

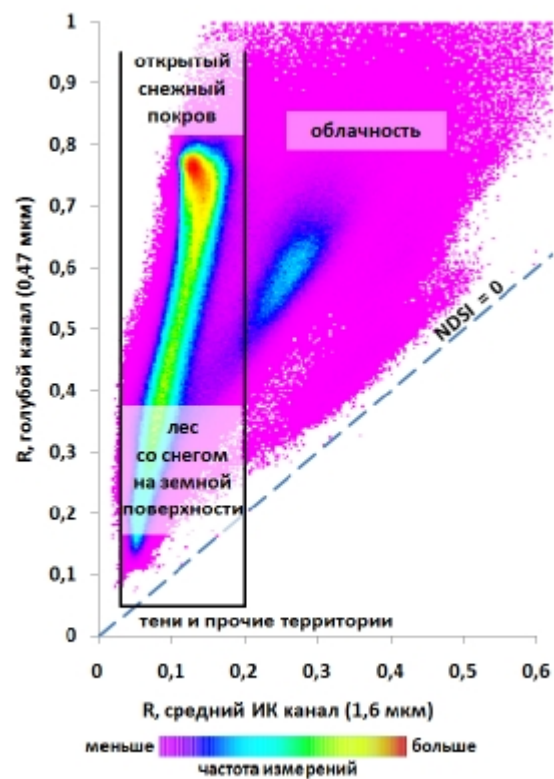
Использование спутниковых данных высокого пространственного разрешения Sentinel-2 снежного периода наблюдений для выявления вырубок

Егоров В.А., Барталев С.А., Миклашевич Т.С.

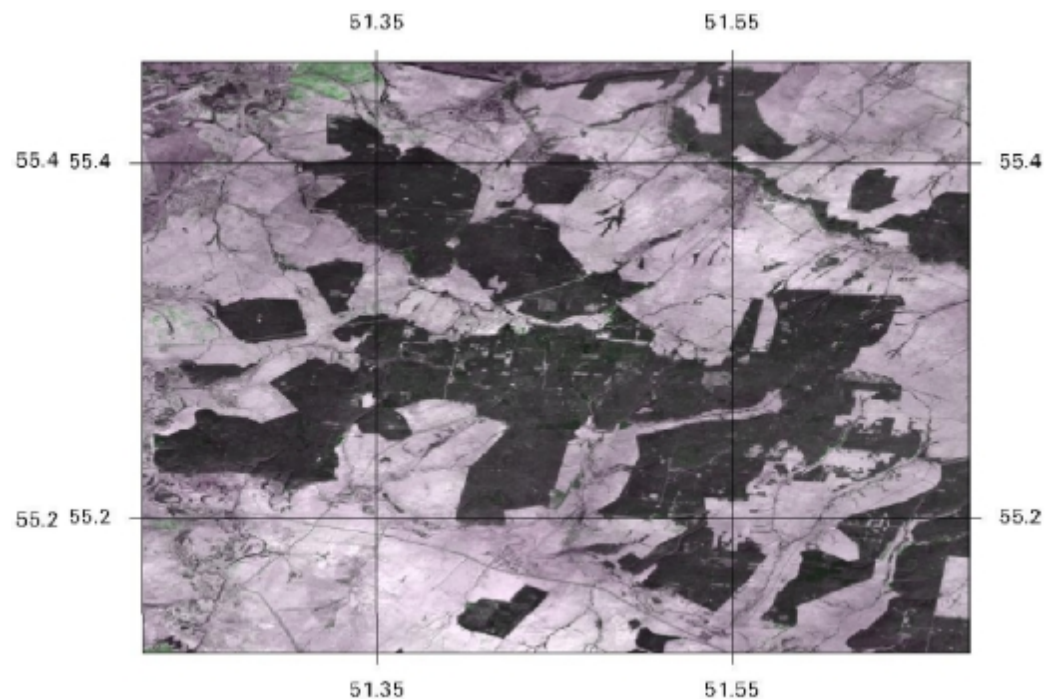
Институт космических исследований РАН

**2025 г.
Москва**

Выявление снежного покрова

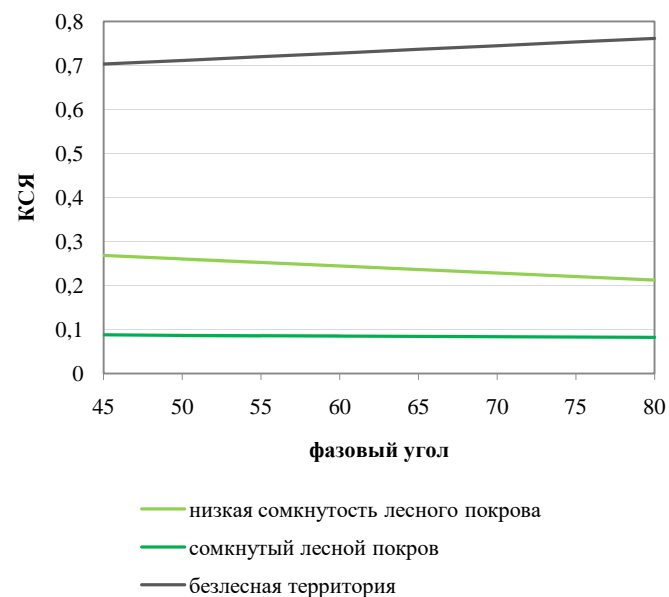


Пороговая классификация исходных спутниковых изображений в двумерном пространстве в голубом и среднем ИК диапазонах спектра на примере данных системы MODIS

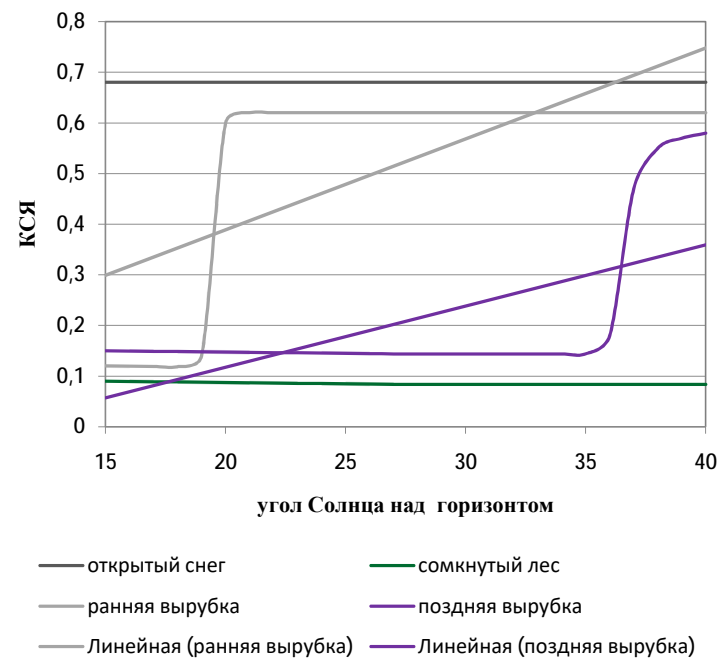


Композитное изображение покрытой снегом земной поверхности ($R_{\text{red}}(R)$, $R_{\text{NIR}}(G)$, $R_{\text{red}}(B)$): по данным Sentinel2 (10 м)

Геометрическая нормализация композитных изображений снежного покрова

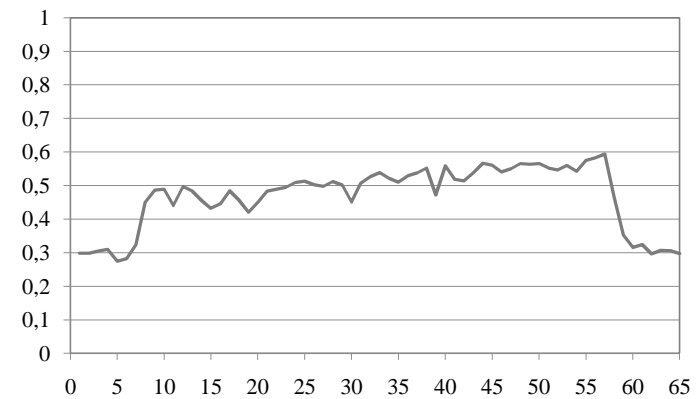
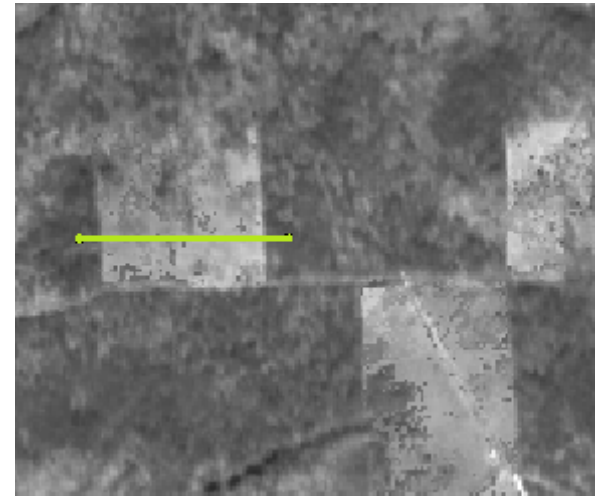
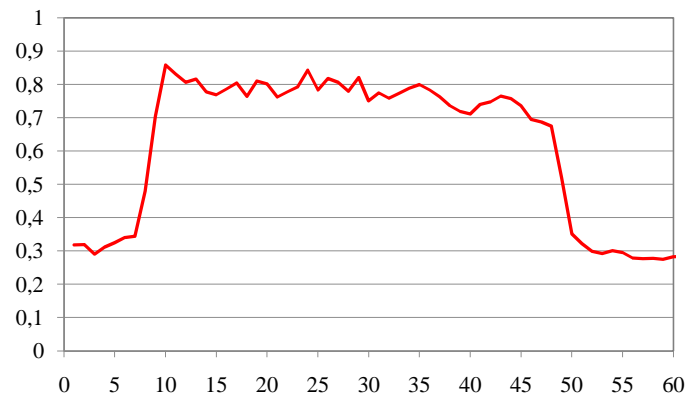
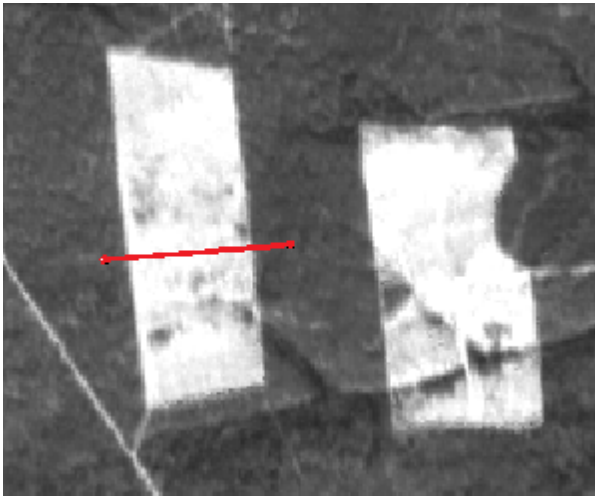


Зависимость коэффициента спектральной яркости от величины фазового угла для безлесной территории и лесного покрова на примере данных системы MODIS

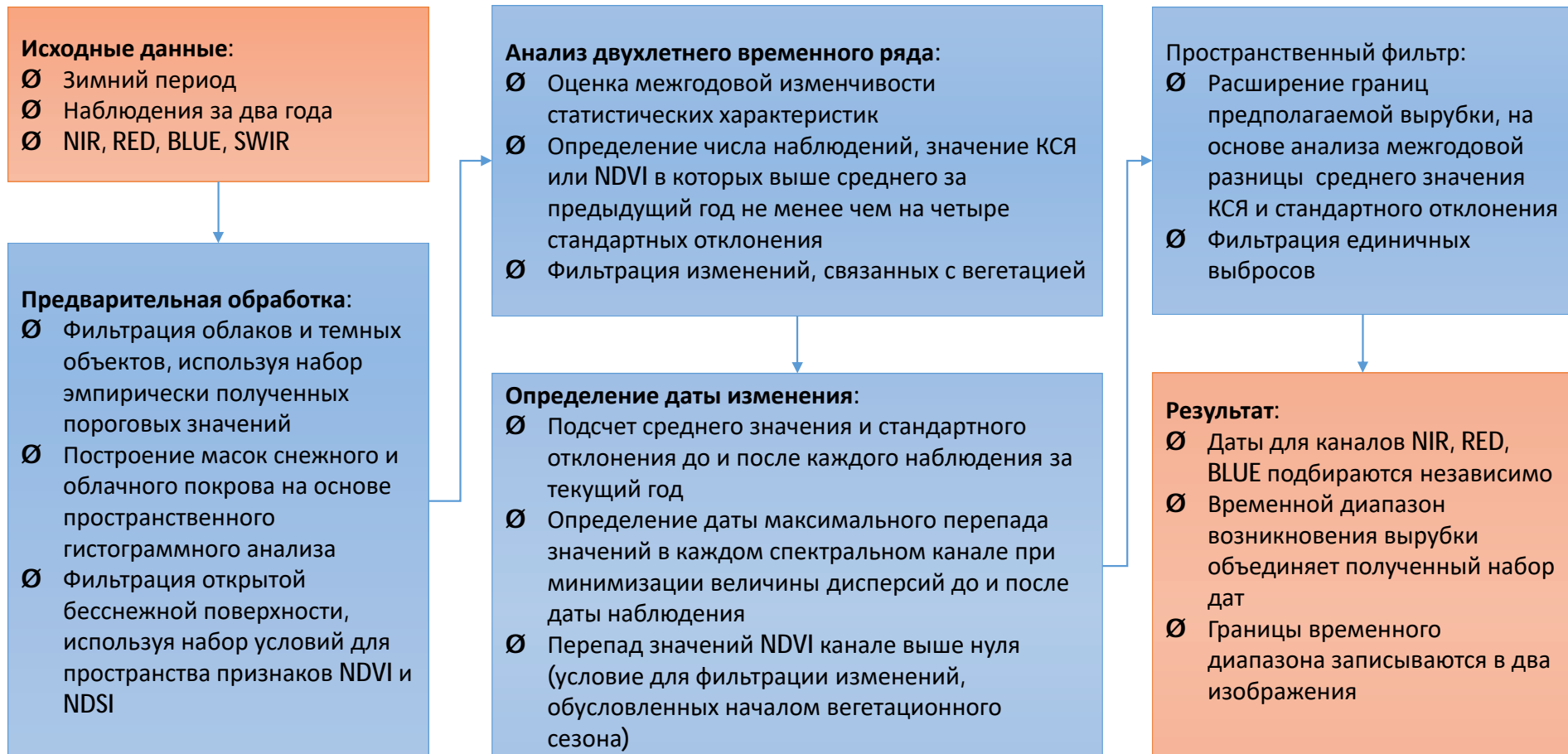


Влияние периода рубки на результат геометрической нормализации композитных изображений снежного покрова

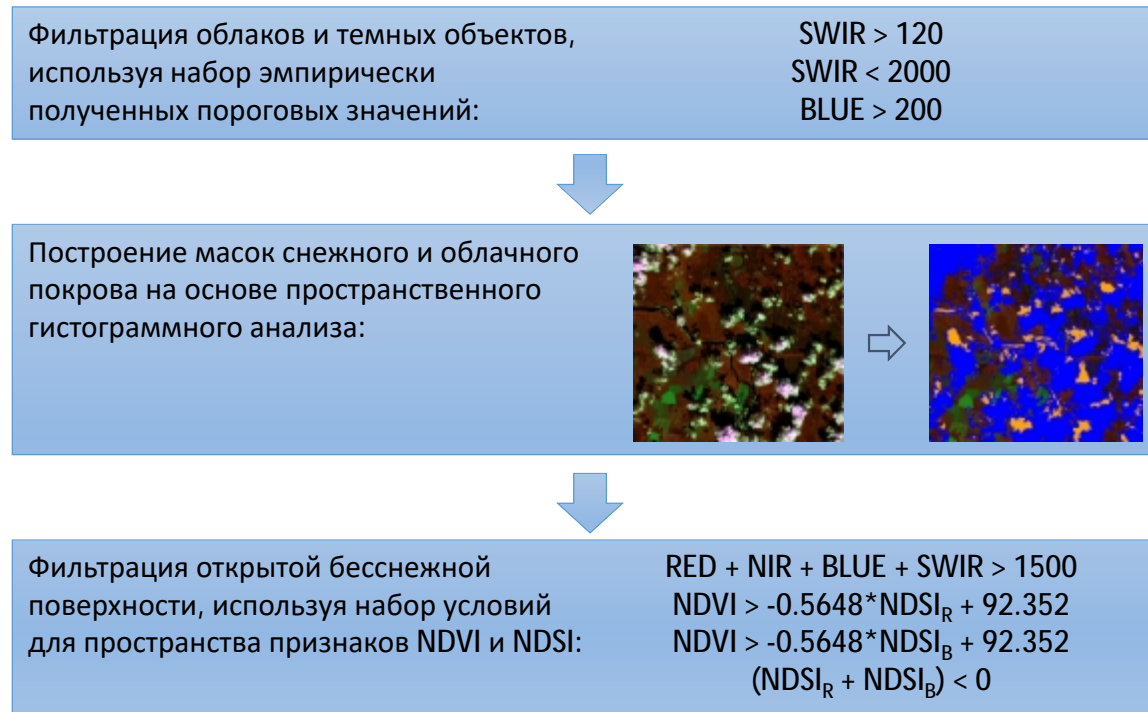
Отображение вырубок в композитных изображениях снежного покрова



Детектирование вырубок и зимних изменений на основе анализа двухлетней динамики значений в спектральных каналах данных SENTINEL



Предварительная обработка данных



Разностный нормализованный индекс снега NDSI:

$$NDSI_V = \frac{R_V - R_{SWIR}}{R_V + R_{SWIR}}$$

Разностный нормализованный вегетационный индекс NDVI:

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

где R – значение коэффициента спектральной яркости в соответствующем канале

Анализ двухлетнего временного ряда

- Независимая статистическая фильтрация выбросов в RED, BLUE, NIR и SWIR каналах на основе величины среднего значения и стандартного отклонения в двухлетнем временном ряду (не более 20% наблюдений)
- Оценка межгодовой изменчивости статистических характеристик в RED, BLUE, NIR каналах: определение среднего MEAN и величины стандартного отклонения DISP для текущего и предыдущего года
- Предварительная оценка вероятности изменения состояния растительного покрова на основе изменения среднего значения NDVI и яркости в NIR канале и стандартное отклонение в NIR канале:
$$(\text{meanNIRc} - \text{meanNIRp}) > 0 \ \&\& \ (\text{dispNIRc} - \text{DispNIRp}) > 0 \ \&\& \ (\text{meanNDVlc} - \text{meanNDVlp}) < 0$$
 - Изменения в NIR канале затем используется как основа для пространственной коррекции границ вырубок
 - Вегетационный индекс NDVI используется для фильтрации изменений, связанных с началом вегетационного сезона
- Определение числа наблюдений, значение яркости Rc или NDVI в которых выше среднего MEANr за предыдущий год не менее чем на четыре стандартных отклонения :
$$Rc > \text{MEANp} + 4 * \text{DISPp}$$
- Определение суммарного числа изменений Ch для каналов RED, NIR и BLUE
$$\text{Ch} = \text{ChRED} + \text{ChNIR} + \text{ChBLUE}$$
- Необходимым условием для дальнейшего детектирования рубок является число изменений $\text{Ch} > 1$

Определение даты изменения состояния растительного покрова

- Подсчет среднего значения и стандартного отклонения до DispRED_R (включая данные за предыдущий год) и после DispRED_L каждого наблюдения t за текущий год
- Определение дат t и $t-1$, отношение разности значений в которых к сумме дисперсии до предполагаемого изменения и после максимально:

$$pRED = \text{RED}_t - \text{RED}_{t-1} / (\text{DispRED}_R + \text{DispRED}_L) \rightarrow \max$$

- В день t наблюдается изменение, если суммарный перепад значений в трех каналах:

$$pRED + pNIR + pBLUE > 1$$

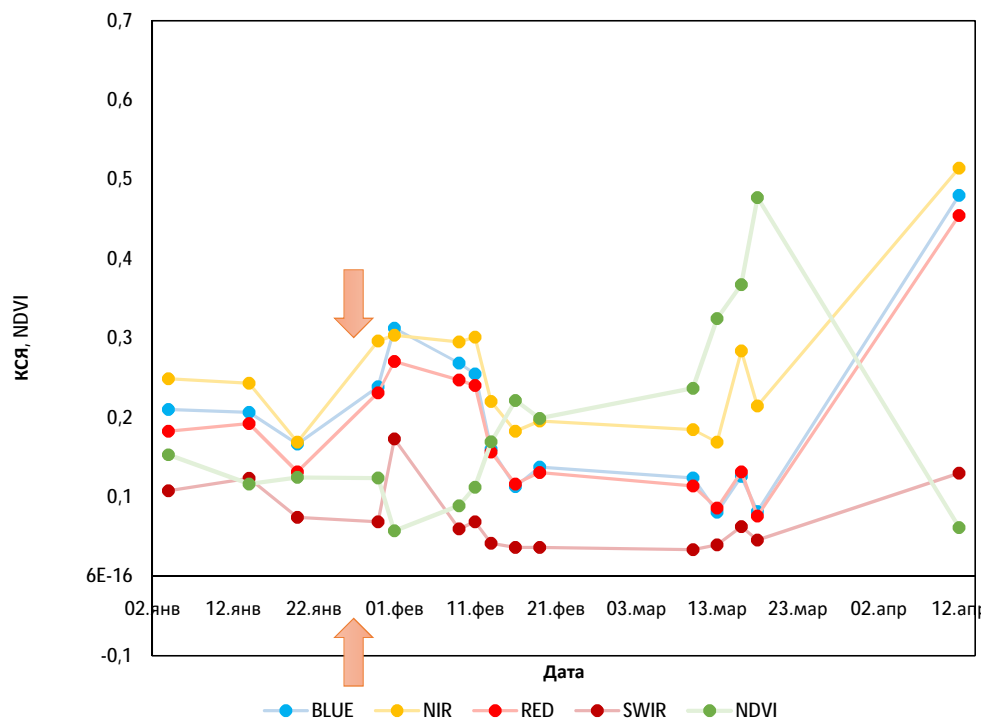
- Дисперсия после даты t повышается для трех каналов:

$$(\text{DispBLUER} \geq \text{DispBLUEL}) \ \&\& \ (\text{DispNIRR} \geq \text{DispNIRL}) \ \&\& \ (\text{DispREDR} \geq \text{DispREDL})$$

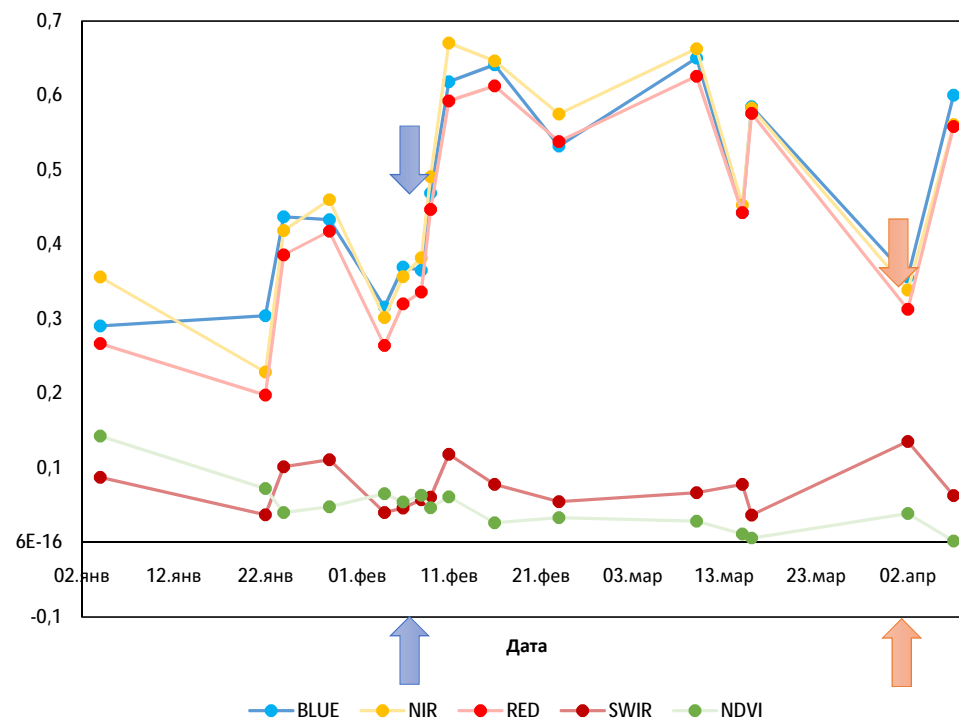
- Перепад значений NDVI в день t ниже нуля (условие для фильтрации изменений, обусловленных началом вегетационного сезона)
- Даты для каналов NIR, RED, BLUE подбираются независимо, и в результате получается предполагаемый диапазон возникновения вырубки, от самой ранней даты из трех, до поздней

Анализ двухлетнего временного ряда:

2022



2023



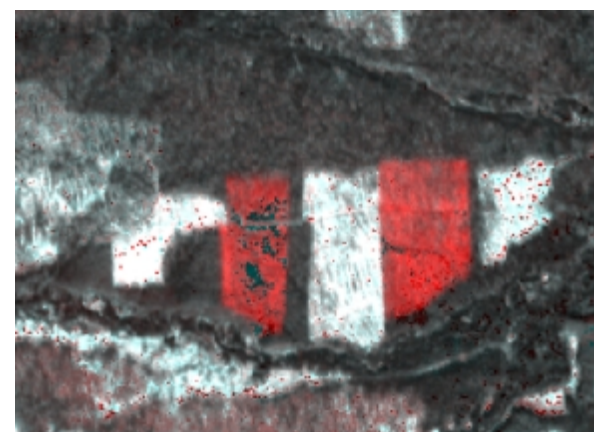
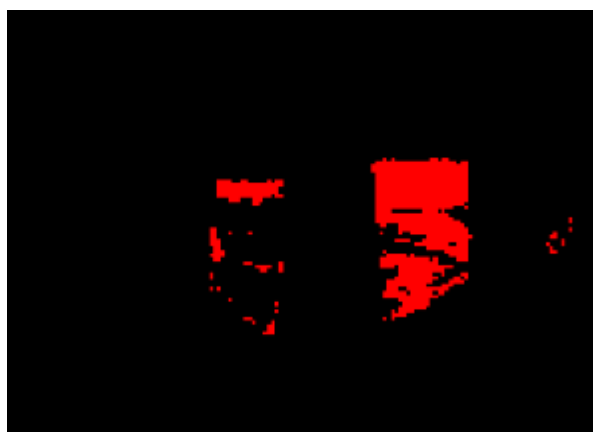
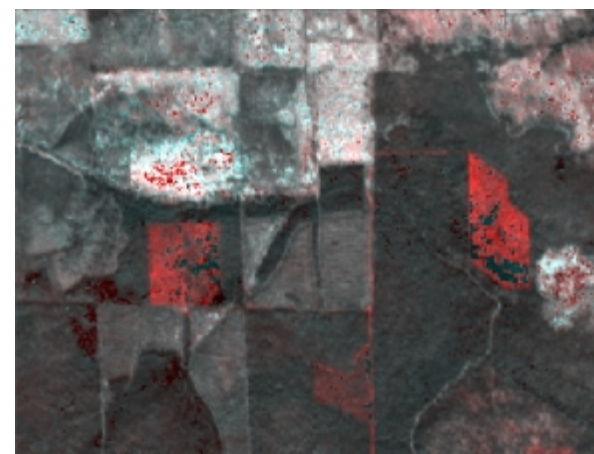
➡ Статистическая фильтрация выбросов на основе величины среднего значения и стандартного отклонения в каналах

➡ Определение даты вырубki

Уточнение границ вырубок на основе анализа межгодовой динамики КСЯ

- Фильтрация единичных выбросов
- Коррекция границ вырубок на основе анализа ближайших наблюдений. Присоединение точек в случае роста или незначительного перепада среднего значения яркости в канале NIR и величины стандартного отклонения вне границ вырубки и при уменьшении межгодовых статистических характеристик в диапазоне 20%
- Итерационная проверка границ вырубок
- Новым наблюдениям присваиваются даты ближайшего наблюдения внутри области изменения состояния растительного покрова

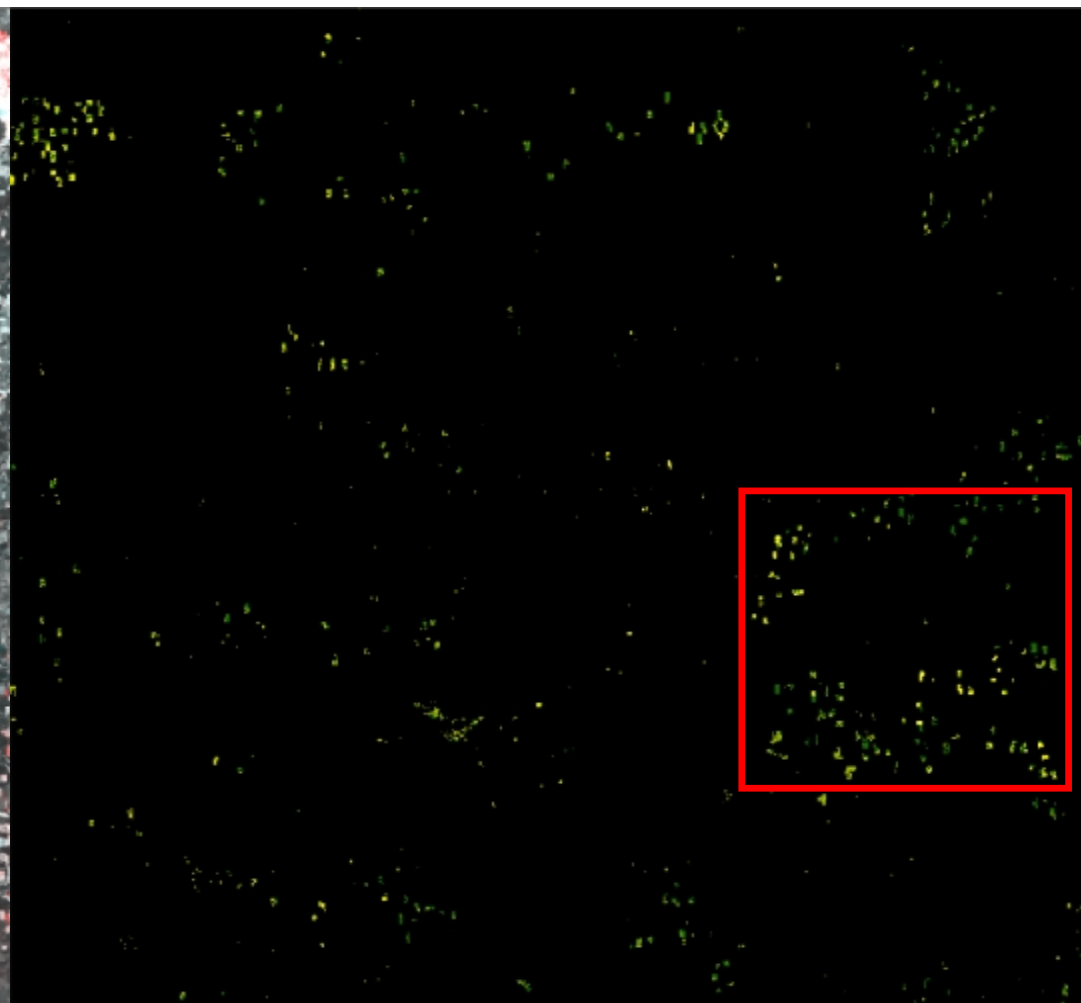
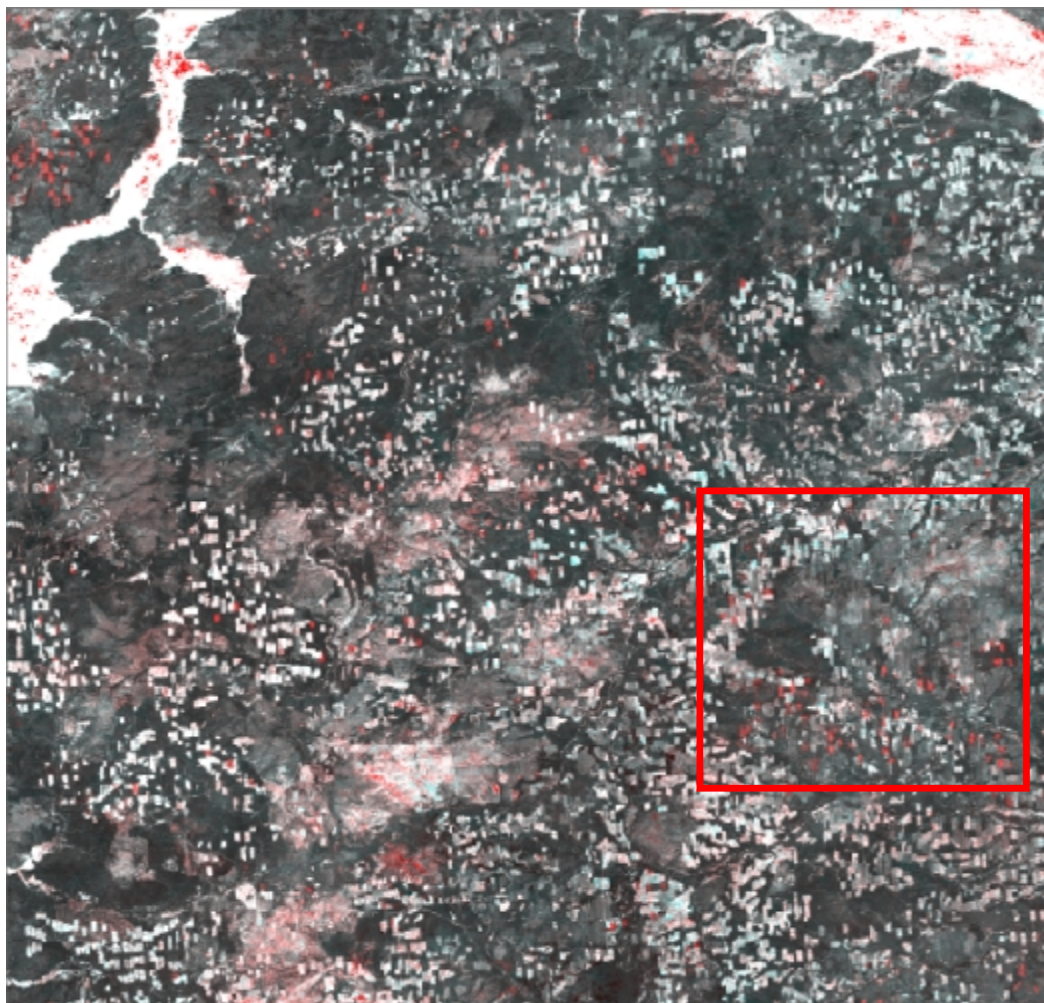
Уточнение границ вырубок на основе анализа межгодовой динамики КСЯ



Вырубки до применения
пространственного фильтра

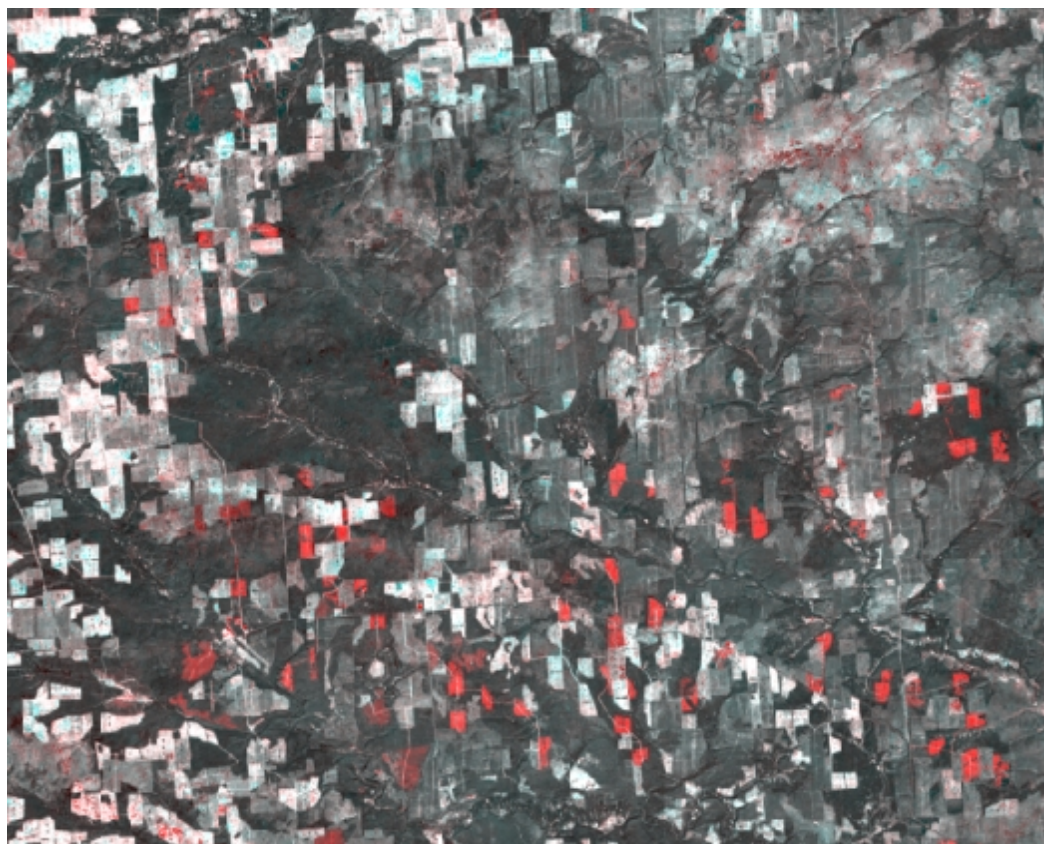
Вырубки после применения
пространственного фильтра

RGB синтез (2023-2022-2022)
NIR канала при 30°

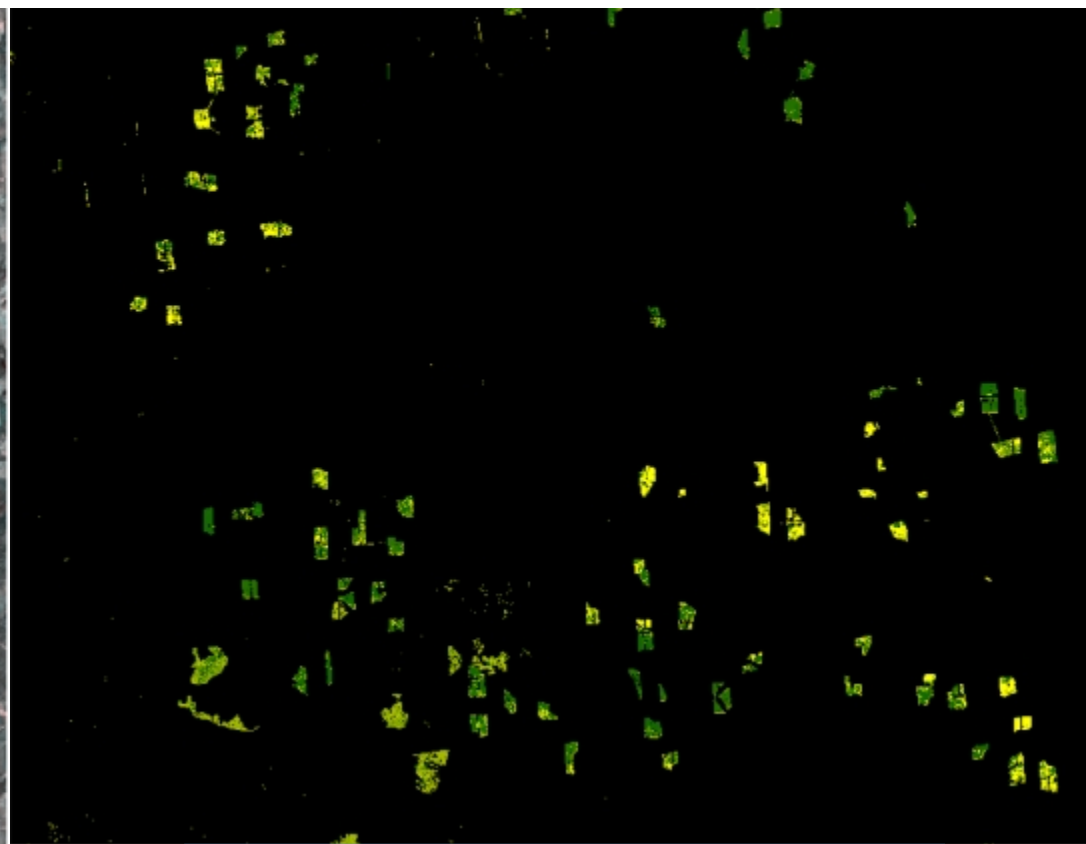


Координаты центра изображения:
58 29 02.86 N, 101 31 06.93 E
RGB синтез (2023-2022-2022) NIR канала при 30°

35 150
Номер дня года
Пространственное распределение дат вырубок и
зимних изменений 2023 г.



Координаты центра изображения:
58 22 13.03 N, 102 02 19.01 E
RGB синтез (2023-2022-2022) NIR канала при 30°

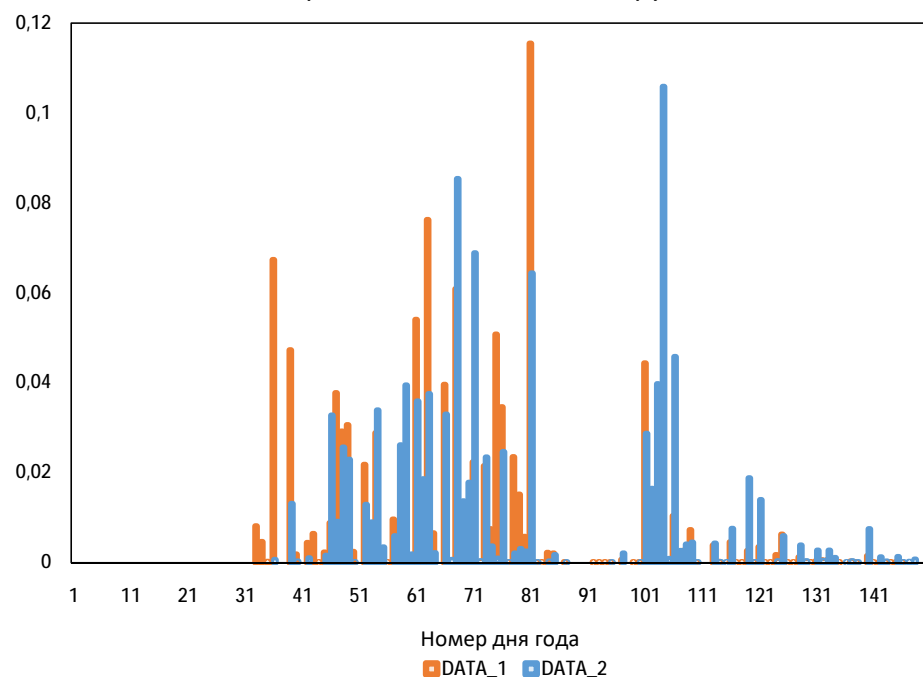


35 150
Номер дня года

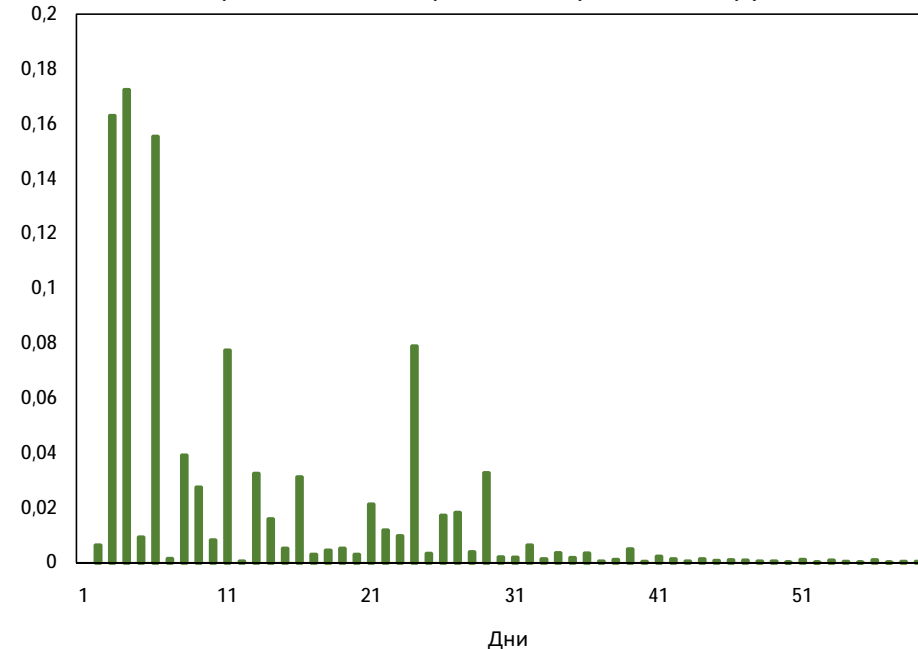
Пространственное распределение дат вырубок и
зимних изменений 2023 г.

Гистограммы распределения значений (номер дня года) временных интервалов наступления изменений

Гистограмма распределения границ временного интервала: "до" и "после" вырубki

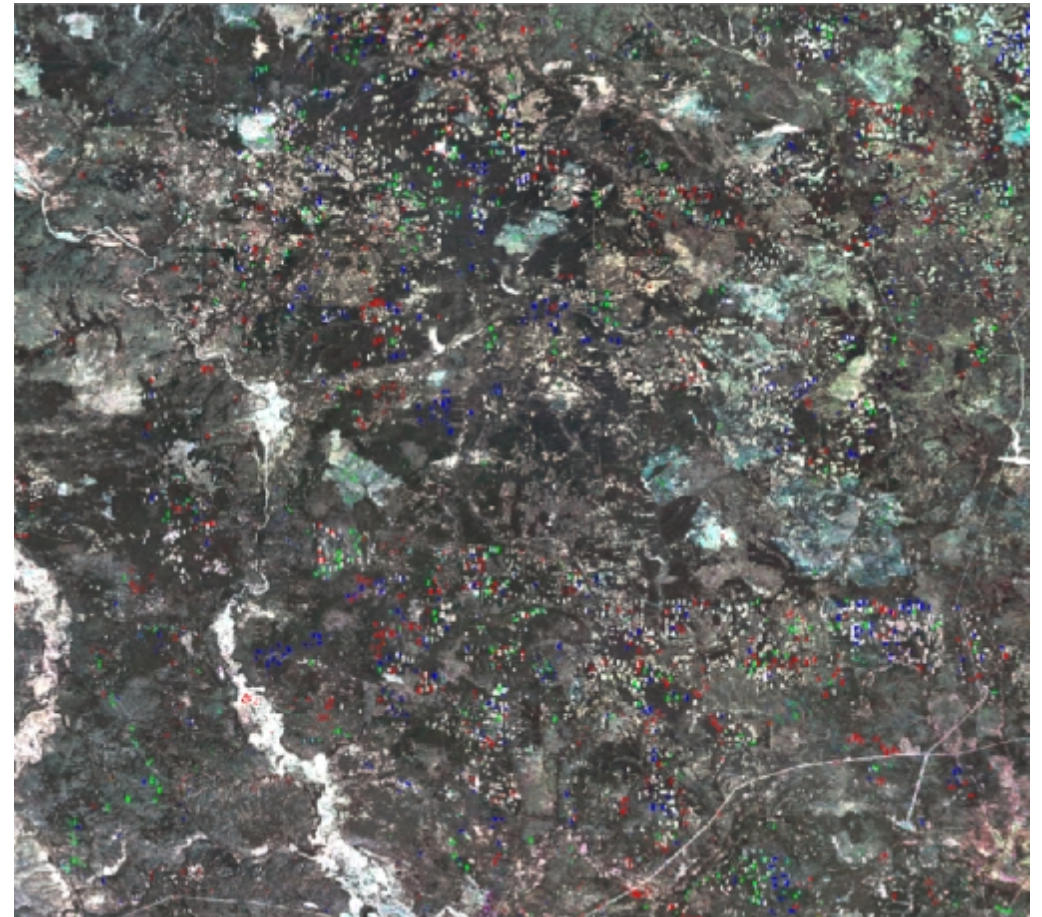


Гистограмма распределения величин временной неопределенности при детектировании вырубок

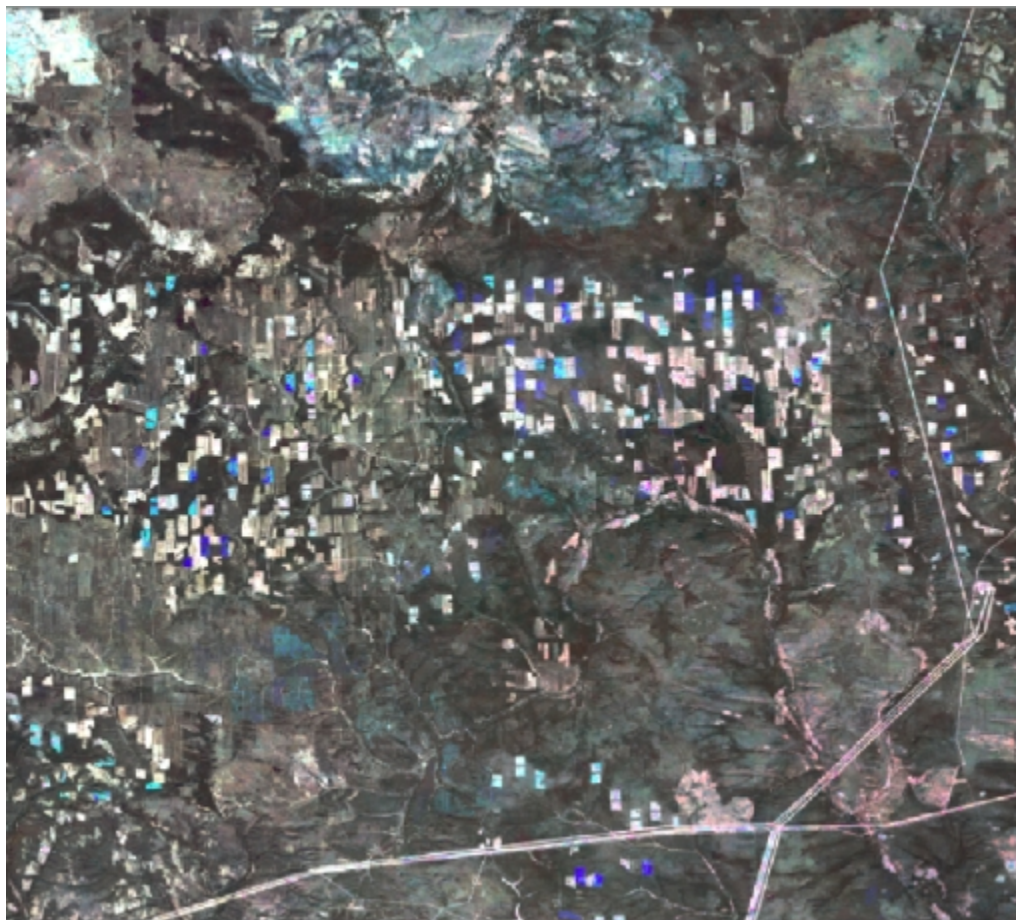




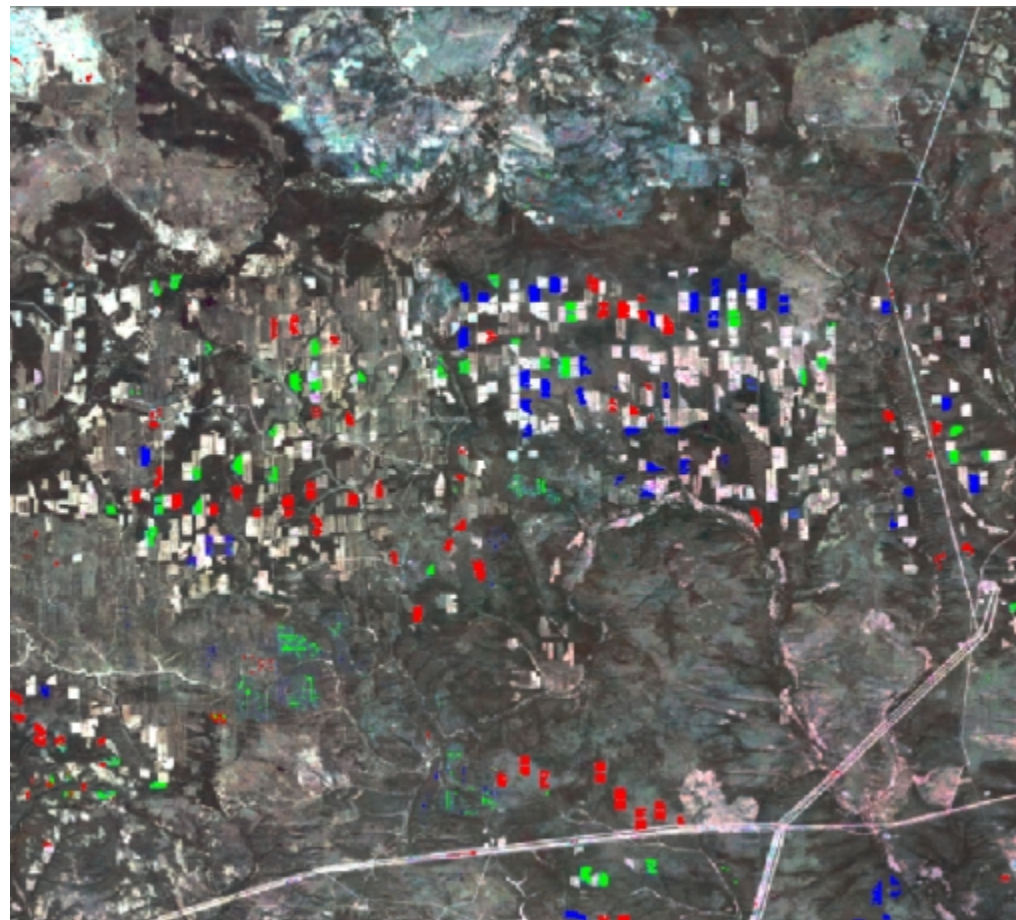
Координаты центра изображения:
56 47 16.58 N, 99 47 46.11 E
RGB синтез (2022-2023-2024) NIR канала при 30°



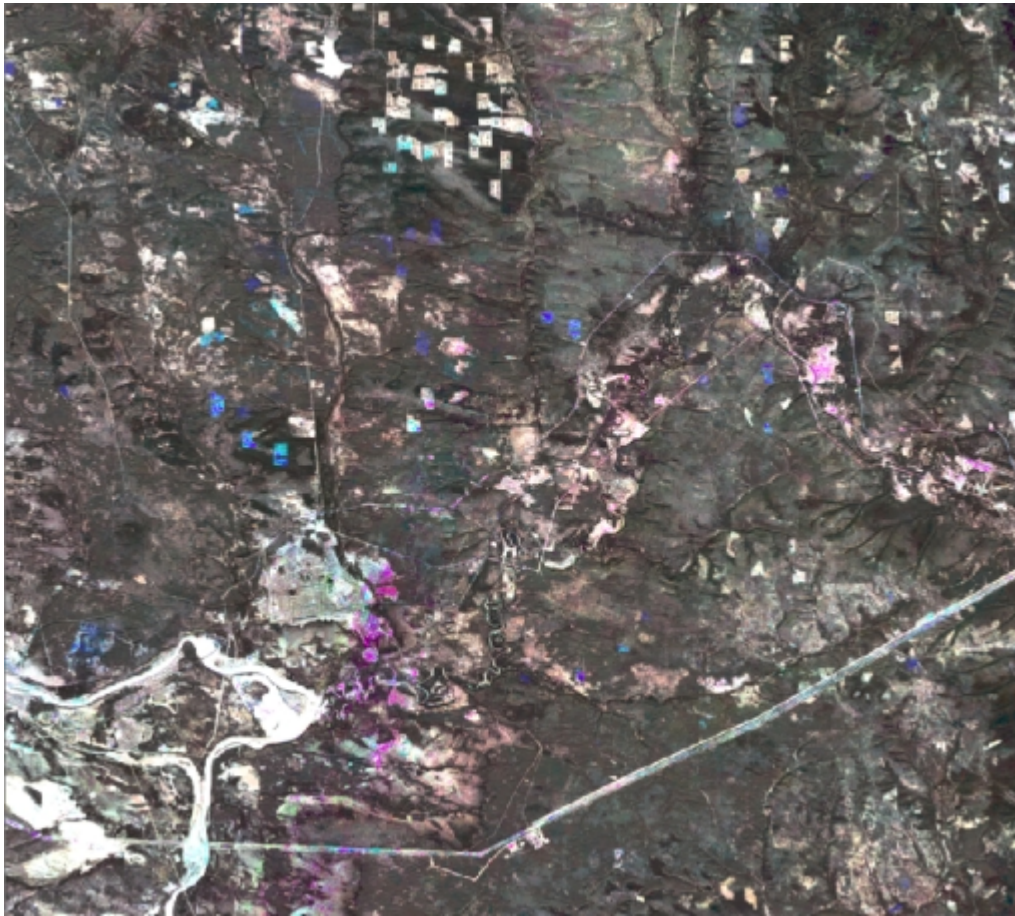
Координаты центра изображения:
56 47 16.58 N, 99 47 46.11 E
Рубки за 2022г (красный), 2023г (зеленый), 2024г (синий)



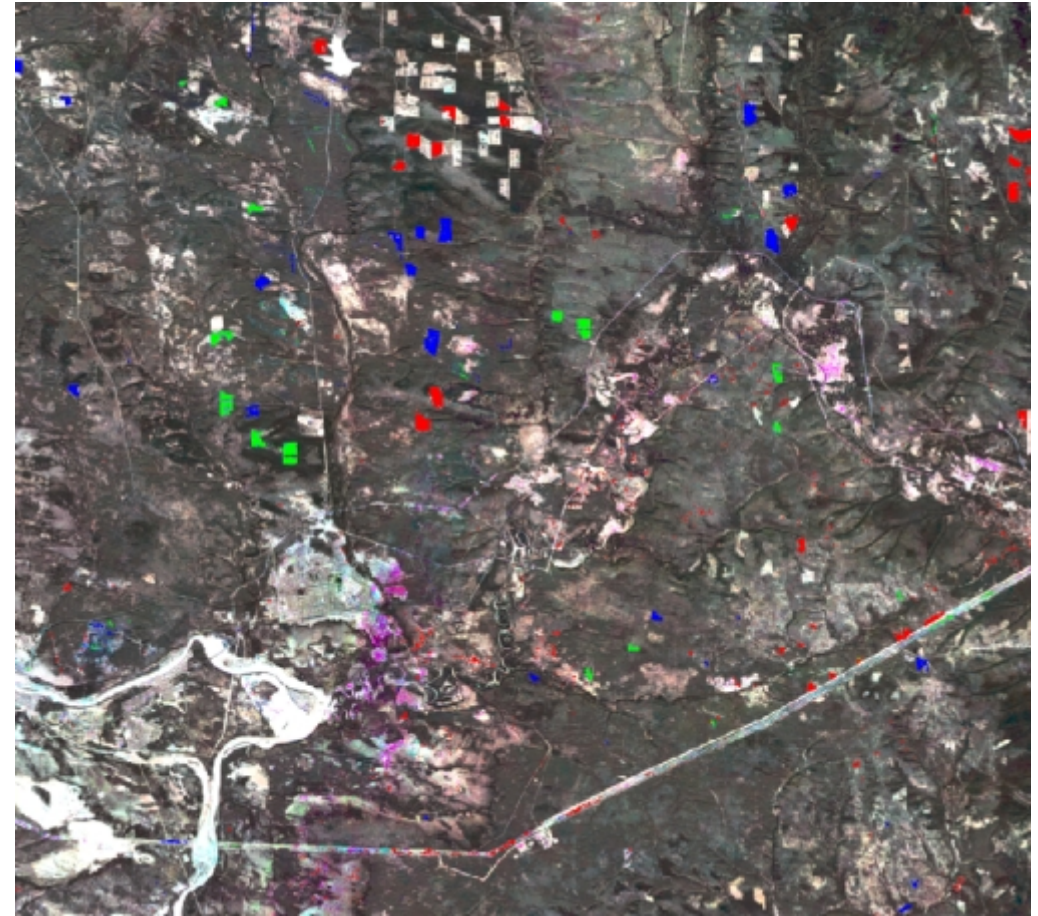
Координаты центра изображения:
56 28 23.69 N, 100 45 04.36 E
RGB синтез (2022-2023-2024) NIR канала при 30°



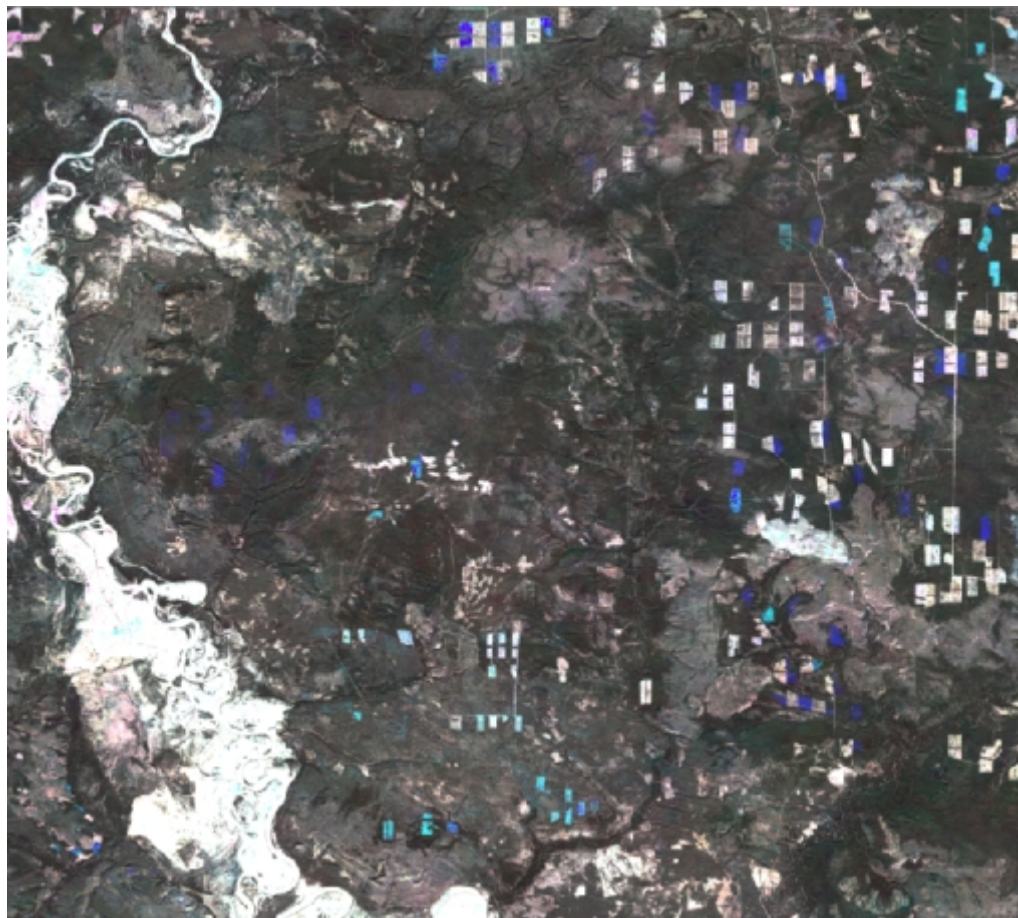
Координаты центра изображения:
56 28 23.69 N, 100 45 04.36 E
Рубки за 2022г (красный), 2023г (зеленый), 2024г
(синий)



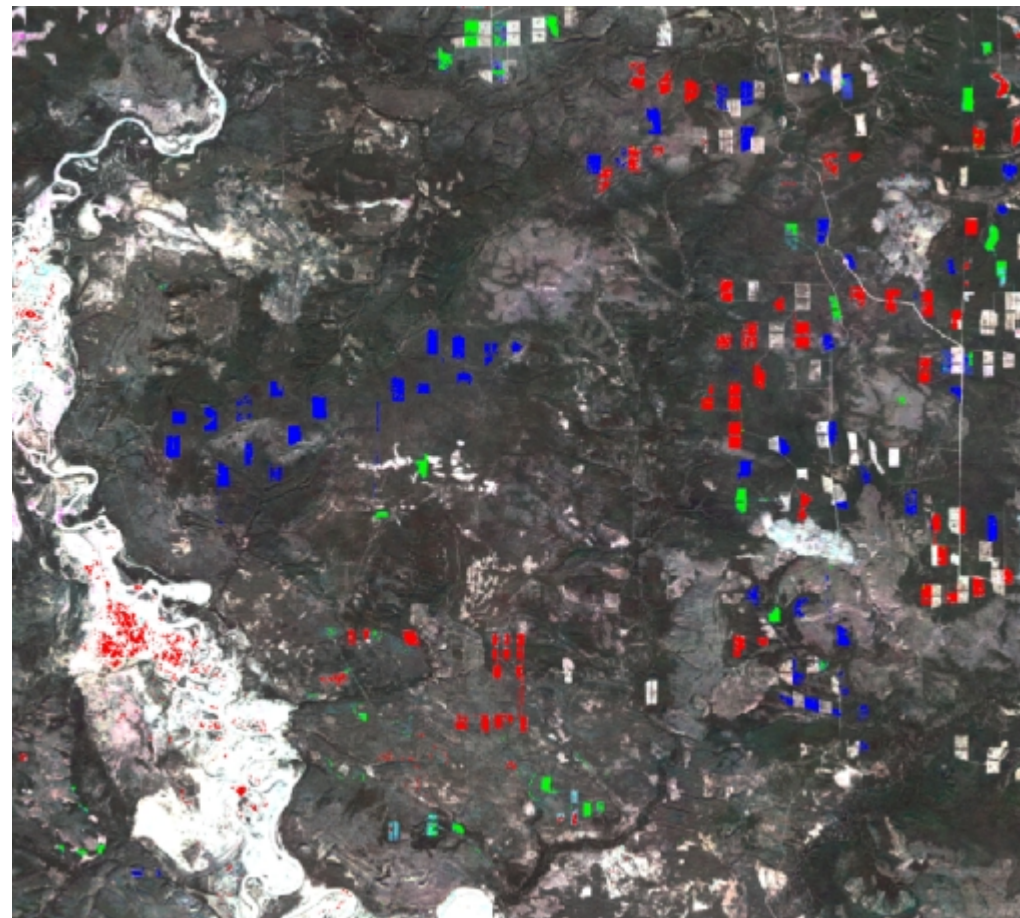
Координаты центра изображения:
56 08 10.19 N, 99 45 59.22 E
RGB синтез (2022-2023-2024) NIR канала при 30°



Координаты центра изображения:
56 08 10.19 N, 99 45 59.22 E
Рубки за 2022г (красный), 2023г (зеленый), 2024г (синий)



Координаты центра изображения:
56 27 15.75 N, 99 13 26.64 E
RGB синтез (2022-2023-2024) NIR канала при 30°



Координаты центра изображения:
56 27 15.75 N, 99 13 26.64 E
Рубки за 2022г (красный), 2023г (зеленый), 2024г
(синий)

Работа выполняется при поддержке Минобрнауки РФ
(тема «Мониторинг», госрегистрация № **122042500031-8**)
с использованием возможностей Центра коллективного
пользования «ИКИ-Мониторинг»

Спасибо за внимание.