



Метод оценки лесовосстановления на основе совместного анализа индекса выгорания NBR и радиолокационного индекса объемной неоднородности $dpRVI$

Кирбижекова И.И., Чимитдоржиев Т.Н., Дмитриев А.В., Балтухаев А.К., Худайгердиева О.А.

Институт физического материаловедения СО РАН, Улан-Удэ, Россия

GLOBAL FOREST WATCH

КАРТА ИНФОРМАЦИОННАЯ ПАНЕЛЬ СПРАВКА О НАС БЛОГ ДРУГИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

АНГЛИЙСКИЙ

ЛЕГЕНДА **АНАЛИЗ**

ИЗМЕНЕНИЯ В ЛЕСАХ

РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ

АЛЕПОЛЬЗОВАНИЕ

КЛИМАТ

ГОРАЗНООБРАЗИЕ

ИССЛЕДОВАТЬ

ПОИСК

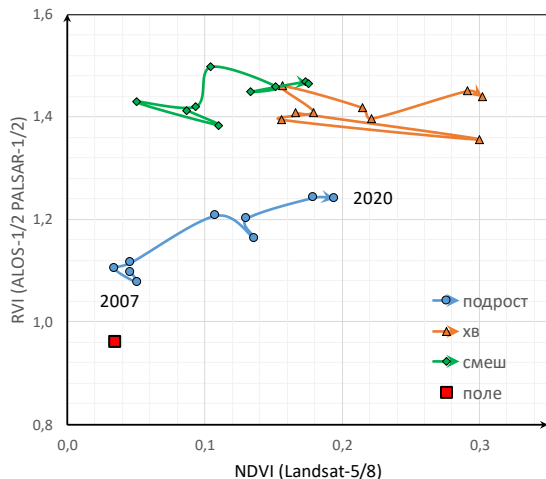
СПУТНИКОВЫЕ СНИМКИ ПЛАНЕТЫ (ТРОПИКИ)

В настоящее время актуальны исследования возможности комплексной многосторонней оценки и мониторинга процесса послепожарного лесовосстановления на основе спутниковых данных различных диапазонов.

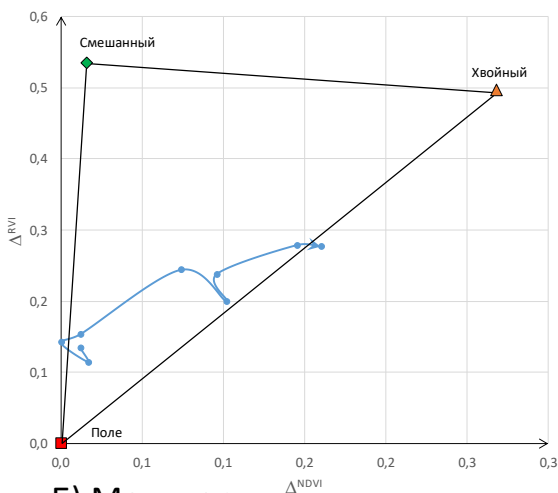
В докладе представлены результаты дальнейшего развития метода¹ комбинирования мультиспектральных оптических снимков и данных спутниковой радиолокации дециметрового диапазона длин волн. с привлечением более универсального для мониторинга лесных гарей индекса NBR и более чувствительного к изменениям биомассы индекса dpRVI.

¹Кирбижекова И.И., Чимитдоржиев Т.Н., Дмитриев А.В. Метод мониторинга лесовосстановления на основе совместного анализа оптико-микроволновых данных на плоскости NDVI – RVI // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 4. С. 165-174.

Основы метода комплексной оценки процесса лесовосстановления на плоскости NDVI-RVI



А) Подвижная треугольная зона лесовосстановления на плоскости NDVI-RVI



Б) Мониторинг восстановления/замещения основной породы (сосны)

NDVI зимнего периода характеризуют зарастание территории и фитомассу вечнозелёной лесной растительности, RVI – количество объёмных рассеивателей (надземную биомассу+шероховатость поверхности и рельеф).

А) По мере зарастания территории и роста биомассы лесной растительности вегетационные индексы NDVI и RVI увеличиваются от значений характерных для безлесного участка к значениям эталонного леса. На плоскости NDVI-RVI контрольные участки формируют подвижную треугольную зону, внутри которой изменения вегетационных индексов характеризуют увеличение проективного покрытия лесным подростом, рост надземной биомассы и замещение/восстановление основной породы.

Б) Выбор контрольных участков леса основного (соснового) и альтернативного (смешанного) породного состава позволяет оценить процессы восстановления или замещения основной породы.

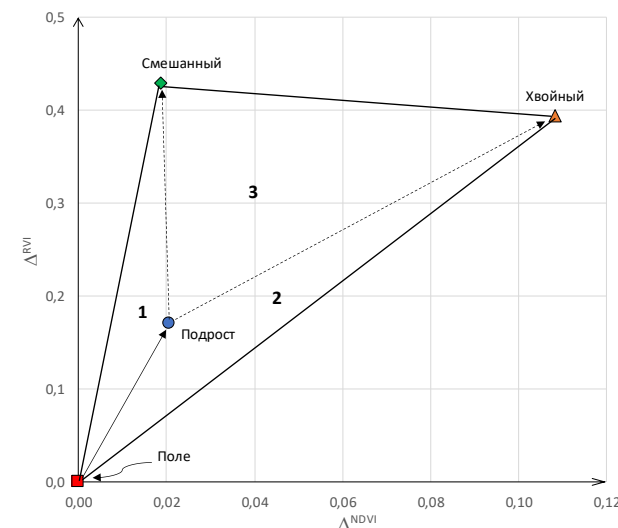
В) Для количественной оценки степени лесовосстановления и доли сосны: индекс DRI (англ. degree of reforestation index) и индекс RSI (англ. ratio of species index):

$$DRI = \frac{s_1 + s_2}{S} = \left(1 - \frac{s_3}{S}\right); S = s_1 + s_2 + s_3$$

$$RSI_{\text{сосна}} = \frac{s_1}{s_1 + s_2}$$

где площади треугольников определяются формулами аналитической геометрии на основе координат вершин:

$$s_1 = \mp \frac{1}{2} \begin{vmatrix} \Delta NDVI_{\text{смеш}} & \Delta RVI_{\text{смеш}} \\ \Delta NDVI_{\text{подрост}} & \Delta RVI_{\text{подрост}} \end{vmatrix}, \dots$$



В) геометрические построения для количественной оценки

Комплексная оценка процесса лесовосстановления на плоскости NBR-dpRVI

Нормализованный индекс гарей NBR (Normalized Burn Ratio) характеризует общее состояние и тепловой режим лесного участка, эффективен для оценки динамики лесных гарей и является более универсальным с точки зрения породного состава лесного подростка:

$$\text{NBR} = \frac{\text{NIR} - \text{SWIR}}{\text{NIR} + \text{SWIR}}.$$

Радарный вегетационный индекс по данным с двойной поляризацией $dpRVI^1$ (Radar Vegetation Index from dual-pol SAR data) характеризует биомассу растительности и показал в C-диапазоне более высокую чувствительность к изменениям:

$$dpRVI = 1 - m\beta;$$

где m – степень поляризации $m = \sqrt{1 - \frac{4|C_2|}{(Tr(C_2))^2}}$, ($0 \leq m \leq 1$);

β – мера доминирования в механизме рассеяния $\beta = \lambda_1 / span$, ($0 \leq \beta \leq 1$);

C_2 – ковариационная матрица размером 2x2;

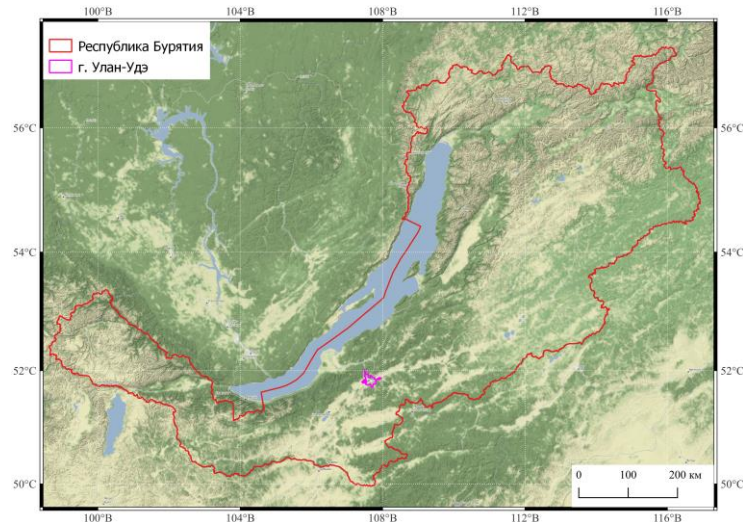
Tr – след матрицы или сумма диагональных элементов;

λ_1 – наибольшее собственное значение матрицы C_2 ;

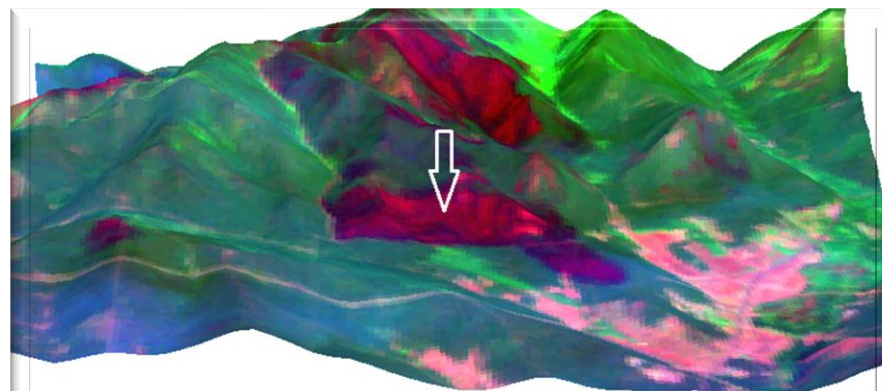
$Span$ – общая мощность.

¹Mandal D., Kumar V., Ratha D., Dey S., Bhattacharya A., Lopez-Sanchez J.M., McNairn H., Rao Y. S. Dual polarimetric radar vegetation index for crop growth monitoring using Sentinel-1 SAR data // Remote sensing and environment 247 (2020). 111954.

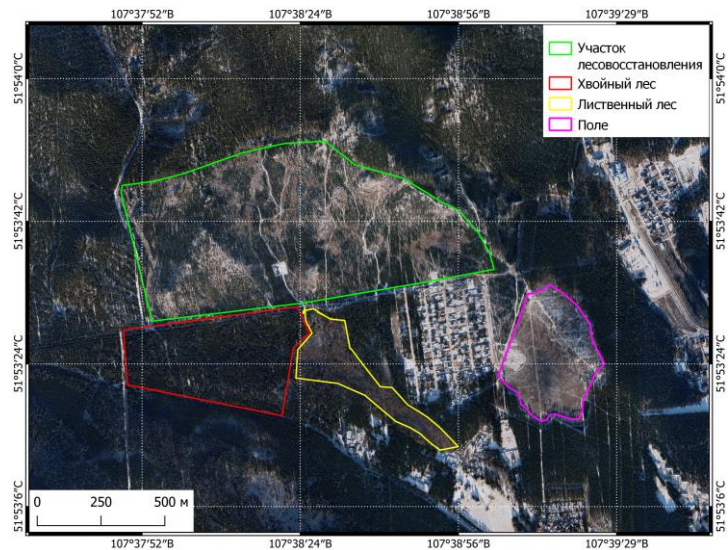
Территория и объект исследования (107.64° с.ш., 51.90° в.д.)



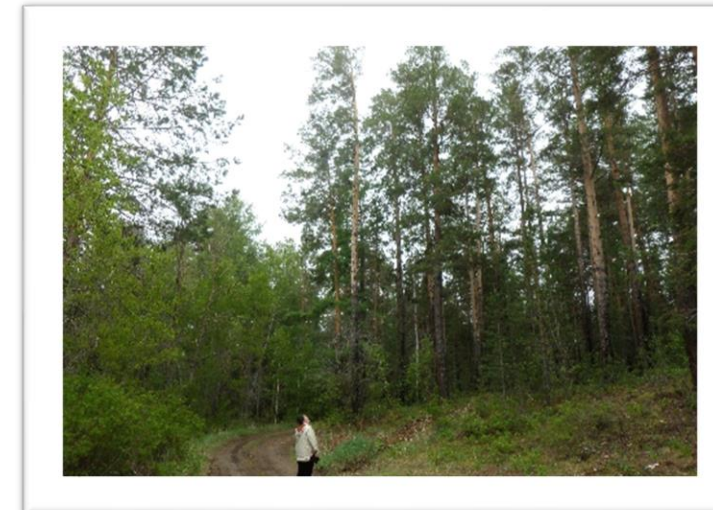
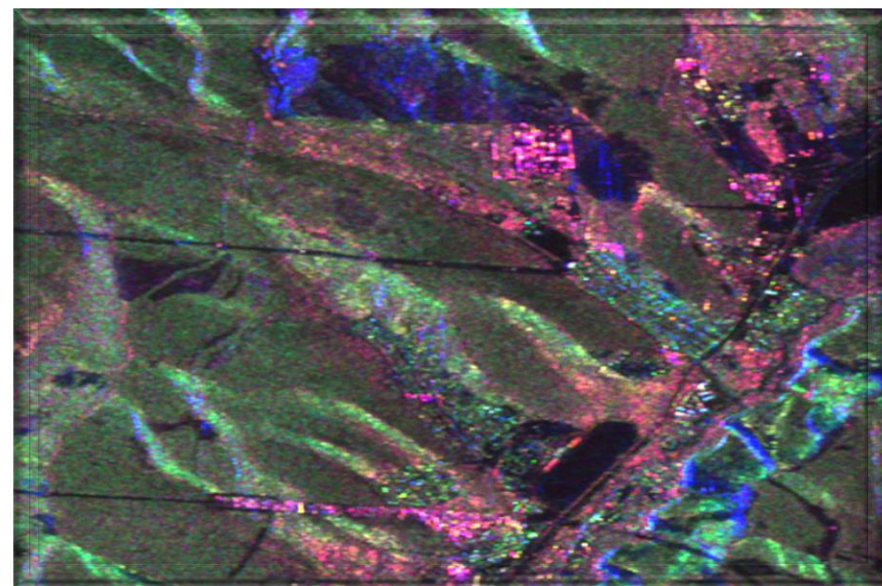
Изображения территории исследования в оптическом и радиодиапазоне (ALOS-2 PALSAR-2 от 05.04.2017 г.)



3D-изображение по данным Landsat-5 от 10.04.2003 и 10.06.2003



Местоположение территории исследования и схема расположения тестовых участков

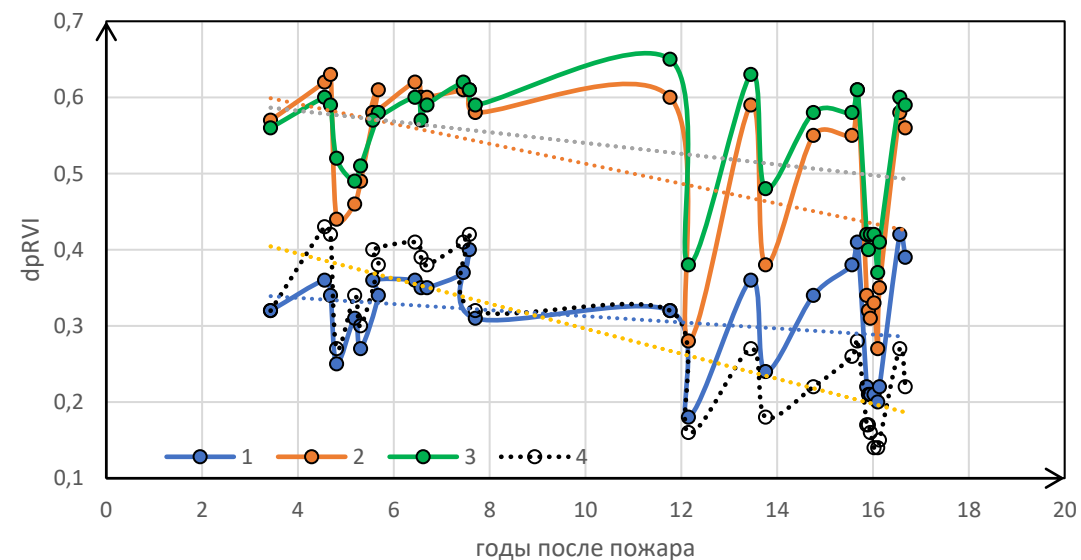
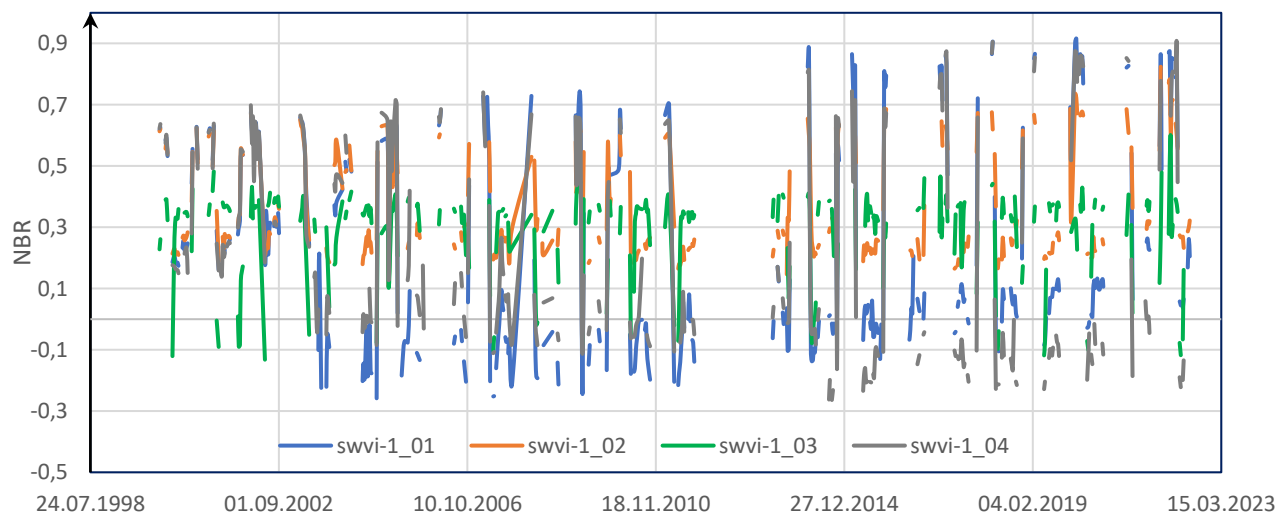
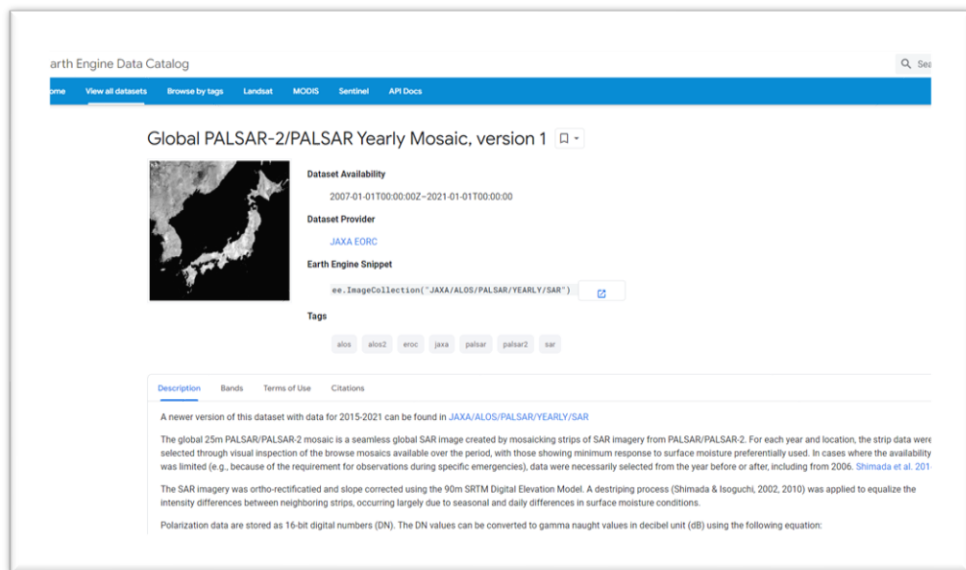


Участок лесовосстановления и контрольные участки соснового и смешанного леса.

Данные облачной платформы GEE (Google Earth Engine) и поляриметрической съёмки в L-диапазоне

В данном исследовании использованы усреднённые значения по территории участков исследования:

- 714 (из них безоблачных 55%) нормализованных индексов выгорания NBR (Normalized Burn Ratio) по GEE-данным спутников Landsat-5/8 за период 2000-2022 гг. ;
- 29 радарных вегетационных индексов dpRVI (Dual-pol Radar Vegetation Index с двойной поляризацией) по данным съёмки спутниковых радиолокаторов ALOS PALSAR-1/2 в L-диапазоне (длина волны 23.5 см) за период 2007-2019 гг..

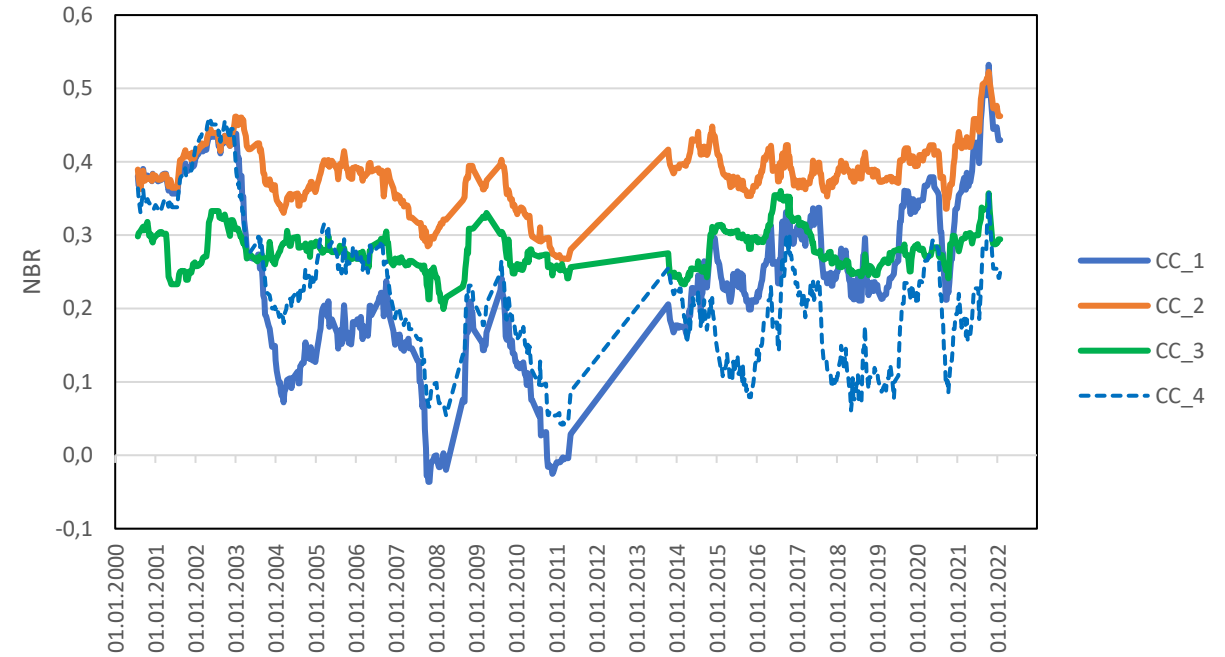


Долговременные изменения NBR

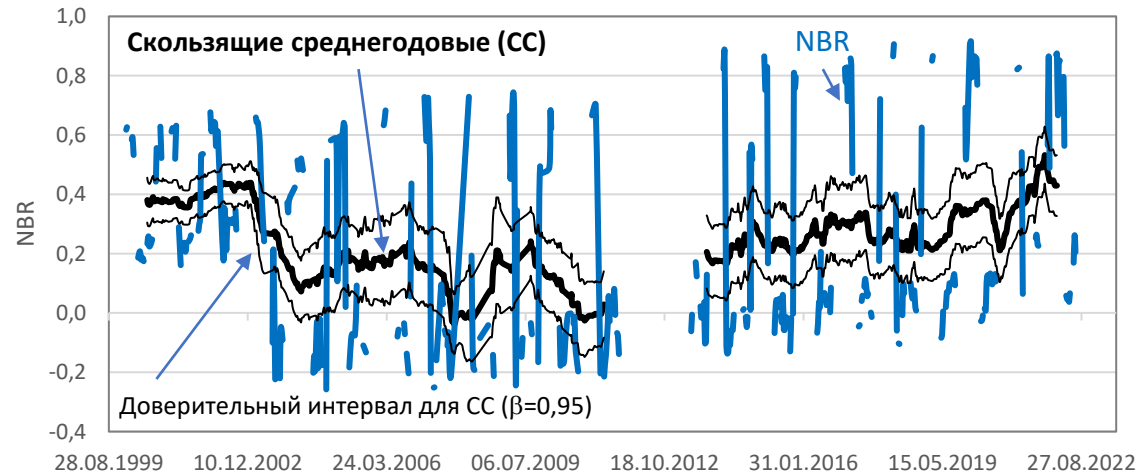
Безоблачные сеансы в скользящем годовичном окне



Сравнение скользящих среднегодовых (СС)

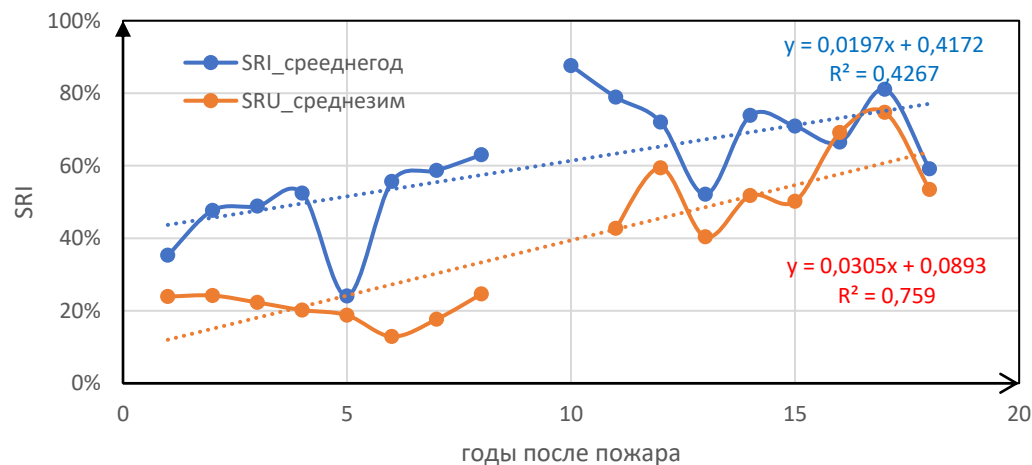
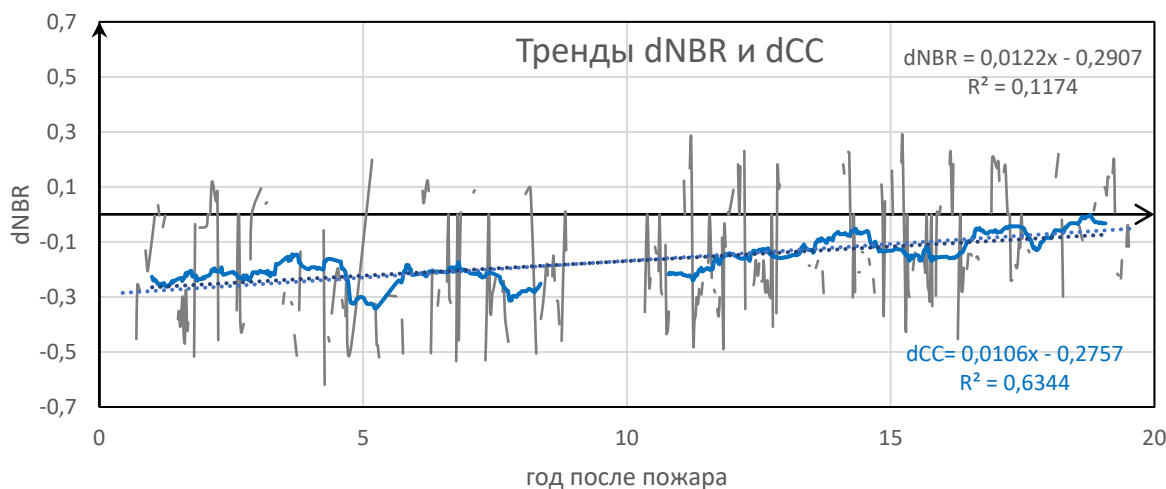
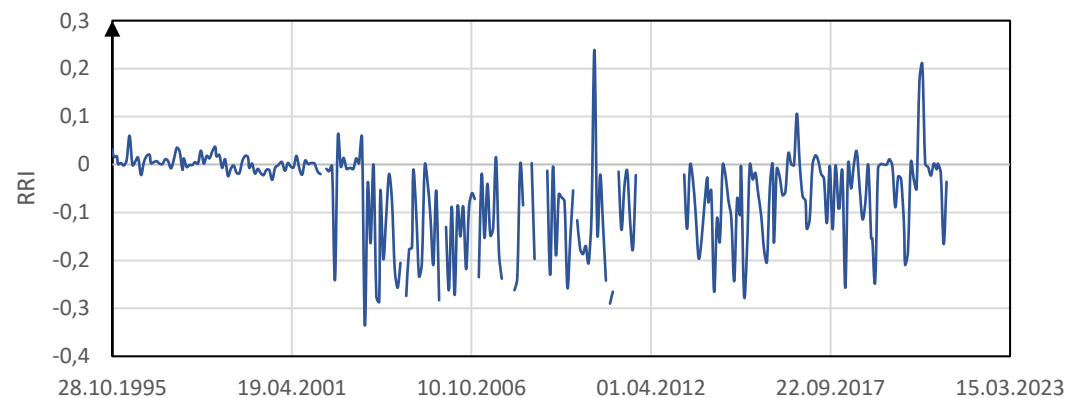
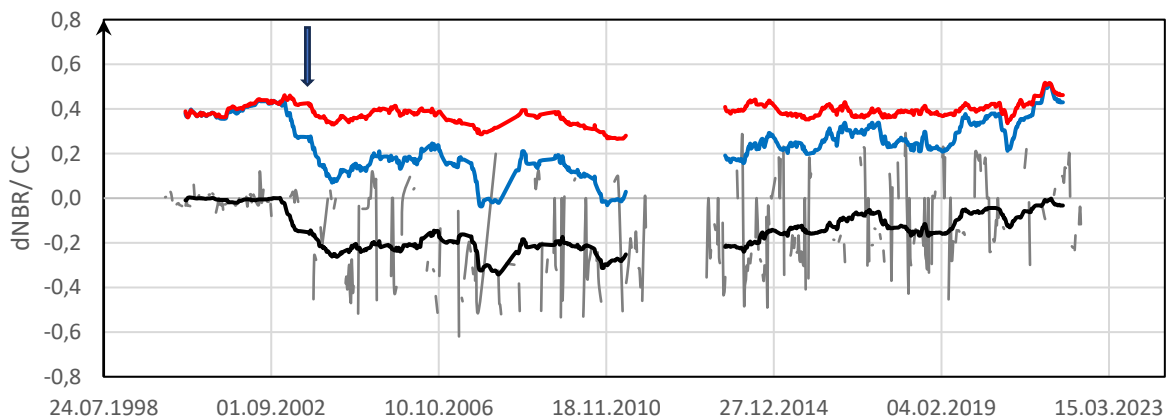


Выравнивание ряда NBR на участке лесовосстановления



1 – подрост, 2 – сосновый лес, 3 – смешанный лес,
4 – поле (открытый участок без растительности после 2015 г.).

Сравнение NBR участка лесовосстановления и контрольного соснового леса

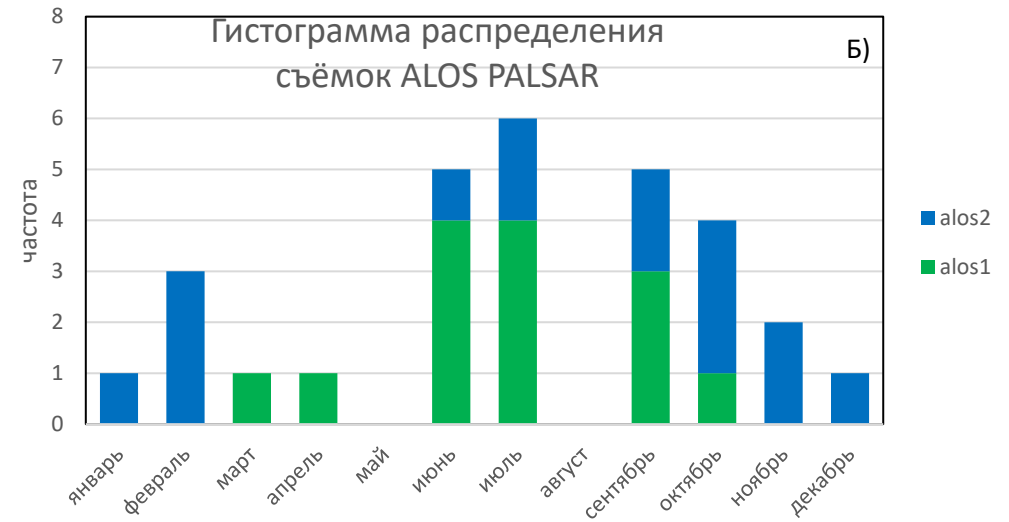
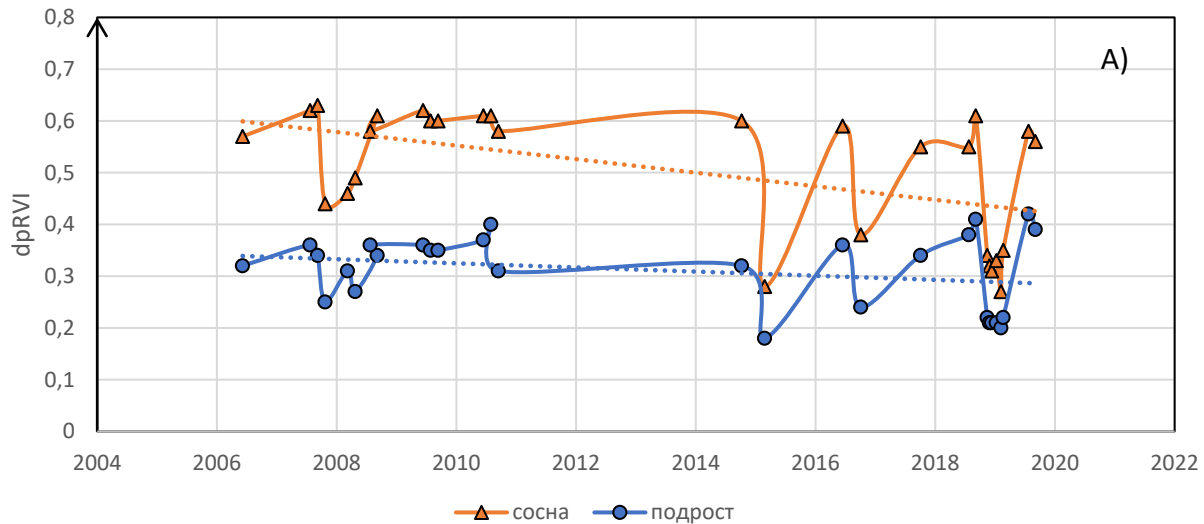


Разность среднегодовых значений NBR (dNBR и dCC) стремится к 0 в течении ~20 лет, но сезонные отличия остаются значительными, что согласуется с аналогичными оценками для NDVI (см. графики RRI и SRI на рис. справа).

Относительный индекс лесовозобновления RRI (Relative Regrowth Index): $RRI = NDVI_{\text{послепожар}} - NDVI_{\text{сосны}}$.

Индекс восстановления древостоя SRI (Stand Regrowth Index): $SRI(t) = \frac{NDVI_{\text{послепожар}}(t)}{\text{mean}[NDVI_{\text{допожар}}(t)]} * 100\%$;

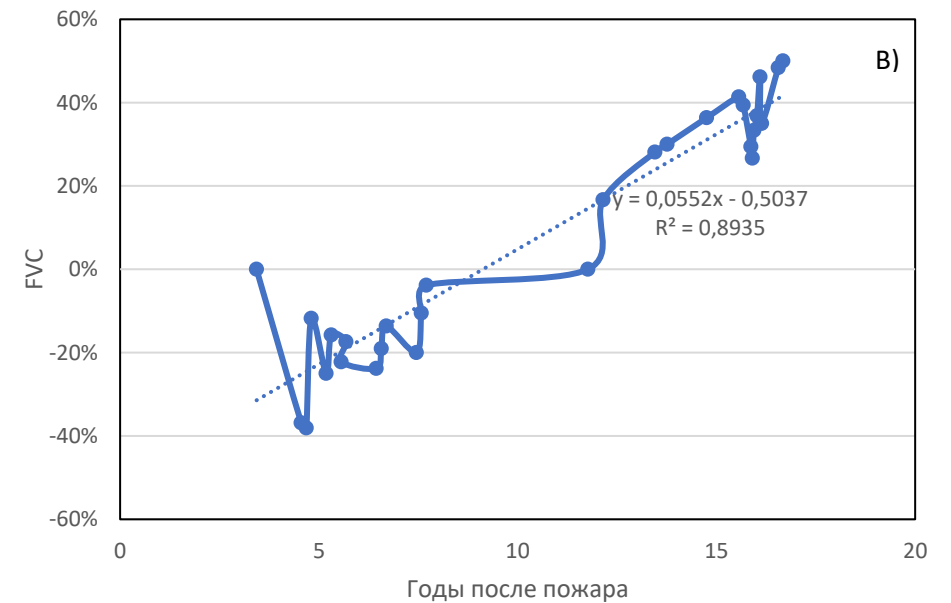
Тренды временных рядов dpRVI



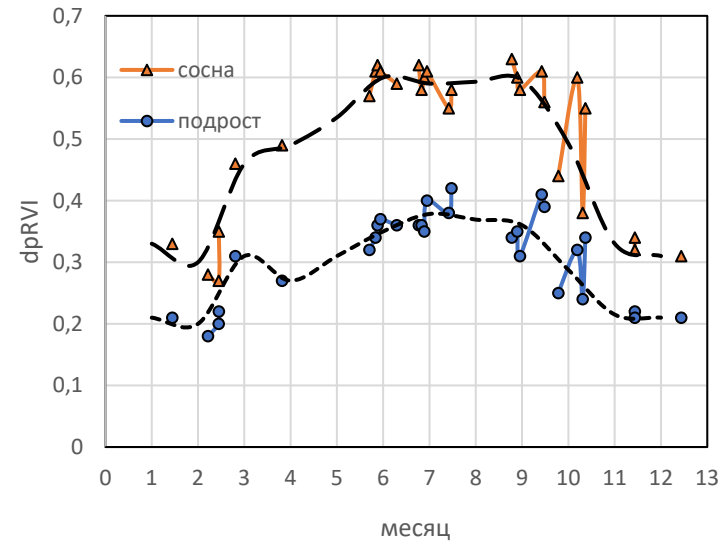
А) Временные ряды и ложные тренды dpRVI для соснового леса и подроста.

Б) Гистограмма неравномерного распределения съёмки ALOS PALSAR-1-2.

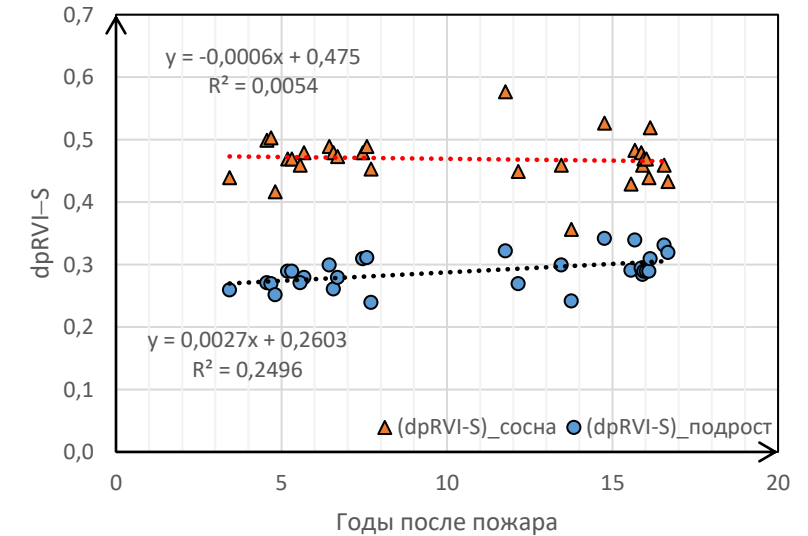
В) Предварительная оценка динамики биомассы на участке лесовосстановления посредством тренда поляриметрического аналога индекса FVC (Fractional Vegetation Cover - фракционный растительный покров), применяемого в оптическом диапазоне для индекса NDVI:
$$FVC = \frac{dpRVI_{\text{послепожар}} - dpRVI_{\text{почв}}}{dpRVI_{\text{контр.лес}} - dpRVI_{\text{почв}}} \cdot 100\%.$$



Определение долговременных тенденций изменения dpRVI



Сезонная компонента dpRVI, $S \times 10^{-3}$					
месяц	сосна	подрост	месяц	сосна	подрост
Январь	-139	-79	Июль	121	89
Февраль	-169	-89	Август	124	80
Март	-9	21	Сентябрь	127	71
Апрель	21	-19	Октябрь	24	-2
Май	66	21	Ноябрь	-139	-74
Июнь	131	61	Декабрь	-159	-79



Этапы построения аддитивной модели $dpRVI = Tr + S + E$:

- Определение кусочно-неравноточной сезонной компоненты S ;
- Определение линейного тренда для рядов $dpRVI - S = Tr + E$;
- Анализ остаточных ошибок $E = dpRVI - Tr - S$ на случайность.

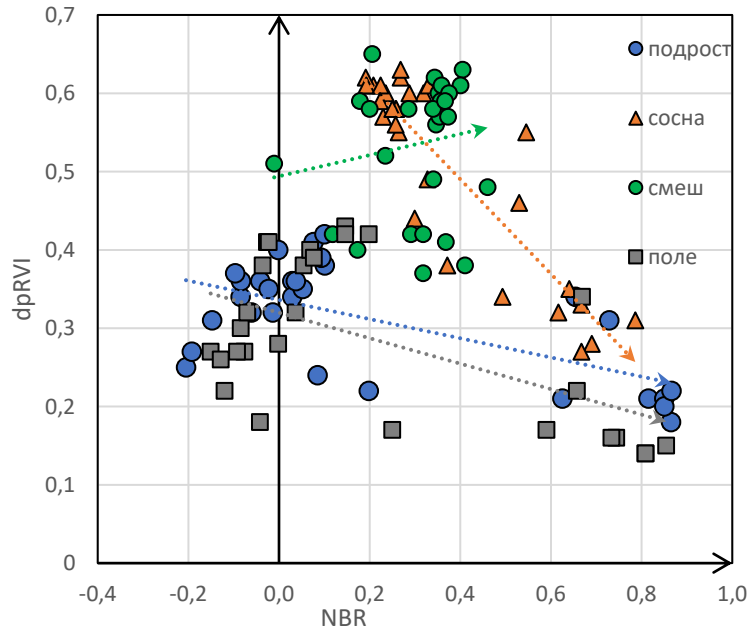
Среднегодовые значения и стандартные отклонения среднегрупповых $dpRVI$ для сосны и соснового подроста равны 0.469 ± 0.121 и 0.289 ± 0.068 .

Минимальные значения S в зимний период равны -0.169 и -0.089 для соснового леса и подроста соответственно, максимальные в летний период $+0.131$ и $+0.089$. Амплитуда сезонных изменений $dpRVI$ достигает 0.300 для соснового леса и 0.178 для лесного подроста.

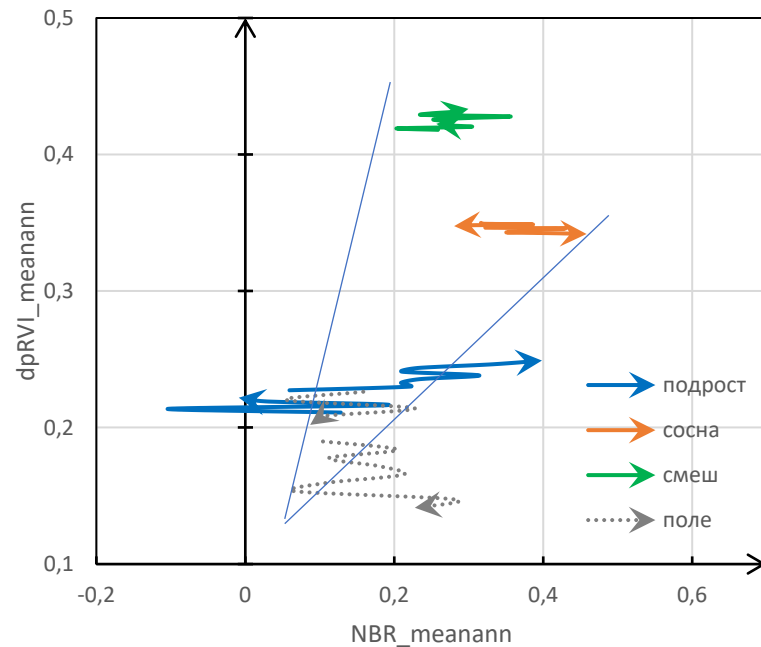
Проверка на значимость посредством критерия Фишера показала стабильность биомассы соснового леса ($r=0.073$, $F=0.7$, значимость 0.705) и значимый положительный тренд роста для участка лесовосстановления ($r=0.50$, $F=8.98$, значимость 0.006). Полагая уровень соснового леса эталонным (100%), скорость роста $dpRVI$ или биомассы молодняка составляет 0.27 или 0.57 %/год, а время достижения эталонного уровня зрелого соснового леса составит 80 лет, что в 2 раза превышает предыдущие оценки по индексу RVI и более соответствует реальному возрасту зрелости сосны для данного региона ~ 100 лет.

Остаточные ошибки случайны ($r \sim 0$).

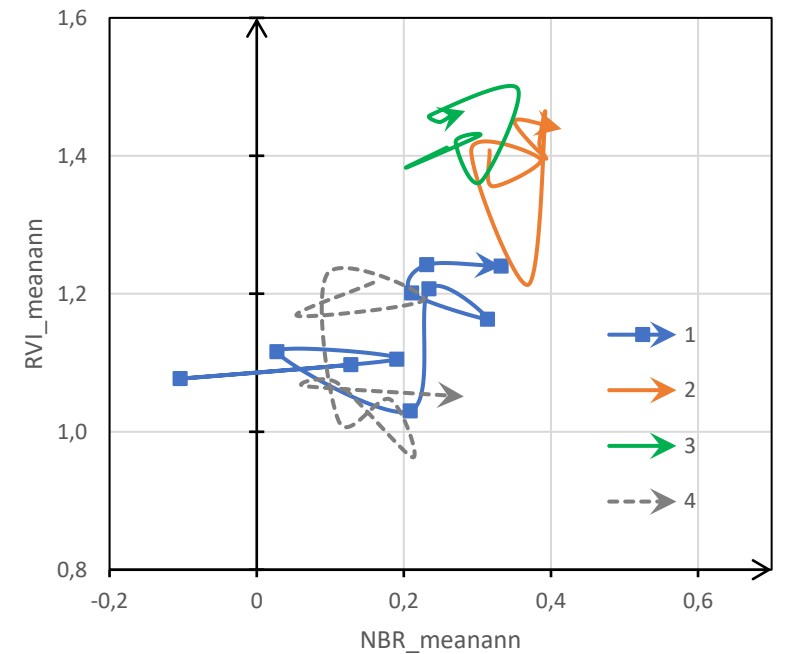
Временные треки на плоскости NBR-dpRVI



Пары исходных «сырых» данных на плоскости NBR-dpRVI и ложные тренды

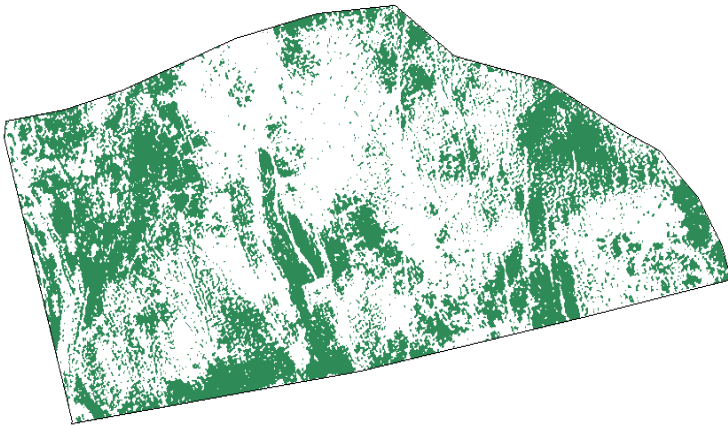
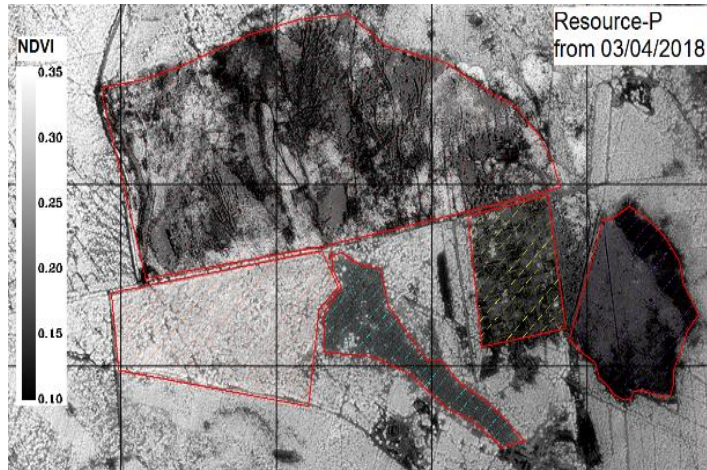


Временные треки после исключения сезонной составляющей на плоскости среднегодовых значений NBR-dpRVI



Временные треки после исключения сезонной составляющей на плоскости среднегодовых значений NBR-RVI

Оценка проективного покрытия и биомассы по другим источникам



Оценка по комбинированным оптико-микроволновым данным

Оценка проективного покрытия относительным породным индексом $RSI_{pine}=0.35$ (среднее значение за 2016-2020 гг.)

Оценка биомассы индексом степени лесовосстановления $DRI=0.29$

Оценка по другим источникам

Проективное покрытие лесным подростом равно 0.38 по оптическим данным Ресурс-П ($NDVI>0.2$) с высоким разрешением 1.795 м от 03.04.2018.

По данным радарной поляриметрии ALOS-2 PALSAR-2 с разрешением 10 м и полной поляризацией от 18.04.2018 суммарное доминирование объёмного и многократного рассеяния (индикатор растительности) определяется на 0.31 территории.

На основе полевых измерений высоты h и расчёте объёма биомассы M сосны на основе аллюметрической зависимости от высоты

$$M = 0.2169 \cdot h^{1.4172}.$$

Относительная высота подроста $\leq 0.08-0.12$, относительная биомасса $\leq 0.15-0.24$.

Заключение

В рамках дальнейшего развития комплексной оценки и мониторинга процесса лесовосстановления на основе комбинирования данных оптико-микроволнового диапазона исследованы возможности применения нормализованного индекса выгорания NBR и радарного вегетационного индекса по данным с двойной поляризацией *dpRVI* (Radar Vegetation Index from dual-pol SAR data) и получены следующие результаты:

- Установлены тренды послепожарного восстановления индекса NBR участка лесного подроста к уровню контрольного соснового леса со среднегодовой скоростью 0.0122 ($r=0.34$) и среднегодовых скользящих средних СС со скоростью 0.0106 ($r=0.80$). Время восстановления общего состояния и теплового режима составляет 24 года, что согласуется со временем восстановления зелёной фитомассы на основе анализа величин NDVI зимнего периода. В тоже время сезонные различия после почти 20-летнего периода восстановления все ещё кратно превышают допожарные значения.
- В результате обработки нерегулярных временных рядов радарного вегетационного индекса по данным ALOS PALSAR-1/2 с двойной поляризацией *dpRVI*, характеризующего объёмное рассеяние участка послепожарного лесовосстановления и контрольного участка соснового леса построена кусочно-неравноточная сезонная компонента *dpRVI*. Амплитуда сезонных изменений *dpRVI* достигает для соснового леса 0.300 и для лесного подроста 0.178. Минимальные значения *S* для соснового леса и подроста соответственно равны – 0.169 и –0.089 в зимний период, максимальные +0.131 и +0.089 в летний.
- Установлена стабильность *dpRVI* соснового леса и значимый тренд роста на участке лесовосстановления на протяжении периода наблюдений 2007-2019 гг. Скорость роста *dpRVI* молодняка составляет 0.27 или 0.57 %/год, время достижения эталонного уровня в 100% зрелого соснового леса составит 80 лет при условии неизменности скорости роста, что больше 40-летнего срока по данным *RVI* и подтверждает более высокую чувствительность индекса *dpRVI*.
- После исключения влияния сезонной составляющей на плоскости NBR-*dpRVI* как и в случае оценки и мониторинга процесса лесовосстановления на плоскости вегетационных индексов NDVI-*RVI* подтверждено существование подвижной треугольной зоны, образованной контрольными участками леса и безлесного участка. Методика количественной оценки в данном случае нуждается в доработке с учётом нелинейной траектории участка лесовосстановления на плоскости NBR-*dpRVI*.

Спасибо за внимание.

