы**, наиболее высокие – для **ольхи чёрной**. *Большие затруднения* в разделении значений индекса возникают при сравнении спектральных кривых **осины** и **дуба**. В связи с этим для дешифрирования лиственных пород на основе значений NDVI необходимо использовать *разновременные снимки*, отражающие различия во времени наступления фазы пожелтения листвы и её полного опадения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключении стоит отметить, что применение вегетационного индекса NDVI достаточно эффективно при дешифрировании лесных земель, выделении типов леса и лесообразующих пород, характеризующихся высоким уровнем спектральной разделимости (сосна, ель, берёза, ольха чёрная), при анализе сезонных изменений состояния лесного покрова.

Для повышения эффективности дешифрирования породного состава насаждений на основе расчёта индекса NDVI необходимо учитывать дополнительные (косвенные, индикационные) признаки, такие как возраст насаждений, рельеф местности, почвенный покров, гидрологические и геологические условия местности

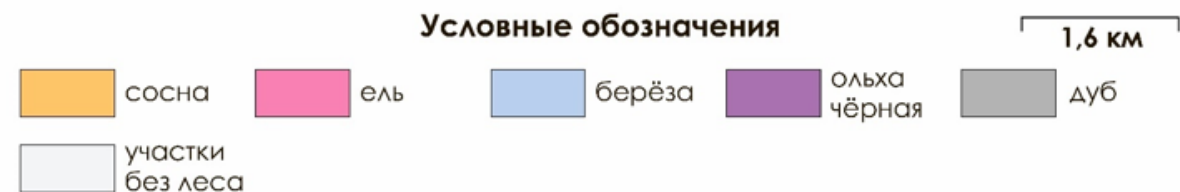
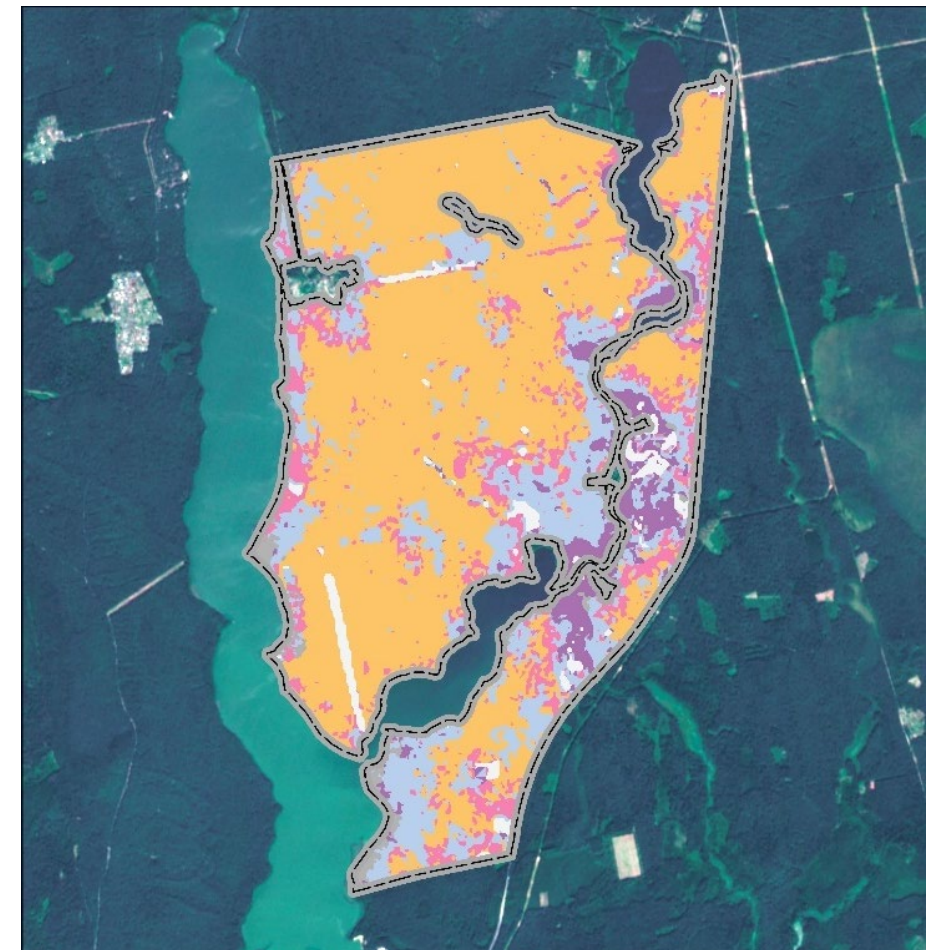


Рис. 8. Результаты автоматизированного дешифрирования на основе значений КСЯ и индексных значений NDVI

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Шихов А.Н., Герасимов А.П., Пономарчук А.И., Перминова Е.С.* Тематическое дешифрирование и интерпретация космических снимков среднего и высокого пространственного разрешения : учебное пособие – Пермь : ПГНИУ, 2020. – 191 с.
2. *Топаз, А.А.* Методы дистанционных исследований : электронный учебно-методический комплекс для специальностей: 1-31 02 01 «География (по направлениям)», 1-31 02 03 «Космоаэрокартография», 1-33 01 02 «Геоэкология», 1-56 02 02 «Геоинформационные системы (по направлениям)» – БГУ, Фак. географии и геоинформатики, Каф. геодезии и космоаэрокартографии. – Минск : БГУ, 2022. – 127 с.
3. *Черепанов А.С.* Вегетационные индексы // ГЕОМАТИКА. – 2011. – № 2. С. 98–102.
4. *Prăvălie R., Sîrodov I., Nita I-A., Patriche C., Dumitrașcu M., Roșca B., Tișcovschi A., Bandoc G., Săvulescu I., Mănoiu V., Birsan M-V.* NDVI-based ecological dynamics of forest vegetation and its relationship to climate change in Romania during 1987–2018 // Ecological Indicators. – 2022. – V.136.
5. *Spadoni G., Cavalli A., Congedo L., Munafò M.* Analysis of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) multi-temporal series for the production of forest cartography // Remote Sensing Applications: Society and Environment. – 2020. – T. 20.
6. *Trong H., Nguyen D., Kappas M.* Land Cover and Forest Type Classification by Values of Vegetation Indices and Forest Structure of Tropical Lowland Forests in Central Vietnam // International Journal of Forestry Research. – 2020. – 18 p.