

МОСКВА 10-14 НОЯБРЯ 2025

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
ДИСТАНЦИОННОГО
ЗОНДИРОВАНИЯ
ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА

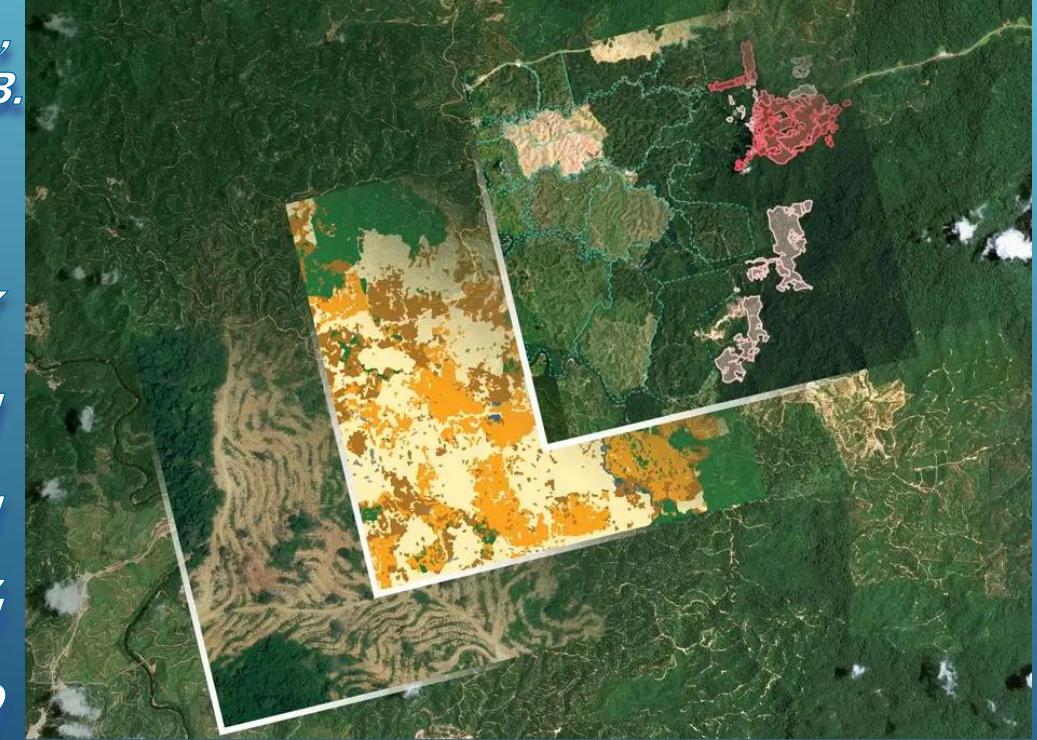
XXIII
МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

ИКИ



Катковский Л.В., Красовская О.О.,
Мартинов А.О., Станчик В.В.

*Поиск усыханий хвойных
насаждений по временным
последовательностям
композитных изображений
Sentinel-2*



Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных
физических проблем имени А.Н. Севченко Белорусского государственного университета», Минск, Республика Беларусь



ПРОБЛЕМА

Массовое усыхание хвойных лесов по причине изменений климата и распространения вредителей (короед-типограф)



Основная проблема своевременного обнаружения зараженных деревьев на ранних стадиях заключается в том, что они выглядят физиологически зелеными и не проявляют симптомов, четко наблюдаемых человеческим глазом.

3 класса:

Здоровый



Стрессовый



Больной



Отсутствие методик раннего обнаружения болезни хвойных деревьев

Самый распространенный метод – визуальная оценка состояния хвои лесниками

Отсутствие унифицированной терминологии классификации состояний хвойных деревьев (выделяют 6, 4, или 3 класса)

Обнаружение стресса хвойных деревьев на поздних стадиях, когда хвоя уже осыпается и инфицированы соседние деревья





МЕТОДИКА ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

В данной работе предложена методика определения усыханий еловых лесов на основе анализа временной последовательности спутниковых изображений с использованием двух вегетационных индексов (ВИ): NDVI и NDWI, которые рассчитываются по следующим формулам:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{Red}}{\text{NIR} + \text{Red}}$$

$$\text{NDWI} = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR1}}{\text{NIR} + \text{SWIR1}}$$

Индекс NDVI отражает состояние здоровья растительности (количество зеленой массы), в то время как индекс NDWI отражает водный стресс растительности ввиду того, что содержит канал коротковолнового ИК диапазона SWIR1 вблизи 1,6 мкм.

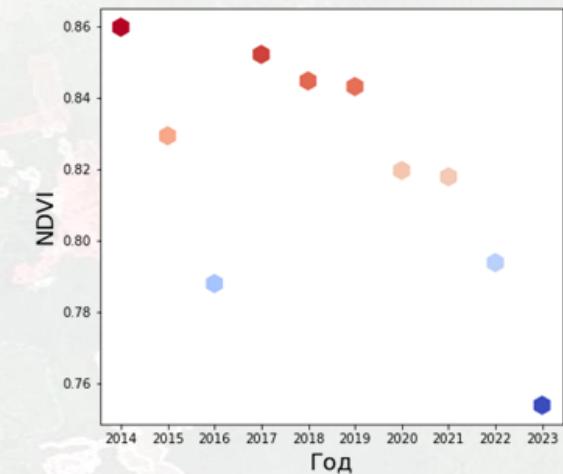
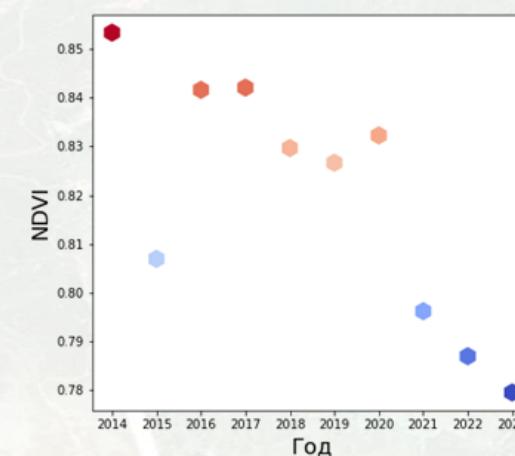
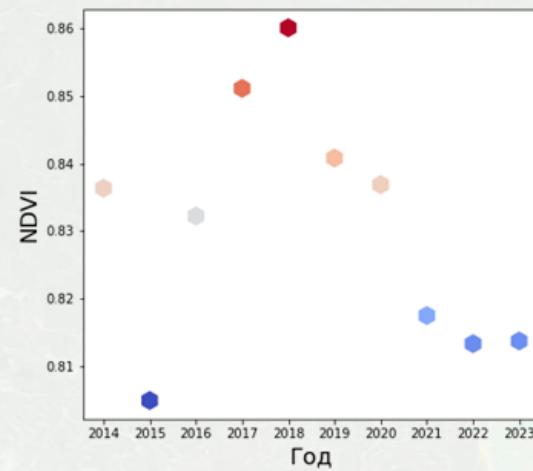
Методика апробирована и подтверждена на основе использования безоблачных композитных изображений (месячные композиты) на территорию Беларуси, полученные съемочной системой MSI спутника Sentinel-2 за пять последовательных лет, в период с мая по сентябрь 2019-2023 годов.

Анализ изображений проводился для пикселей изображений, входящих в созданную векторную маску хвойных лесов.

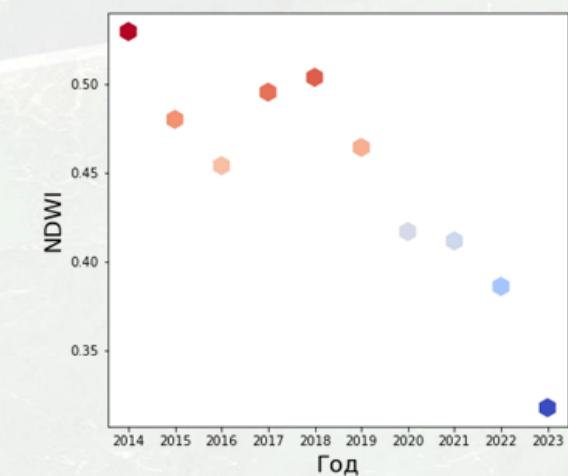
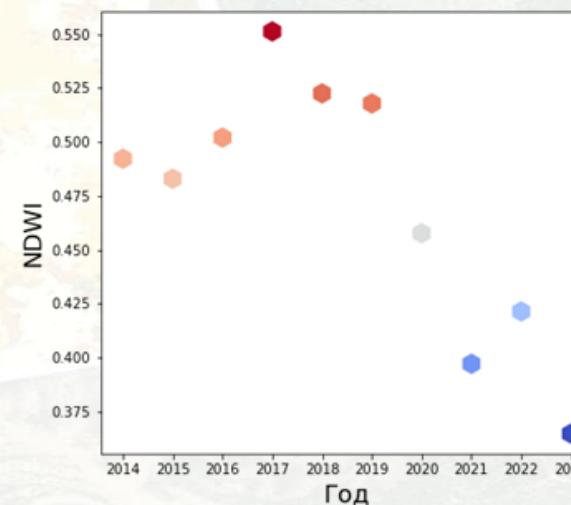
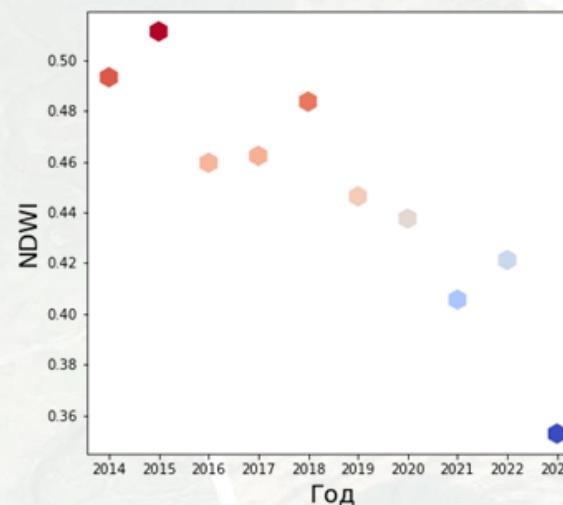
Временные ряды вегетационных индексов, рассчитанных по спутниковым данным, используются для оценки состояния леса и локализации регионов усыханий, а также для определения срока развития усыханий на разных участках леса.



МЕТОДИКА ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ



Ход изменения с 2014 по 2023 год индекса NDVI (по данным со спутника Landsat)
для трех пикселей со стрессовой растительностью, показанных специалистом лесопатологом



Ход изменения с 2014 по 2023 год индекса NDWI (по данным со спутника Landsat)
для трех пикселей со стрессовой растительностью, показанных специалистом лесопатологом



МЕТОДИКА ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

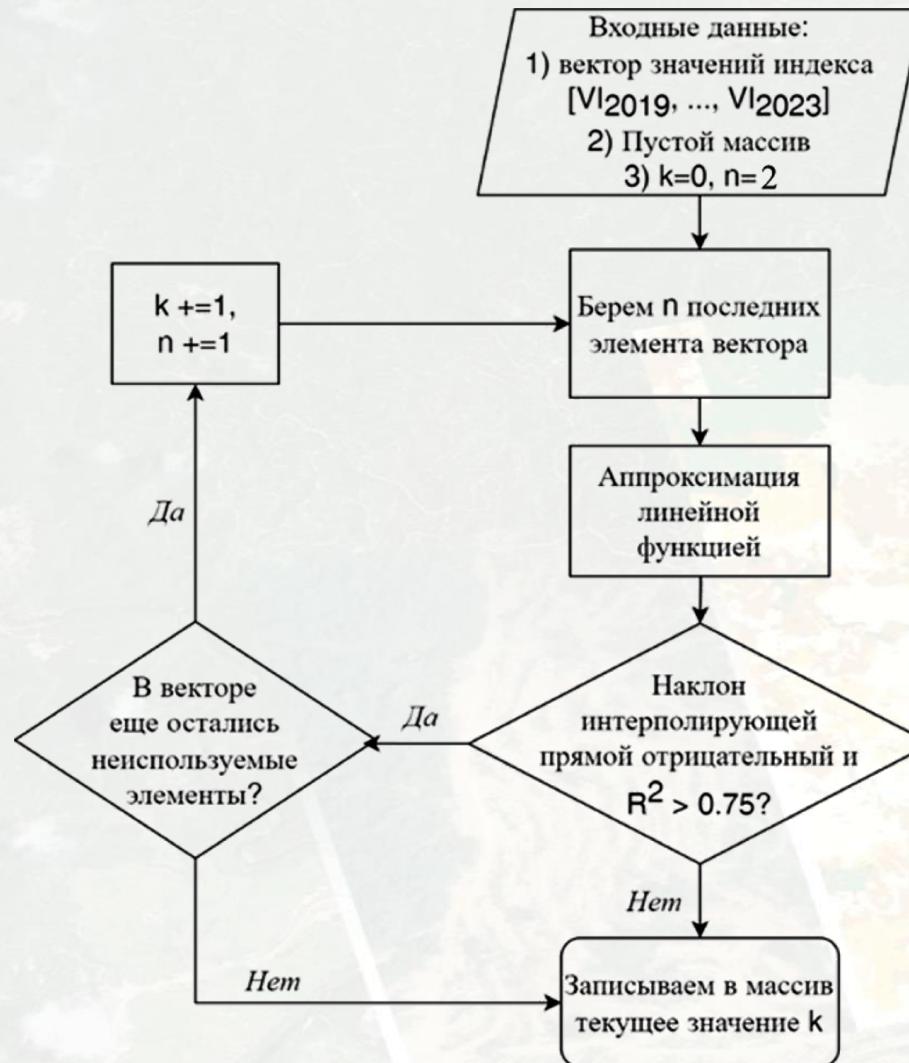
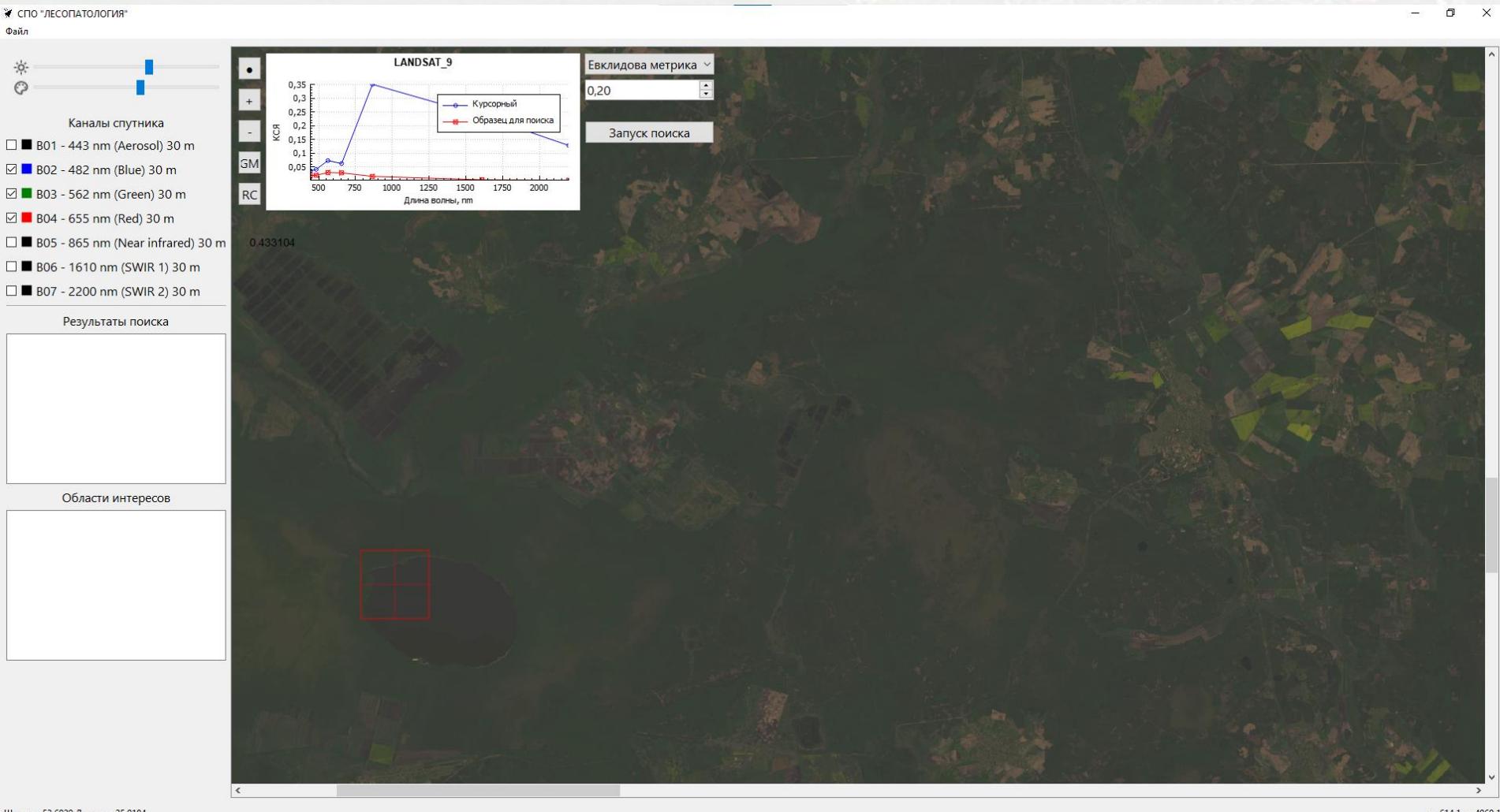


Схема методики поиска усыханий с разным сроком развития (попиксельный поиск) на спутниковых данных



Для поиска участков хвойного леса с усыхающими деревьями по спутниковым изображениям разработано СПО «Лесопатология».

СПО «Лесопатология» включает модуль анализа единовременных изображений.

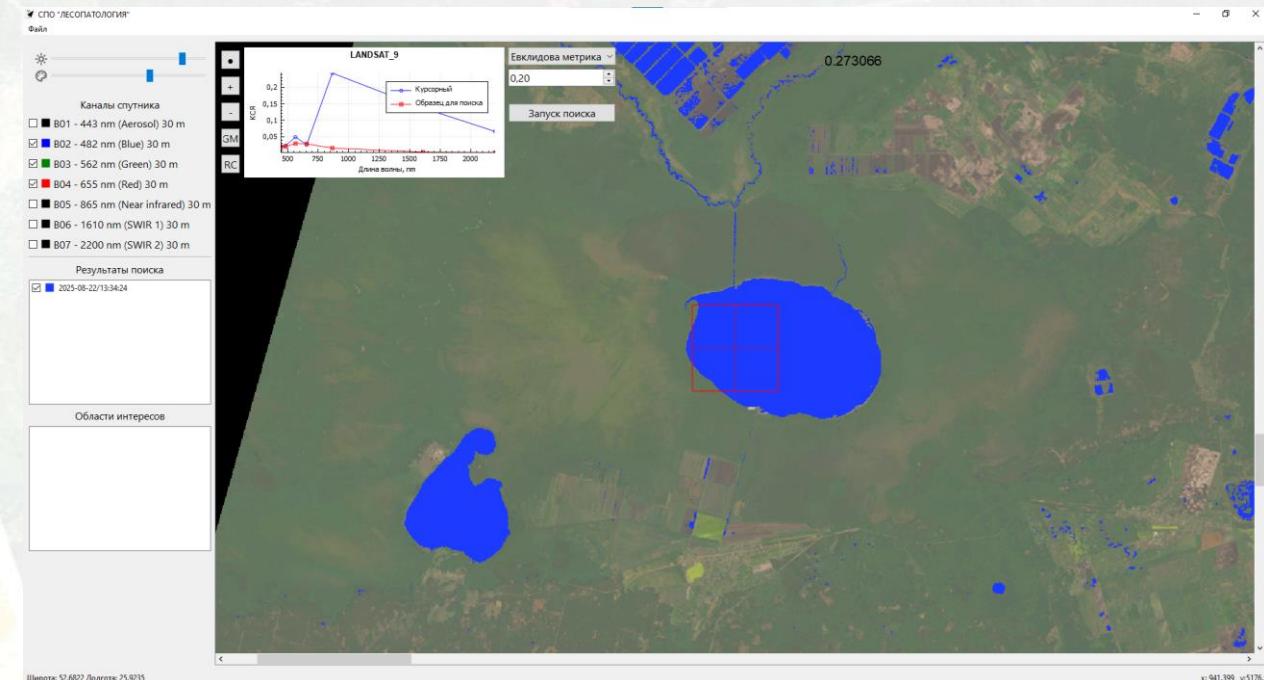
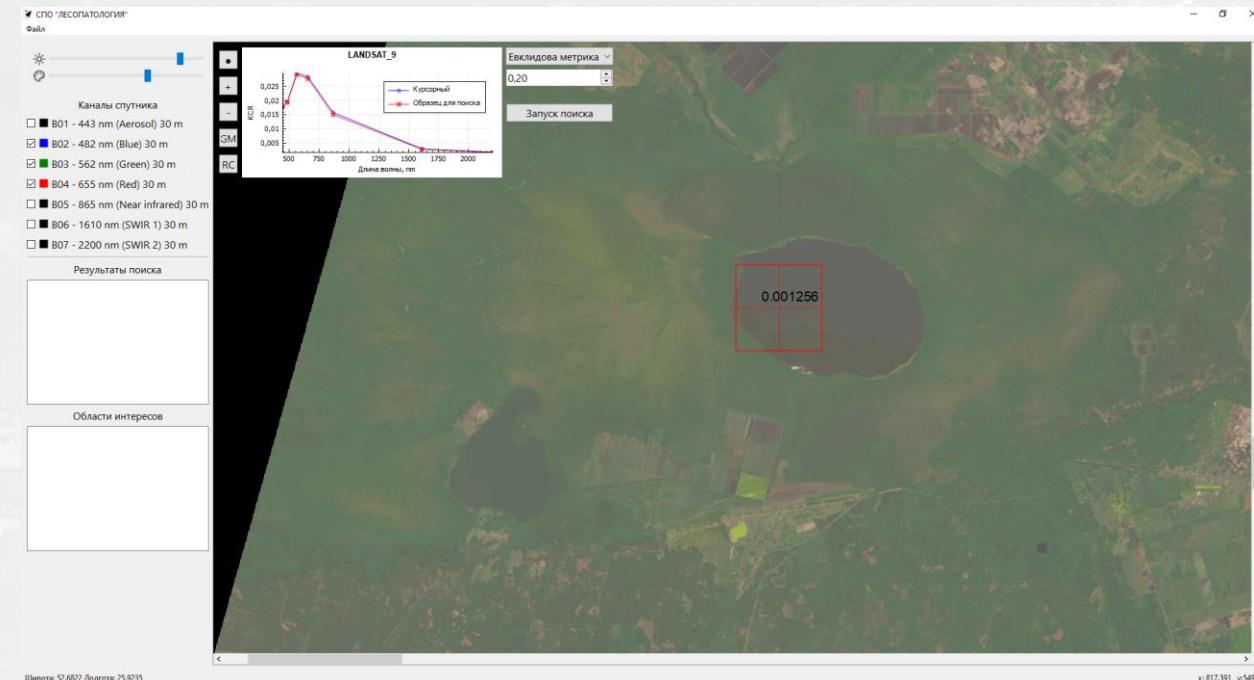


Двойным нажатием на левую клавишу мыши можно выбрать пиксель, КСЯ которого будет использован в качестве образца для поиска (либо в качестве образца можно загрузить внешний, библиотечный спектр).

График КСЯ пикселя для поиска обозначен красным цветом. Синим цветом отображается КСЯ пикселя под курсором.

Главное окно программы СПО «ЛЕСОПАТОЛОГИЯ» с загруженным изображением спутника Landsat 9

Пример поиска пикселей на изображении с близкими значениями КСЯ по заданной метрике (расстоянию)



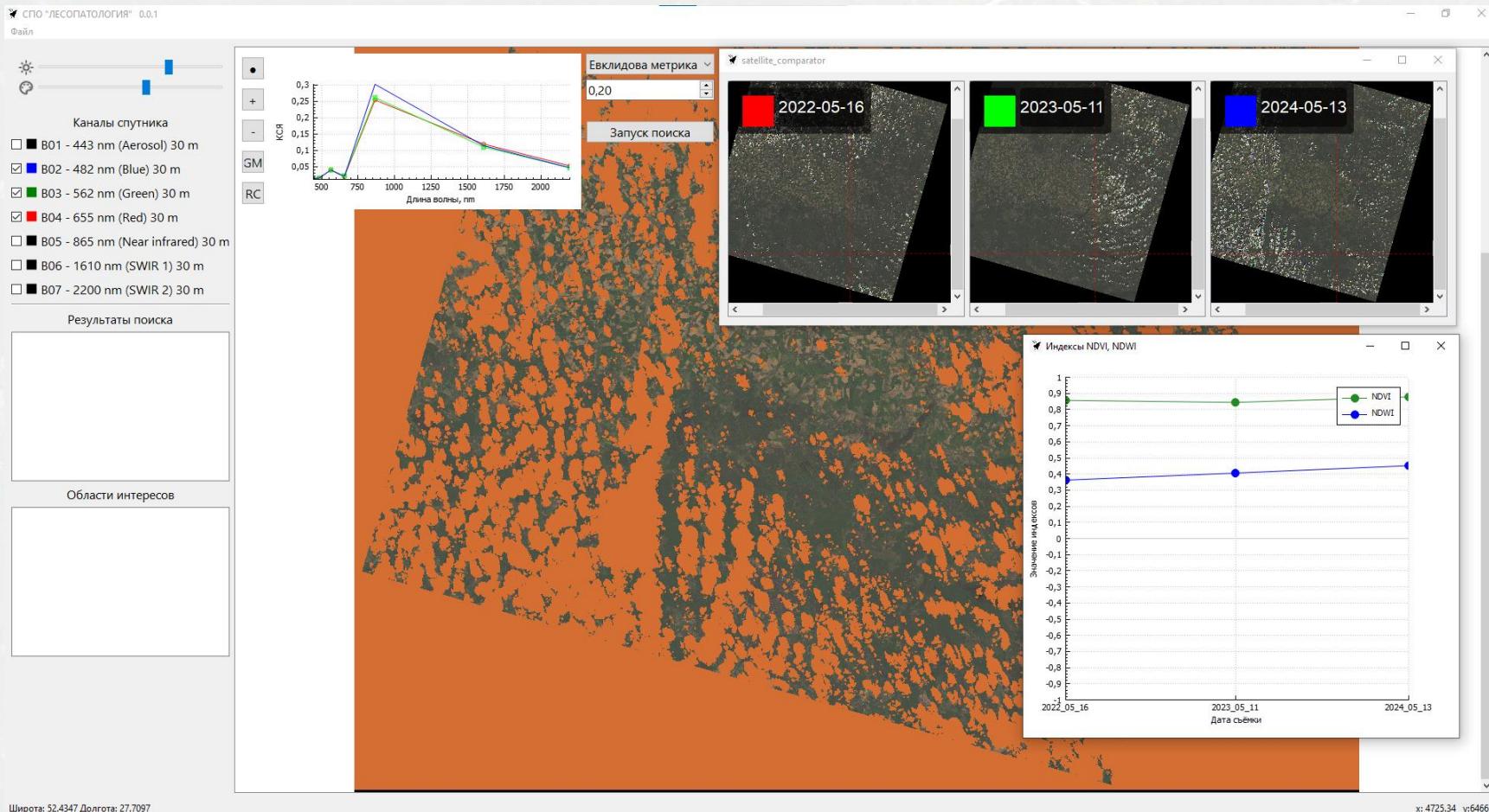
Для поиска по изображению пикселей со схожими КСЯ выбирается образец для поиска (обозначен красным квадратом с перекрестием). Образец для поиска - вода.

Для задания степени схожести (порога) предварительно рассчитываются максимально значения расстояний на изображении по различным метрикам

Результат поиска пикселей водной поверхности.
Приведен пример поиска для Евклидовой метрики с порогом
схожести 0.2



СПО «Лесопатология» включает модуль анализа временных рядов изображений.



Окно программы СПО «Лесопатология»
с загруженными изображениями спутника Landsat 9
за четыре месяца (май, июль, август, сентябрь) 2023 г.

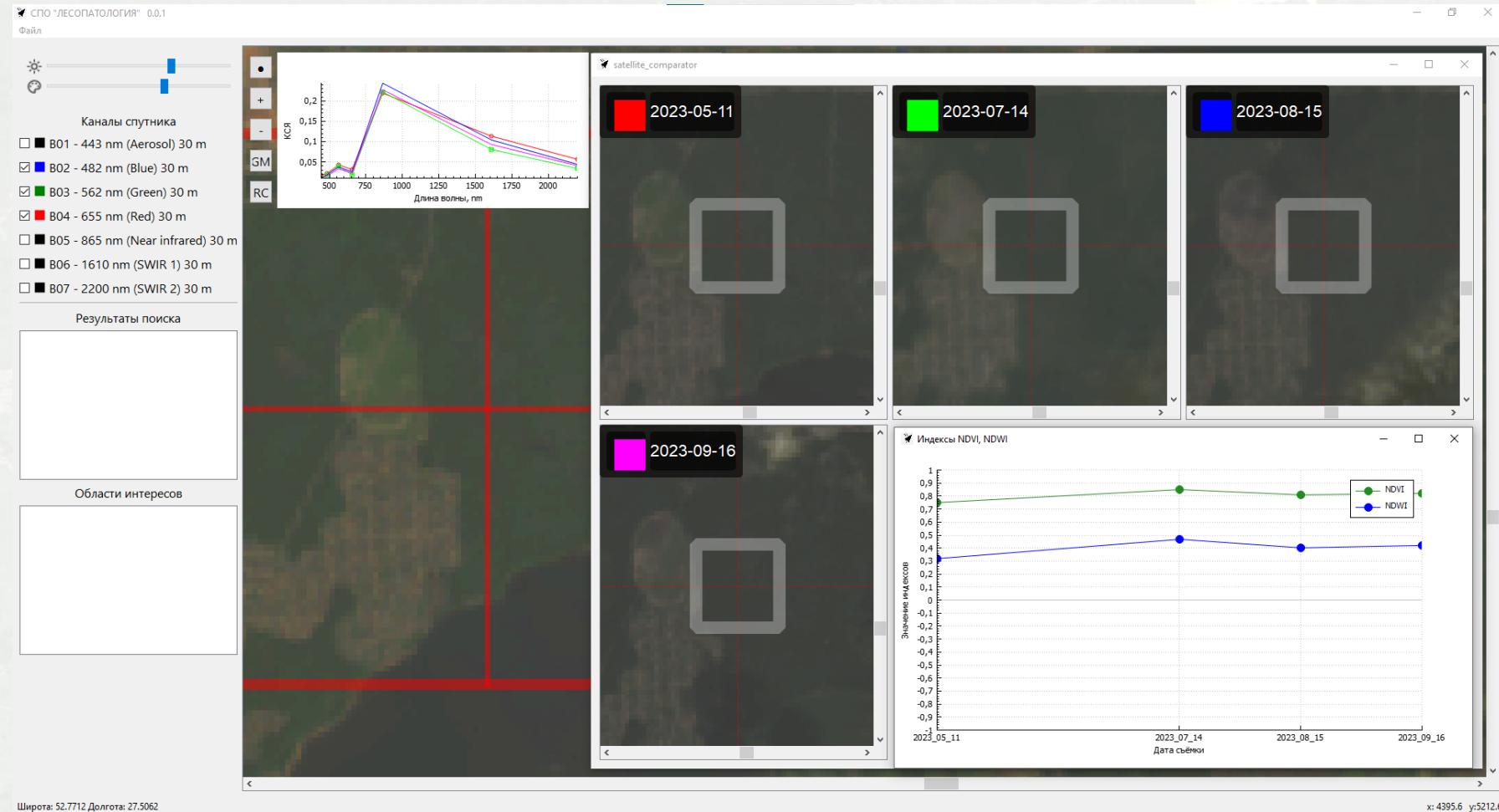
После загрузки временного ряда на экране отображаются изображения для различных моментов времени, отсортированные в порядке возрастания времени и обозначенные разными цветами. Теми же цветами отображены графики КСЯ пикселя под курсором для каждого изображения.

На базовом (первом) изображении показана композитная маска (заполнена оранжевым цветом) областей облачности, теней от облаков и отсутствия данных.

График справа снизу показывает временной ход значений индексов NDVI (зеленый цвет) и NDWI (синий цвет).

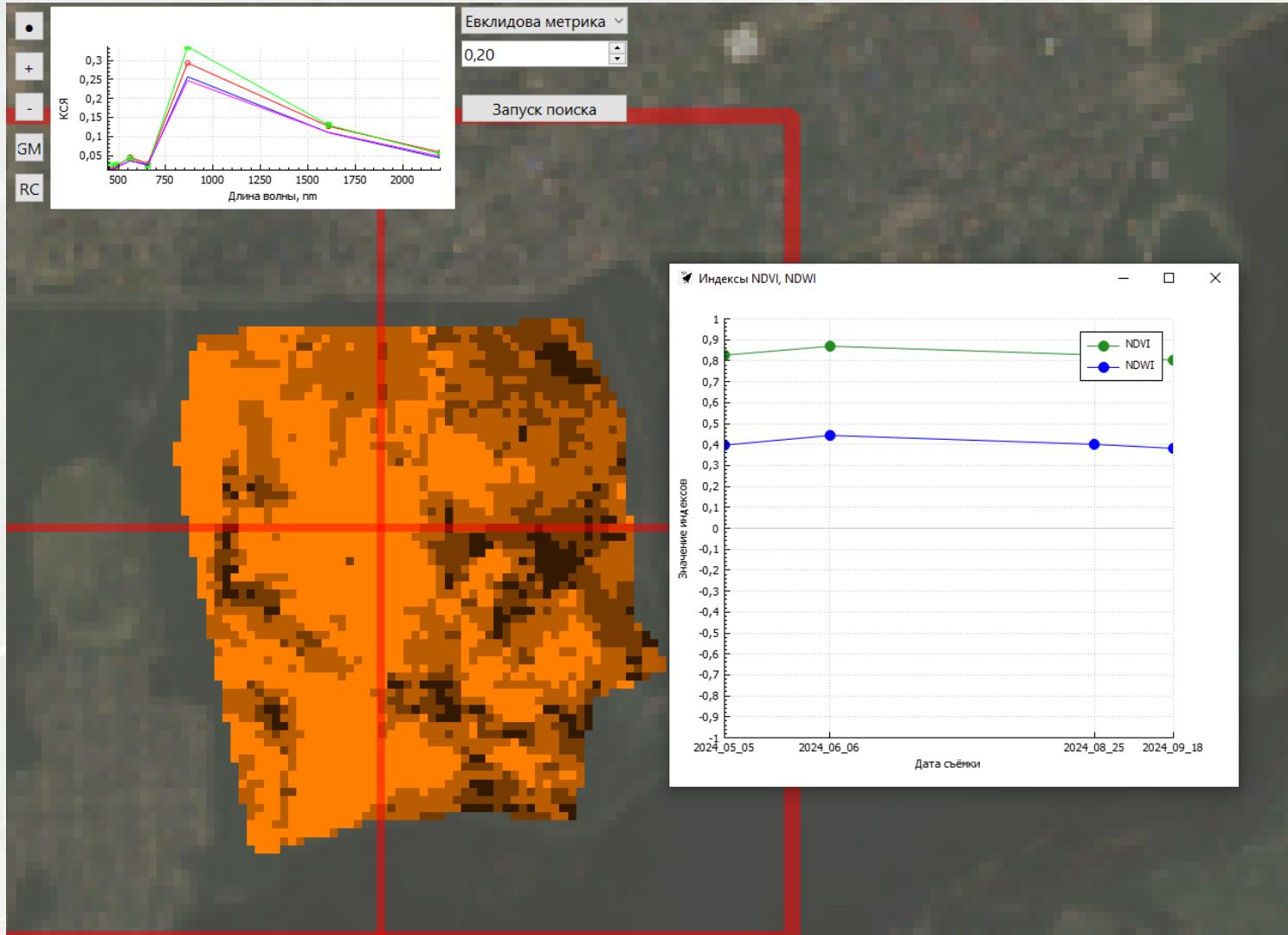


СПО «Лесопатология», модуль анализа временных рядов изображений.



Пример изменений индексов NDVI, NDWI для временного ряда изображений Landsat 9 участка леса в точке с географическими координатами 52.7729016715135, 27.5080791564738 за 2023 год (май – июль – август - сентябрь).

Окно программы СПО «ЛЕСОПАТОЛОГИЯ»
с загруженными изображениями спутника Landsat 9
за четыре месяца (май, июль, август, сентябрь) 2023 г.



Графики спектров КСЯ и временного хода значений индексов NDVI и NDWI для четырех изображений Landsat 9 за 2024 год (май - июнь - август - сентябрь) участка леса в точке с географическими координатами 52.77092584399061, 27.486695105311945

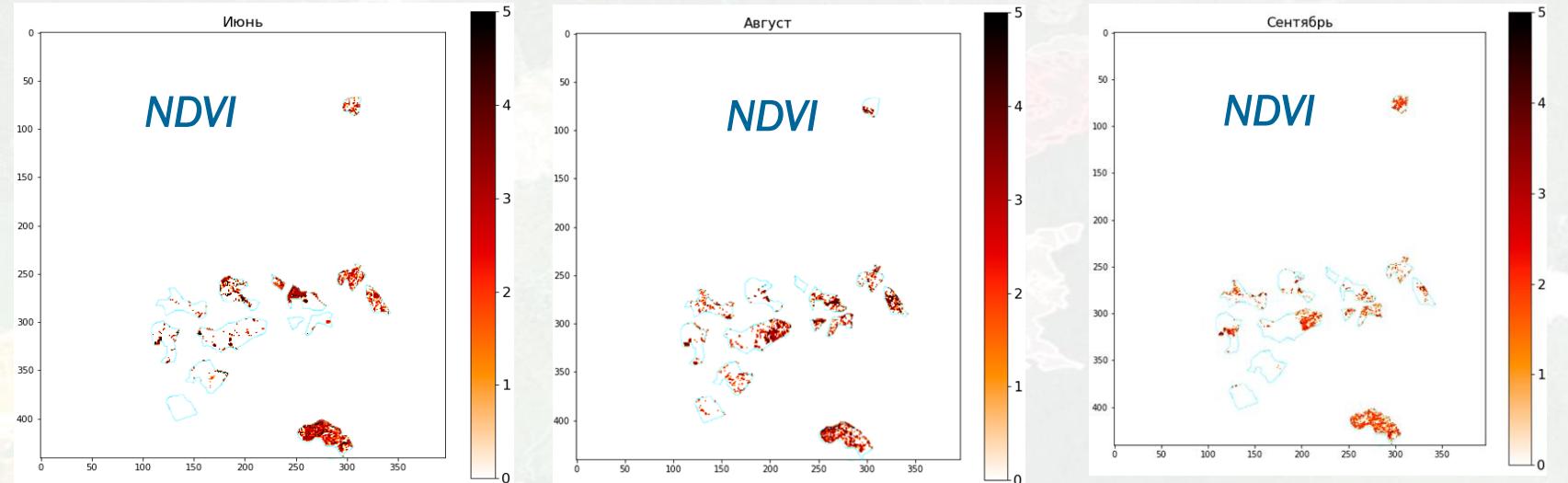
Срок усыхания (Drying Period (DP)) по NDVI длительностью в 1, 2 или 3 месяца показан в виде цветовой маски из 4 цветов (от темно коричневого до оранжевого):

- темно коричневый – DP = 0 (нет усыхания)
- коричневый – DP = 1
- светло-коричневый – DP = 2
- оранжевый – DP = 3

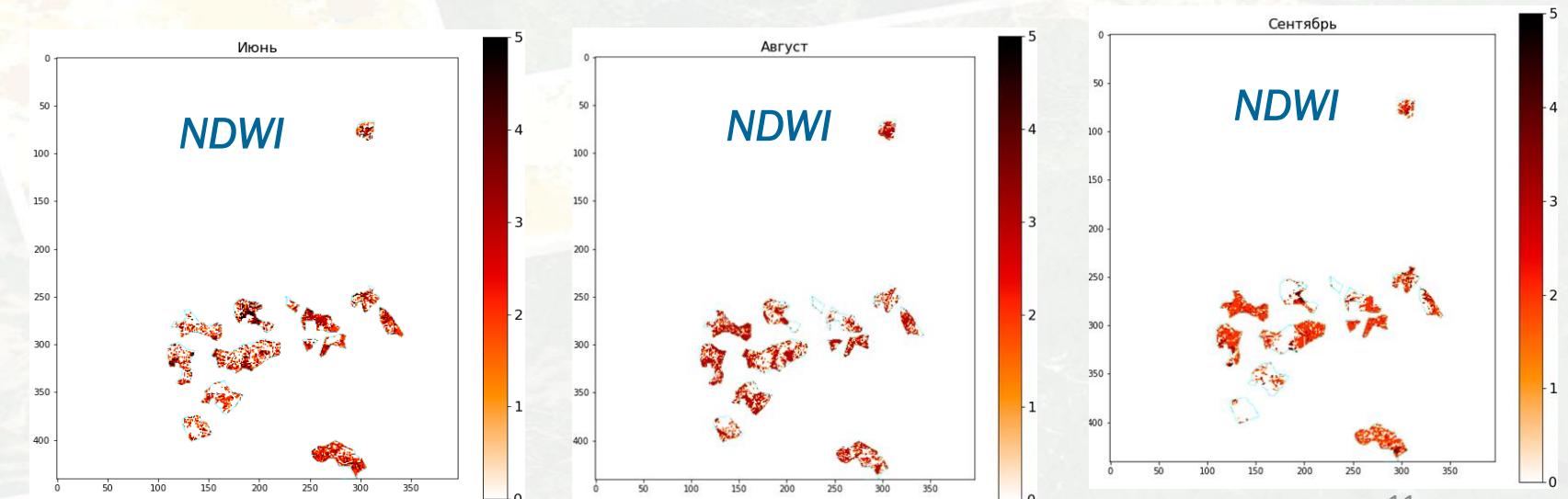


РЕЗУЛЬТАТЫ ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

Сроки обнаруженных в разные месяцы года усыханий при анализе спутниковых данных Sentinel-2
за пять лет с 2019 по 2023 года по изменению индексов NDVI и NDWI



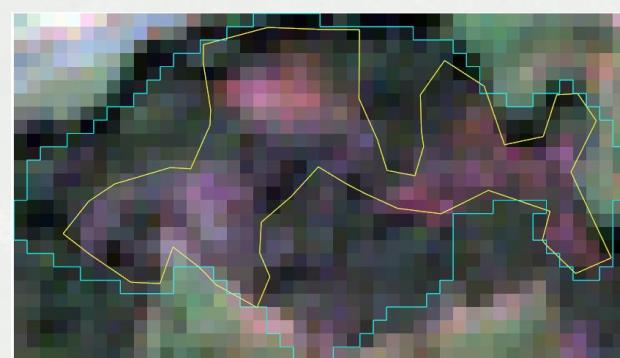
Фрагмент региона 1
Старобинского лесхоза с
масками елового леса



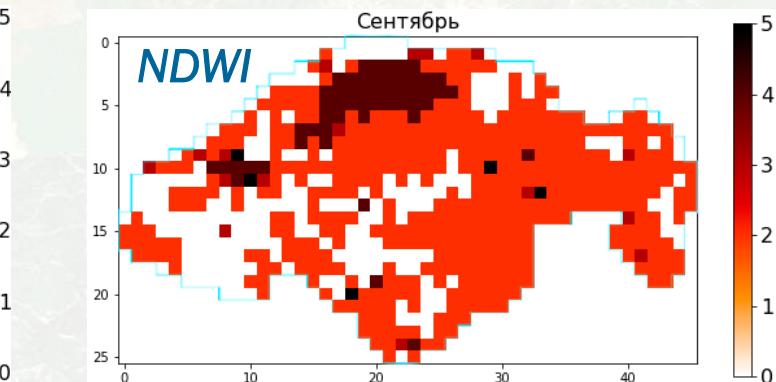
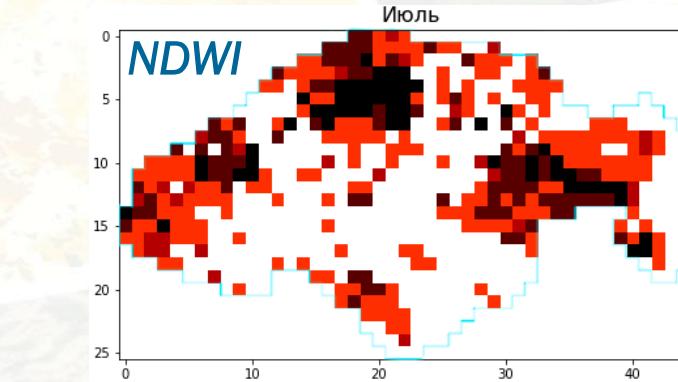
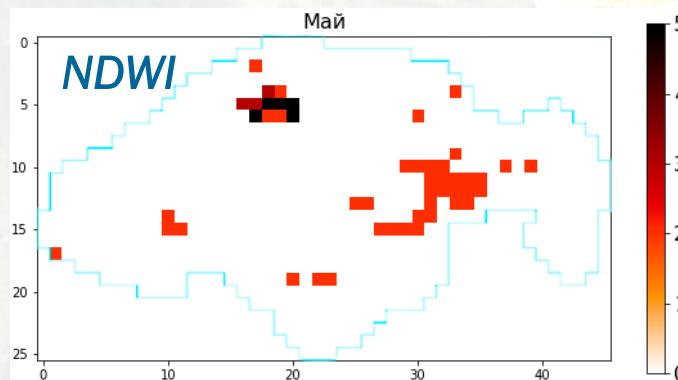
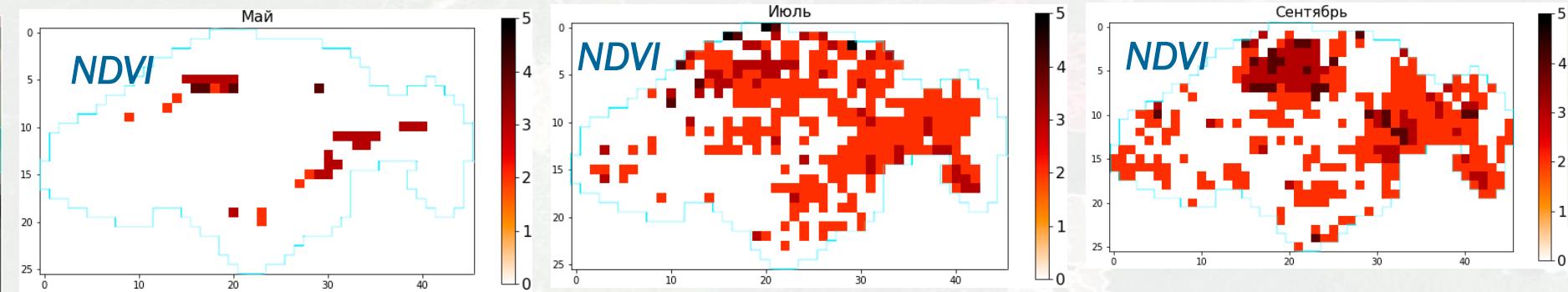


РЕЗУЛЬТАТЫ ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

Сроки обнаруженных в разные месяцы года усыханий при анализе спутниковых данных Sentinel-2
за пять лет с 2019 по 2023 года по изменению индексов NDVI и NDWI



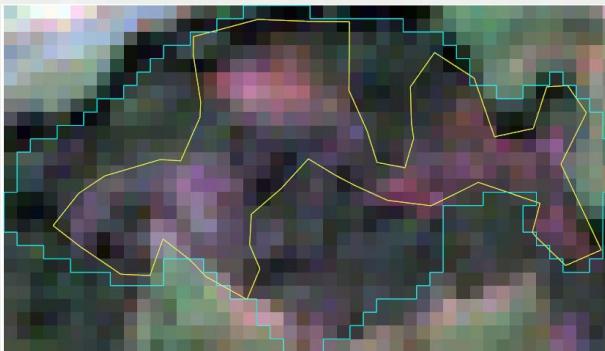
Фрагмент региона 2
Старобинского лесхоза
с маской елового леса





РЕЗУЛЬТАТЫ ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

Тестирование обнаружения усыханий по космическим снимкам Sentinel-2 по снимкам с борта БПЛА и наземным обследованиям



Фрагмент региона 2
Старобинского лесхоза
с маской елового леса



Ортофотоплан, полученный с БПЛА на регион интереса, наложенный на спутниковый снимок с границей намеченных вырубок по данным лесопатологов



с наложением областей усыхания
(желтый цвет), найденных по
спутниковым данным

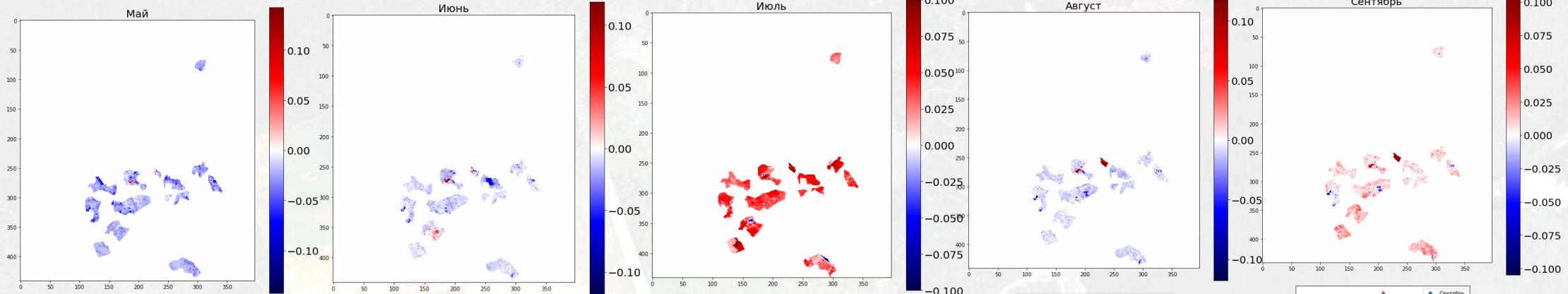


РЕЗУЛЬТАТЫ ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА СПУТНИКОВЫХ СНИМКОВ

Скорость развития усыхания елового леса по изменению индексов NDVI и NDWI в разные месяцы за годы 2021-2023 (по Sentinel-2)

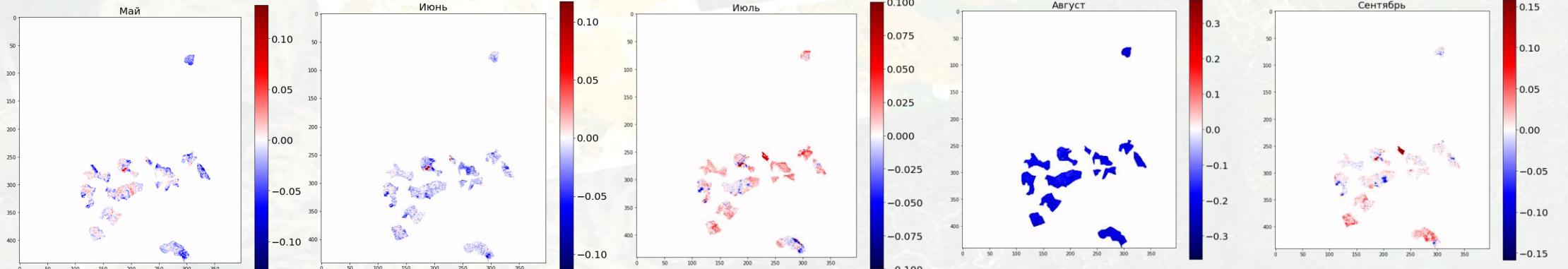
Отрицательное значение наклона аппроксимирующей прямой обозначает уменьшение вегетационного индекса в пикселе, положительное значение - рост вегетационного индекса.

NDVI



**Фрагмент региона 1
Старобинского
лесхоза с масками
елового леса**

NDWI





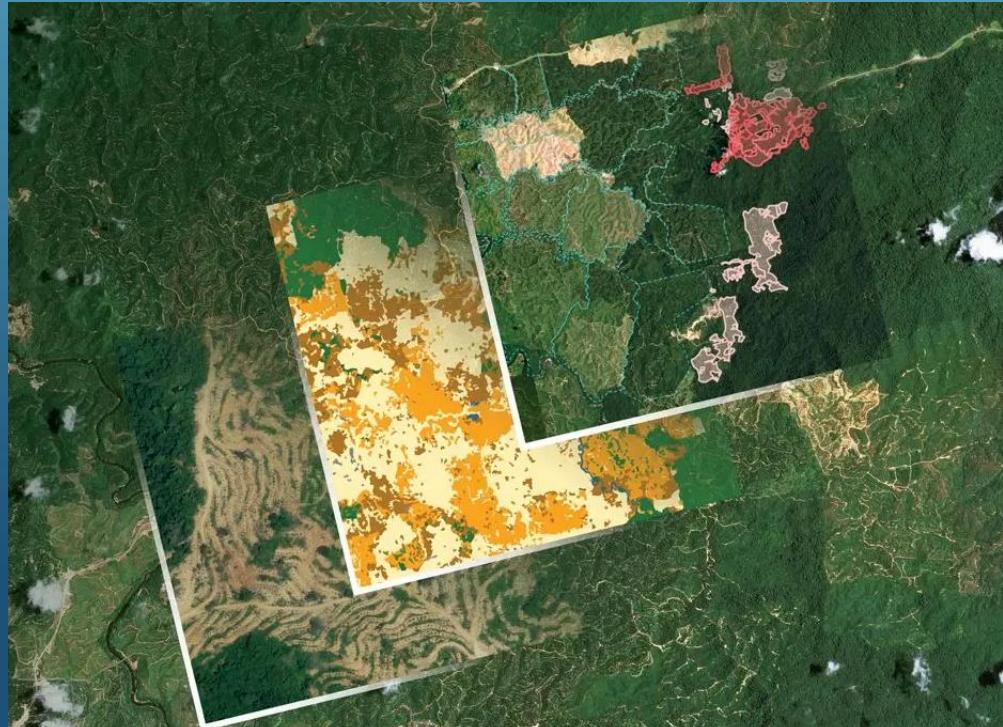
ВЫВОДЫ

На значения ВИ могут влиять не только состояние хвойной растительности, но и другие факторы, такие как сезонность и влажность почв, влияющая на значение индекса NDWI. Эти факторы необходимо учитывать при использовании данной методики.

Индекс NDWI, отражающий водный стресс растительности, является более информативным, чем индекс NDVI, который отражает качество и количество растительности. Однако, рекомендуется использовать совместно оба индекса, поскольку водный стресс (значение NDVI) может быть обусловлен засушливой погодой.

Все месяцы вегетации растительности с мая по сентябрь могут использоваться для мониторинга усыхания леса, при этом июль является наименее информативным месяцем, что, по-видимому, связано с двумя поколениями короеда (в мае и в июле-августе). Наиболее точная оценка усыханий по ВИ NDVI и NDWI соответствует августу месяца.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ



КООРДИНАТЫ ДЛЯ СВЯЗИ:



**ОТДЕЛ
АЭРОКОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

Телефон: + 375 17 396 44 09

Факс: + 375 17 398 32 46

E-mail: remsens@mail.ru

Сайт: www.remsens.by

Научно-исследовательское учреждение «Институт прикладных
физических проблем имени А.Н. Севченко Белорусского
государственного университета», Минск, Беларусь



Республика Беларусь,
220045, г. Минск, ул. Курчатова, 7