

XXIV Международная научная конференция
«Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»
Секция «Дистанционное зондирование растительных и почвенных покровов»
09–13 ноября 2026, ИКИ РАН, Москва

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

Результаты картографирования повреждений наземных экосистем **пожарами** на территории **России** в **2018–2024** гг. по данным **VIIRS**

Матвеев А. М., Барталев С. А., Егоров В. А.

ИКИ РАН, Отд. «Технологии спутникового мониторинга»
Лаб. «Спутниковый мониторинг наземных экосистем»

Работа выполняется при поддержке Минобрнауки РФ (тема «Мониторинг», госрегистрация № 126031818938-6)
Данные обработаны с применением сервиса «Вега-Science» и ресурсов ЦКП «ИКИ-Мониторинг» [Loupian et al., 2022; Лупян и др., 2019]

Введение

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

Background

- Продукт ИКИ РАН **SRBA** [Барталев, Егоров и др., 2012, §2.2]: рост пропускаемой площади гарей при переходе на VIIRS
- Выполнена адаптация ESA FireCCIS3 [Lizundia-Loiola et al., 2022] для данных VIIRS
- Высокая точность FireCCIS3 для территории России [Матвеев и др., 2025]
- Алгоритм полученного продукта был представлен в докладе [Матвеев и др., 2026] (кратко см. доп. слайды)

Цель доклада

- Анализ **результатов** продукта картографирования гарей — **RVBA** (Russian VIIRS Burned Area) v0 — за 2018–2024 гг. на территории России в сравнении с актуальными глобальными продуктами ДЗЗ
- Представлены *предварительные* результаты (v0); версия RVBA v1 подвергнется незначительным изменениям

Краткое содержание доклада

- Валидация по выборке ИСДМ-Рослесхоз [Kashnitskii et al., 2021] и выборке [Glushkov et al., 2021]
- Оценка пройденной огнём площади за 2018–2024 гг.
- Выявленные источники ошибок в продукте RVBA v0 и планируемые дальнейшие работы



Введение

Исходные данные и версии продукта RVBA

Использованные данные

- **КСЯ** VIIRS VNP/VJ109 GA C2 (~500 м) [Roger et al., 2023] с фильтрацией шумовых явлений [Миклашевич и др., 2021]
- **Landcover** RLC v5.7.2 [Барталев и др., 2016] с **маской с/х-земель** (низкая точность фиксации с/х-палов [Матвеев и др., 2025])
- **Хотспоты** MCD14ML C6 [Giglio et al., 2020] и VNP/VJ114IMGML C2 [Schroder et al., 2020] (ежемесячные хотспоты NASA)

Версии продукта RVBA

- Две версии продукта RVBA v0 по разным наборам хотспотов: только VIIRS и MODIS + VIIRS
- Гомогенность (как в глобальных продуктах ДЗЗ) vs максимальное выявление гарей

Используемый набор хотспотов — **нелинейное** влияние на оценки пройденной огнём **площади**:

- Нет хотспотов — нет гарей (чем больше использованных продуктов хотспотов, тем больше гарей [Liu et al., 2023])
- Алгоритм фиксации гарей: хотспоты → «ядра» → первичные контуры → *локальные пороги* → конечные контуры
- Фильтрация контуров гарей: разный набор хотспотов → различный результат фильтрации контуров



ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

Валидация

по выборке **ИСДМ-Рослесхоз** [Kashnitskii, Balashov et al., 2021]:
отдельные гари по Landsat-8 OLI / Sentinel-2 MSI на территории России (2019–2024 гг.)

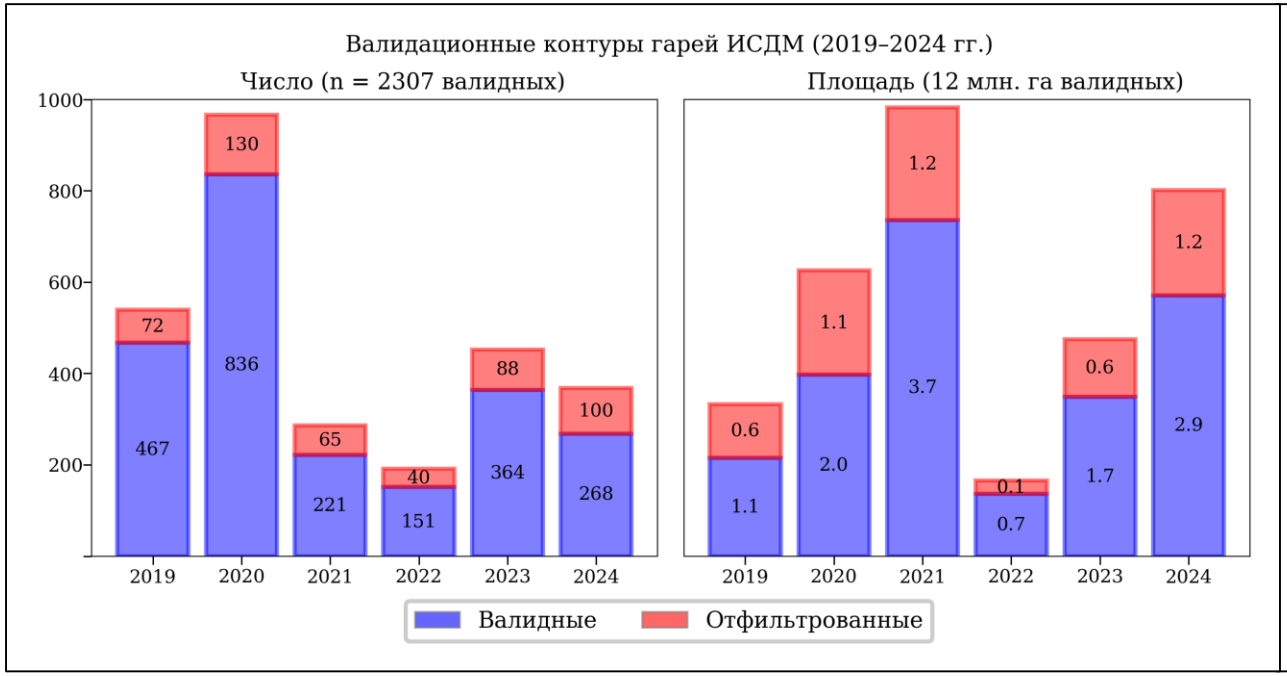
- Источник: ИКИ РАН и «Авиалесохрана»
- Контуры получены с применением алгоритма классификации [Кашницкий и др., 2015] и прошли двойную верификацию
- ! Все показатели валидационных метрик получены в векторном формате и равновеликой проекции Альберса

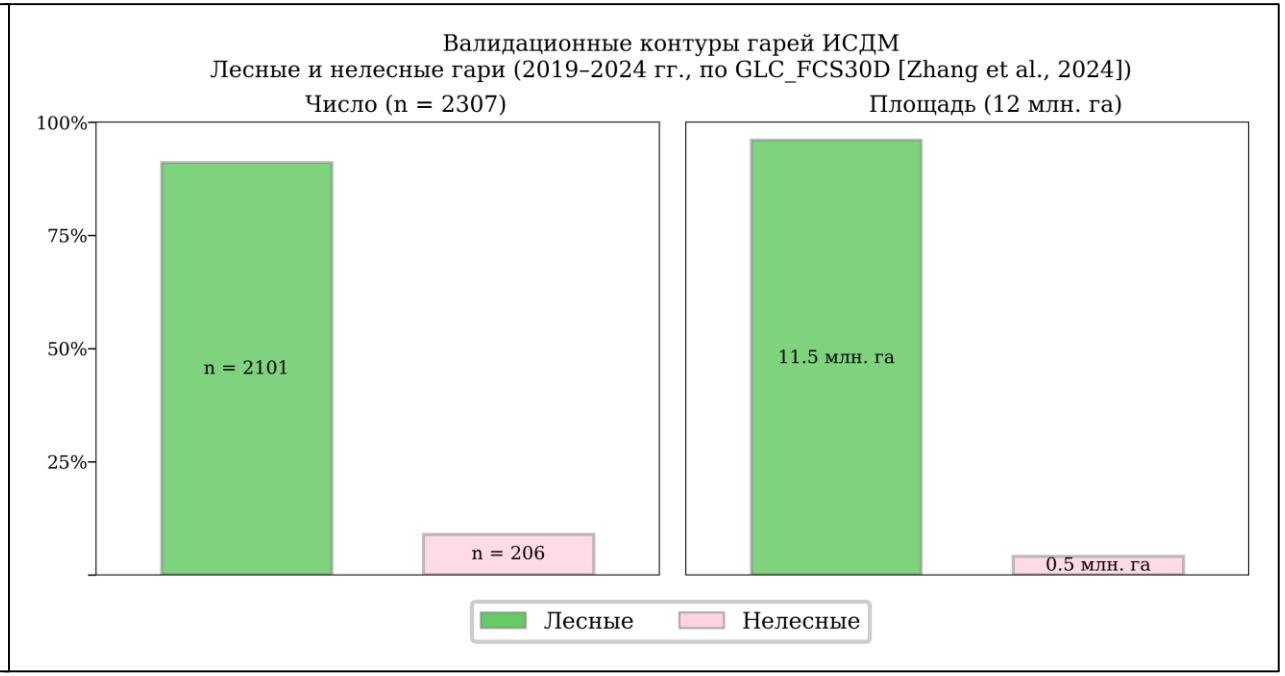
Валидация: ИСДМ-Рослесхоз

Характеристика выборки

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

- Данные за 2018 г. не используются: у продуктов гарей на основе Sentinel-3 (ESA, Copernicus) нет данных
- По снимкам из «Веги-Science» дополнительно отфильтровано ок. 17% контуров (см. рис. слева, красным)
- В выборке преобладают лесные гари (90% числа, 95% площади валидных гарей; см. рис. справа, зелёным)
- Характеристика выборки: **верифицированность**, но **не полнота** (качество vs количество; сопоставление 1 к 1)





Валидация: ИСДМ-Рослесхоз

Точность оценки площади гарей

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

Использованные продукты гарей

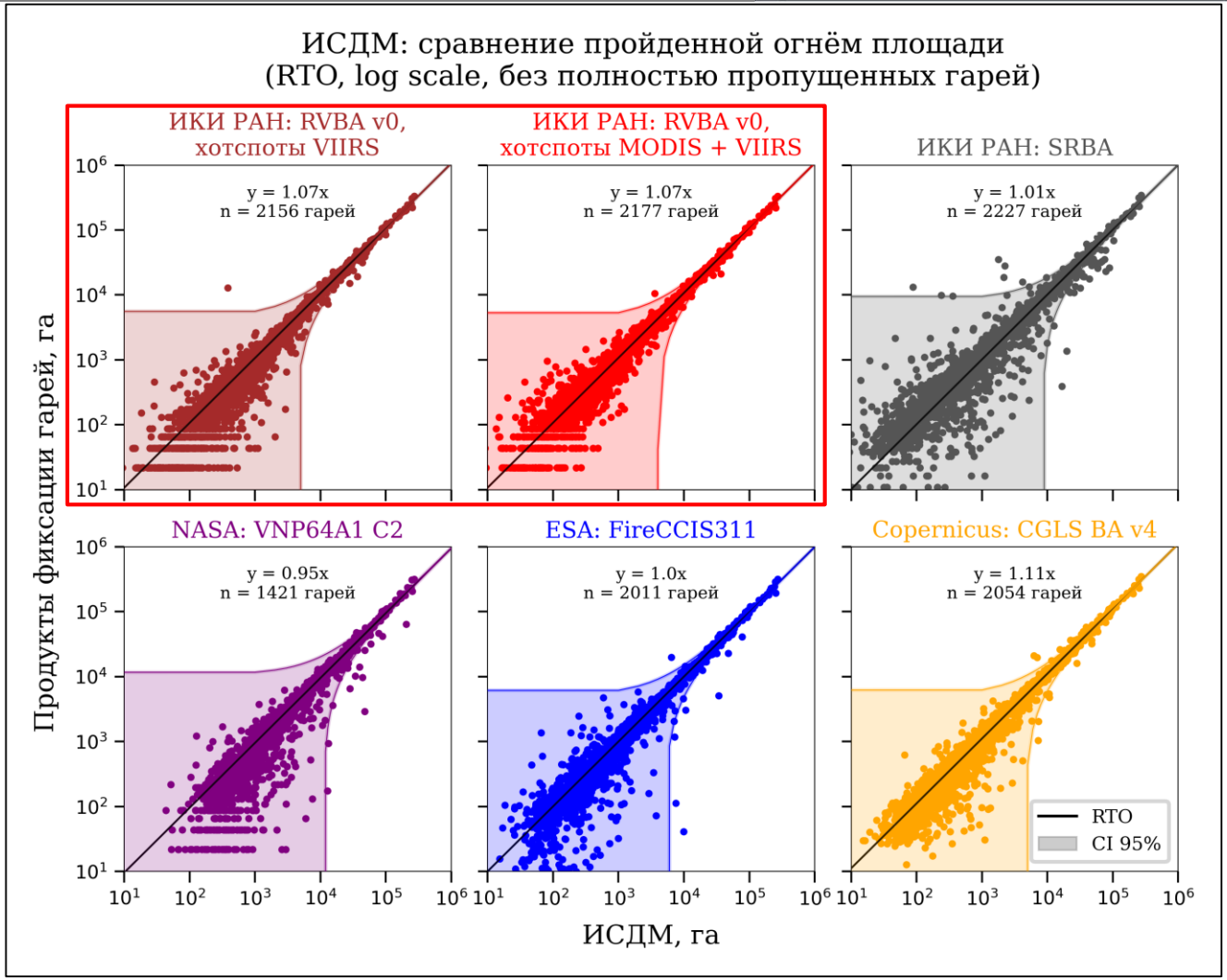
- ИКИ РАН RVBA v0 (VIIRS): хотспоты VIIRS
- ИКИ РАН RVBA v0 (VIIRS): хотспоты VIIRS + MODIS
- ИКИ РАН **SRBA** (MODIS) [Барталев и др., 2012, §2.2]
- NASA VNP64A1 C2 (VIIRS) [Giglio et al., 2025]
- ESA FireCCIS311 (SLSTR) [Lizundia-Loiola et al., 2022]
- Copernicus CGLS BA v4 NTC (OLCI/SLSTR) [Padilla et al., 2025] (CLMBA40ntc)

Результат RVBA

- Версия VIIRS сильнее занижает площадь малых гарей
- Для обеих версий продукта характерна **переоценка** площади гарей **на +7%** (y = 1.07x)
- Результаты RVBA v0 сопоставимы с глобальными продуктами, в т. ч. в плане дисперсии оценок

! Это показатели точности для отдельных гарей, чаще всего лесных с высокой степенью повреждения

- Прочие результаты на основании выборки см. доп. слайд



RTO — регрессия через 0; CI — доверительный интервал



ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

Валидация

по выборке **[Glushkov et al., 2021]**:
гари по Sentinel-2 MSI на всей территории России (2020 г.)

- Ручное выделение контуров волонтёрами (недоучёт наличия невыгоревших «островков»)
- Классификация контуров гарей по RLC v5.7.2 за пред. год (по 50%+ преобладающему классу раст.; иначе класс “mixed”)
- ! Все показатели валидационных метрик получены в векторном формате и равновеликой проекции Альберса

Валидация: [Glushkov et al., 2021]

Лесные гари, 2020 г.

ИКИ ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

Характеристика выборки

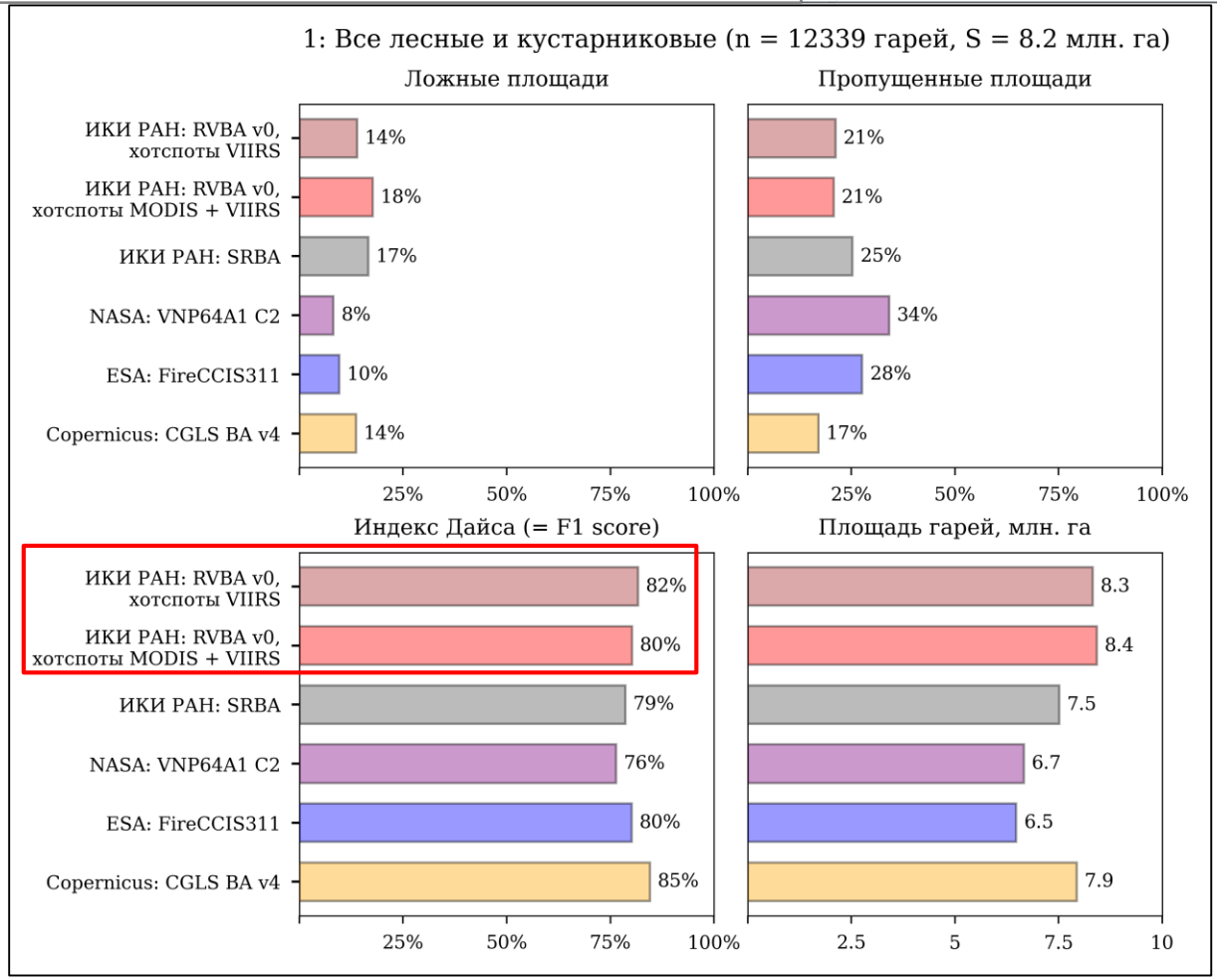
- Полнота и вся территория России, но **не верифицированность** (количество vs качество)
- ! Это не все выгоревшие лесные участки
- ! В контуры могут включаться нелесные участки

Результат RVBA

- Добавление хотспотов MODIS: рост ложно выделенных повреждённых площадей → малое снижение точности (F1)
- Точность F1 на уровне глобальных продуктов:
  - Ложно выделяемые участки ↑
  - Пропускаемые участки =/↓

Характеристика всех рассмотренных продуктов

- Высокая точность выделения лесных гарей и сходный порядок оценки пройденной огнём площади



- Индекс Дайса = F1 score при бинарной классификации
- Валидационные метрики см. доп. слайд (расчёт *по площади*)

Валидация: [Glushkov et al., 2021]

Выгоревшие **травяные** участки, 2020 г.

ИКИ ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

Характеристика выборки

! Это не все выгоревшие лугово-степные участки

! В контуры могут включаться с/х, лесные и иные участки

Результат RVBA

› Добавление хотспотов MODIS: рост ложно выделенных, снижение пропусков → сходная оценка F1

› Добавление хотспотов MODIS: оценка площади гарей +18%

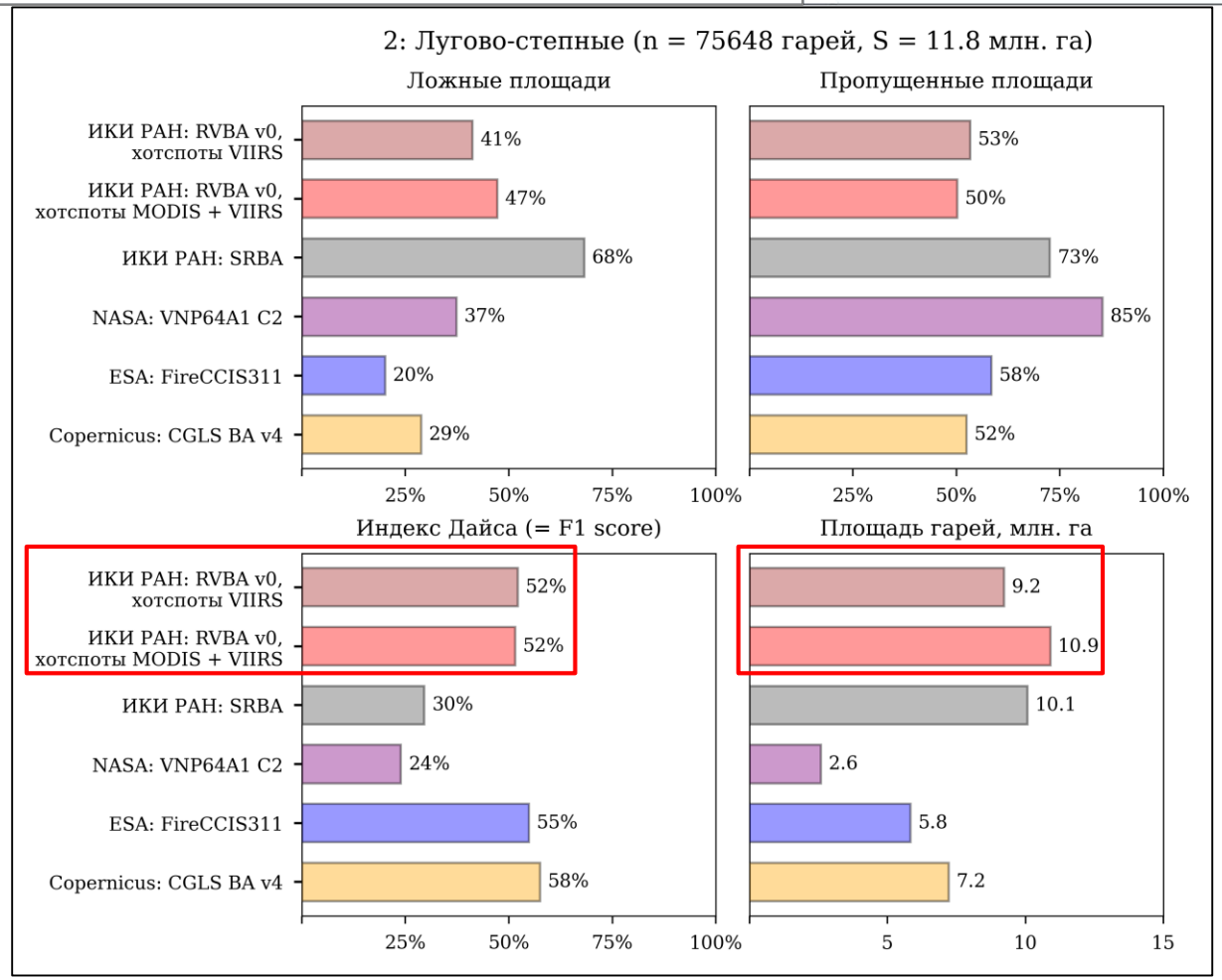
› Точность F1: заметно выше SRBA и VNP64A1 C2, но несколько ниже FireCCIS3 и CGLS BA v4:

  › Ложно выделяемые участки ↑↑

  › Пропускаемые участки ↓

Характеристика всех рассмотренных продуктов

› Высокий разброс оценки пройденной огнём площади в травяных биомах



› Валидационные метрики см. доп. слайд (расчёт *по площади*)

› Географ. распределение F1 по всем классам см. доп. слайд



ИКИ
ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

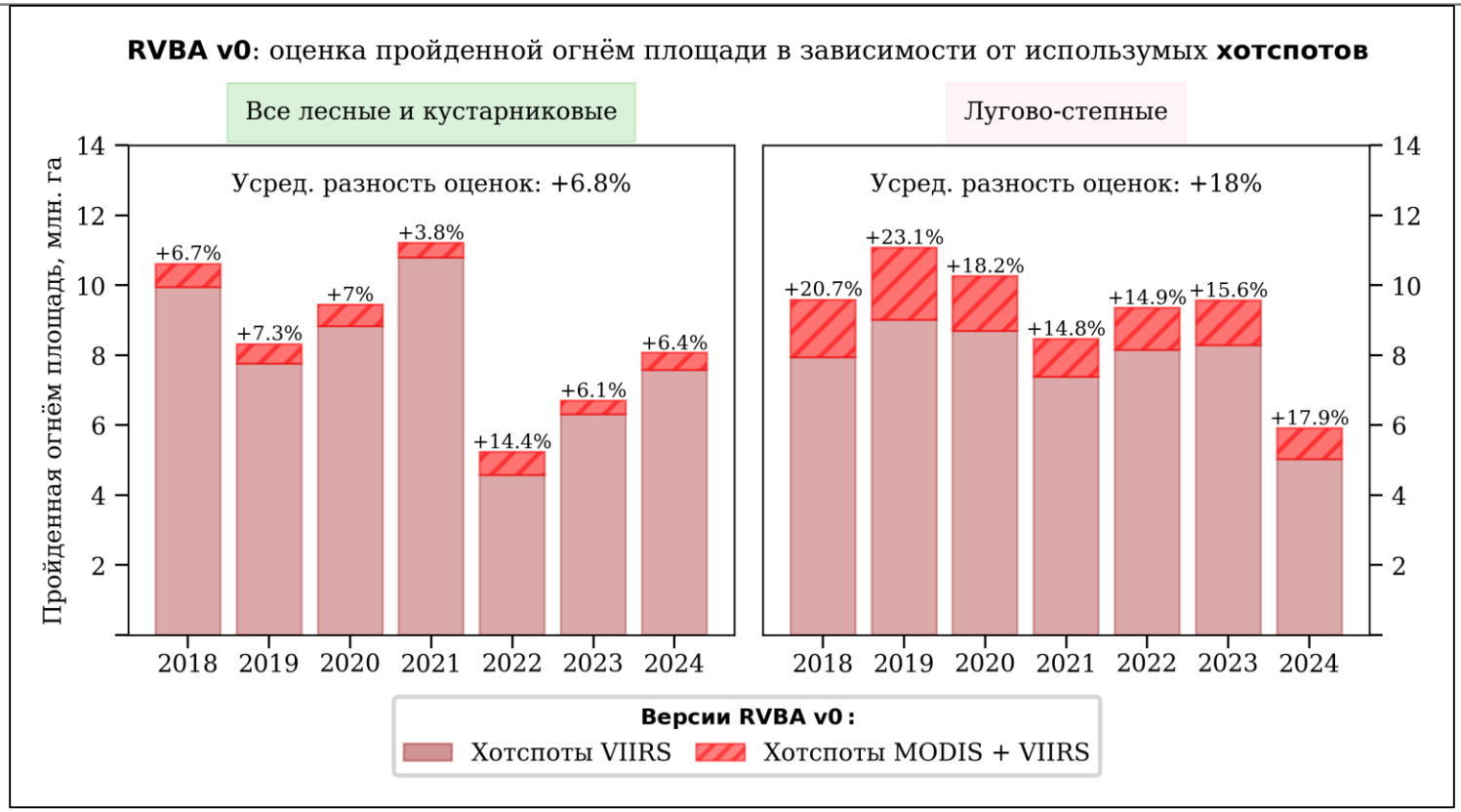
Результаты за 2018–2024 гг.

- Классификация наземных экосистем по RLC v5.7.2 за предыдущий год
- ! Получены в растровом виде в исходных проекции и пространственном разрешении продуктов гарей ДЗЗ

Результаты

Версии RVBA v0 (хотспоты): VIIRS vs MODIS + VIIRS

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН



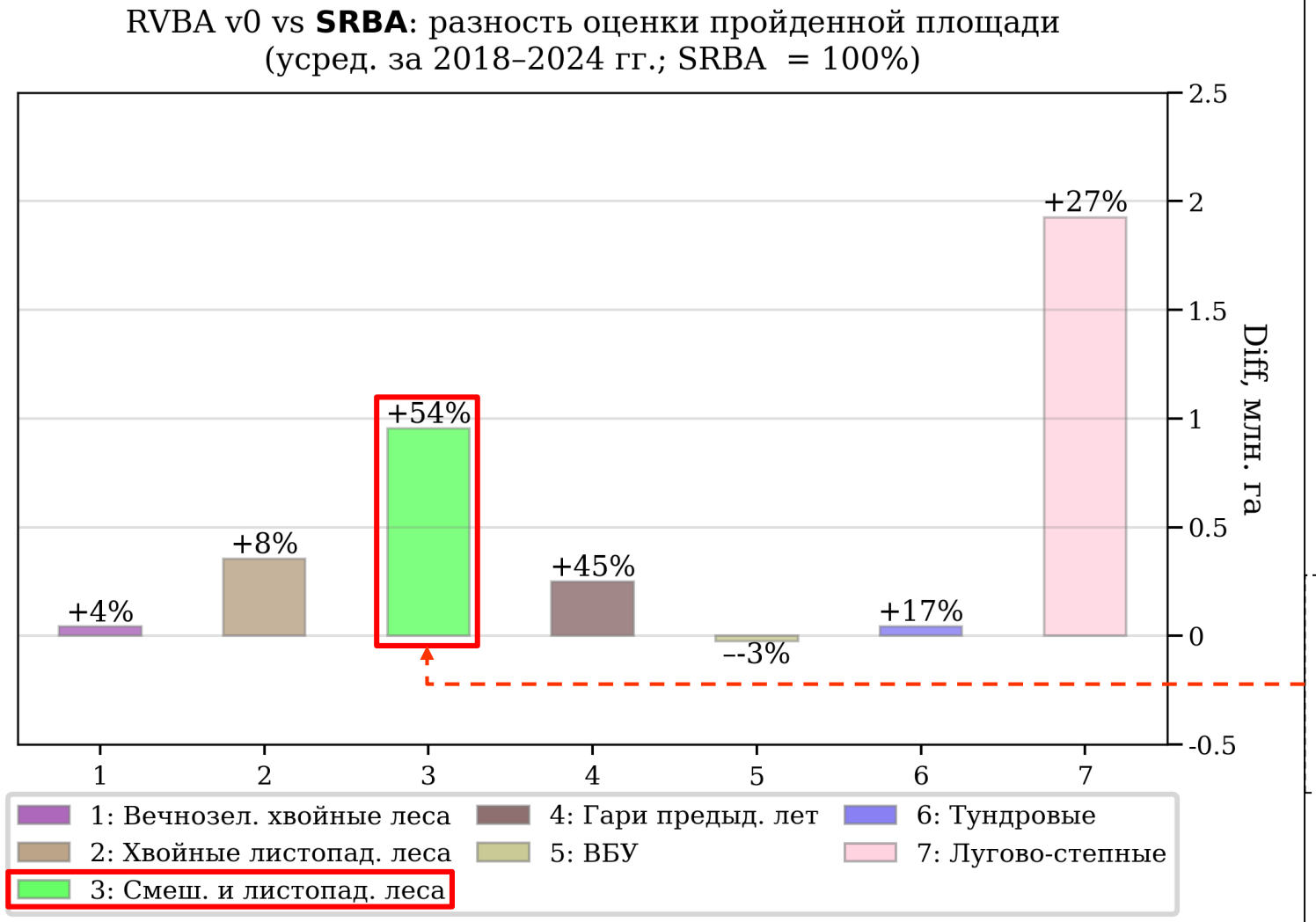
› Добавление хотспотов MODIS → рост оценки пройденной огнём площади:
+7% — лесные гари и **+18%** — лугово-степные выгоревшие участки (подробнее по биомам см. доп. слайд)

! Контуры гарей, полученные по двум версиям продукта, могут отличаться (это не просто добор пикселей)

Результаты

RVBA v0 (MODIS + VIIRS) vs SRBA: разность оценок

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

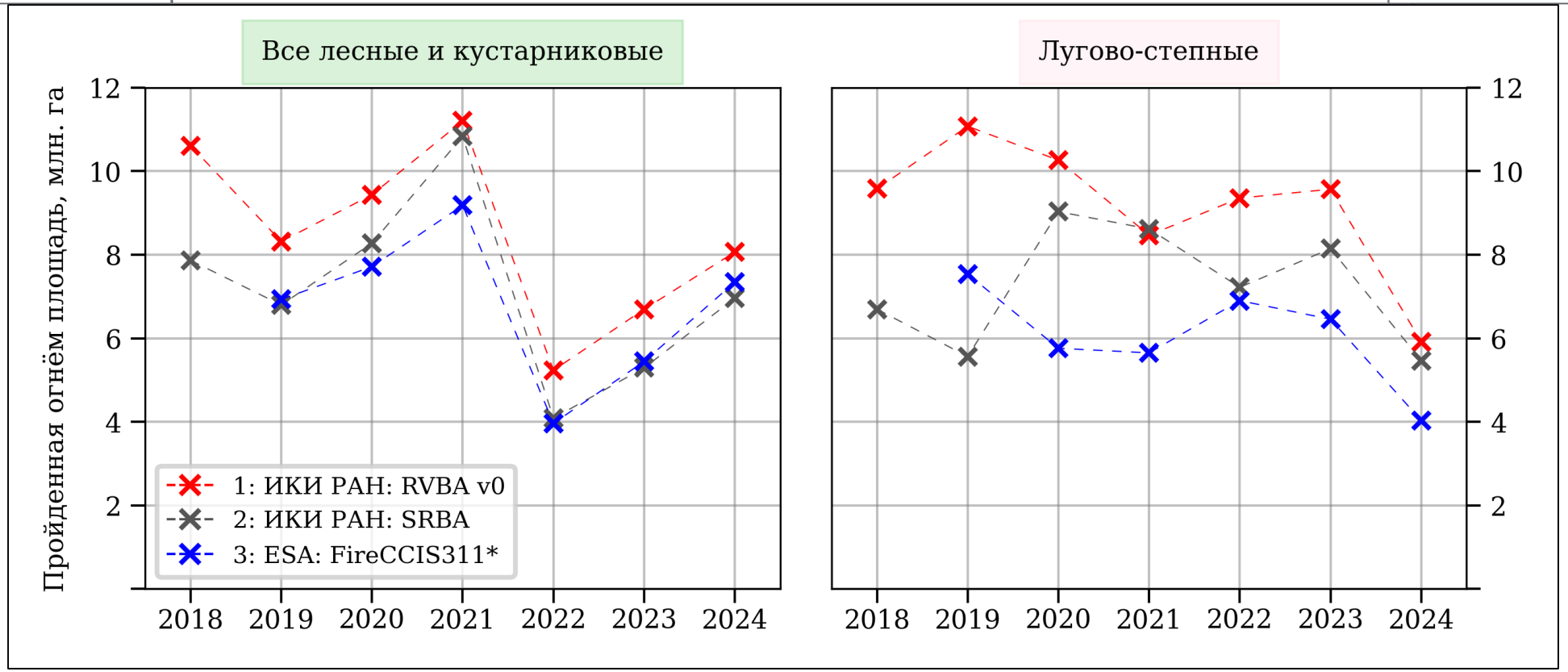


Результаты на основе валидационных выборок:
+43% / +70%
(см. доп. слайд)

Результаты

Пройденная огнём площадь за 2018–2024 гг.

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН



› RVBA v0: хотспоты MODIS + VIIRS

* FireCCIS311: н/д за 2018 г.

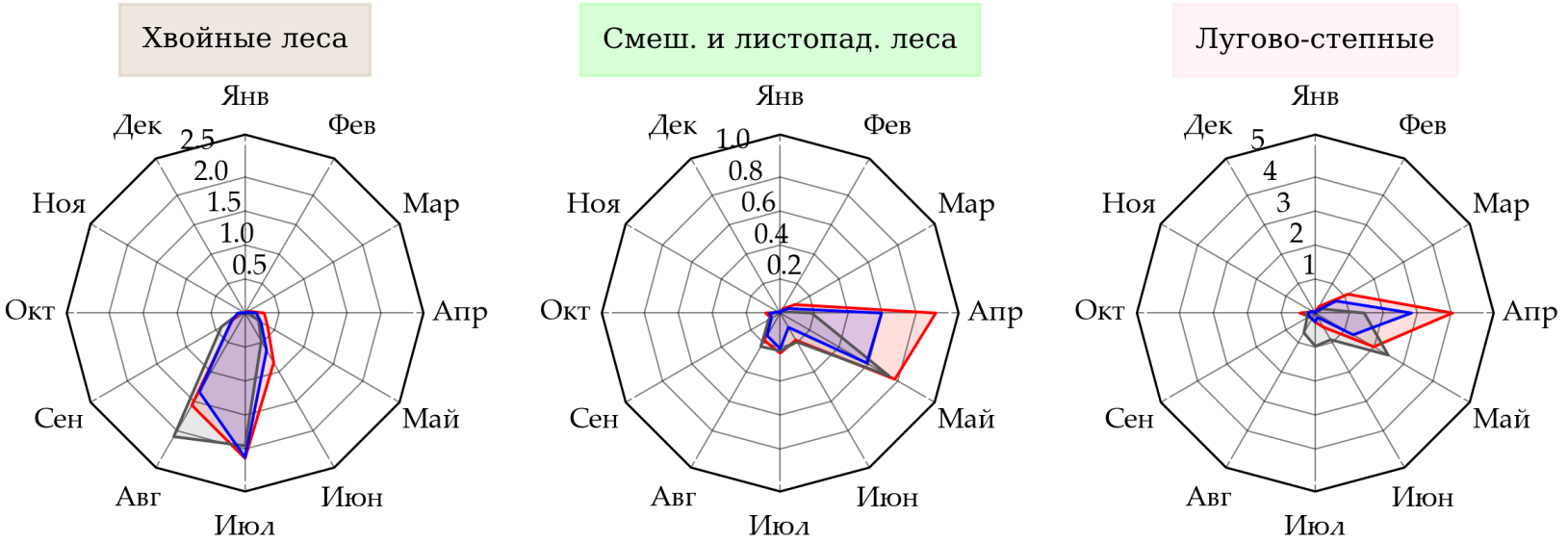
› Сравнение с NASA VNP64A1 C2 и Copernicus CGLS BA v4 см. доп. слайд

Результаты

Усреднённая ежемесячная статистика (2019–2024 гг.)

ИКИ ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

Среднеежемесячная площадь гарей (млн. га), 2019–2024 гг.



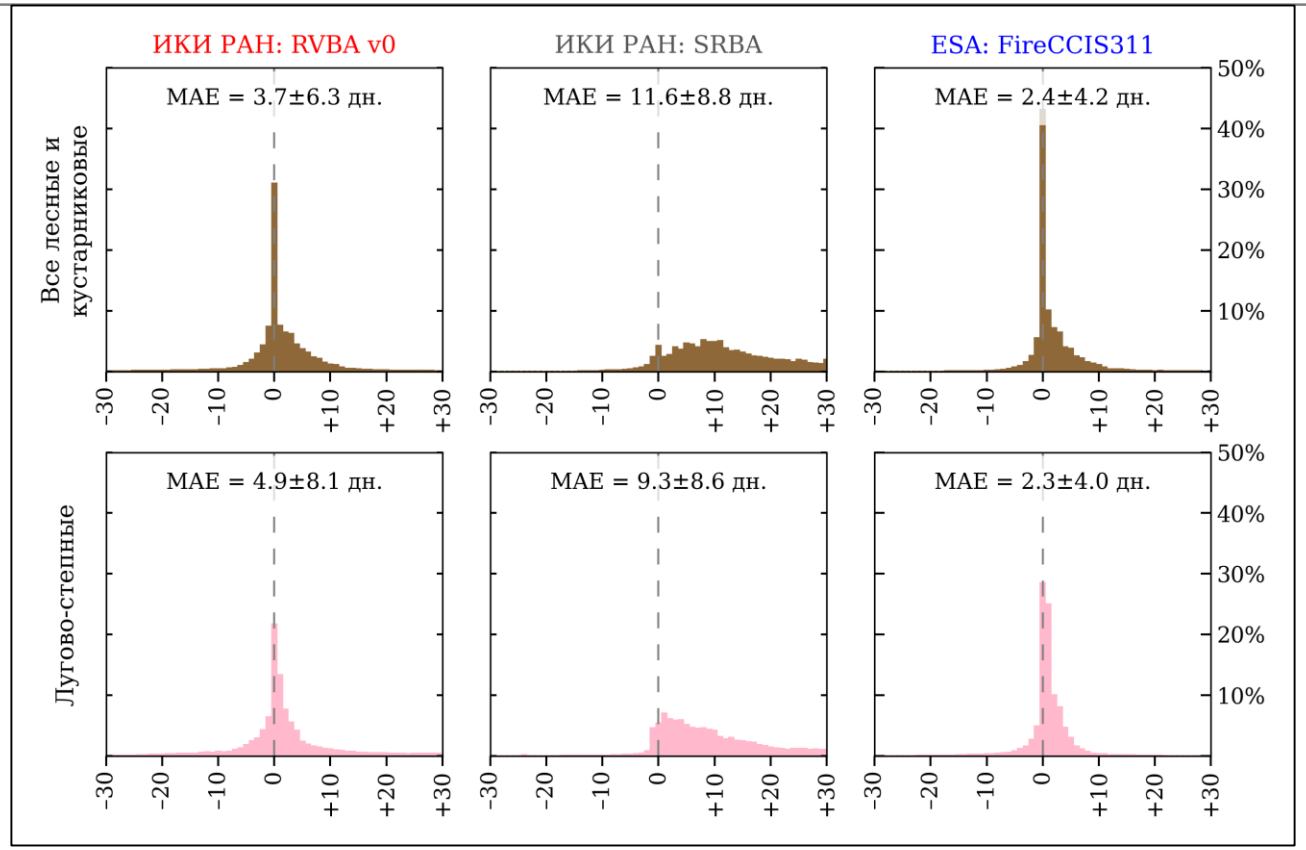
Сравнение с NASA VNP64A1 C2 и Copernicus CGLS BA v4 см. доп. слайд

- Для RVBA v0 характерна повышенная оценка пройденной огнём площади в весенний период (гари с низкой степенью повреждения, часто низовые пожары [Барталев, Стыценко, 2021; Лозин и др., 2024])
- Ежемесячную статистику по типам лесных гарей см. доп. слайд

Результаты: временна́я точность

По «хотспотам» MODIS и VIIRS за 2020 г.
методика [Boschetti et al., 2010; Campagnolo et al., 2021, §3.3]

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН



- Временная точность ≈ задержка детектирования гарей
- Временная точность RVBA v0 уступает FireCCIS311 (наиболее высокая точность у NASA VNP64A1 C2, см. доп. слайд)
- Для SRBA характерны заметные задержки при детектировании выгоревших участков



ИКИ
ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

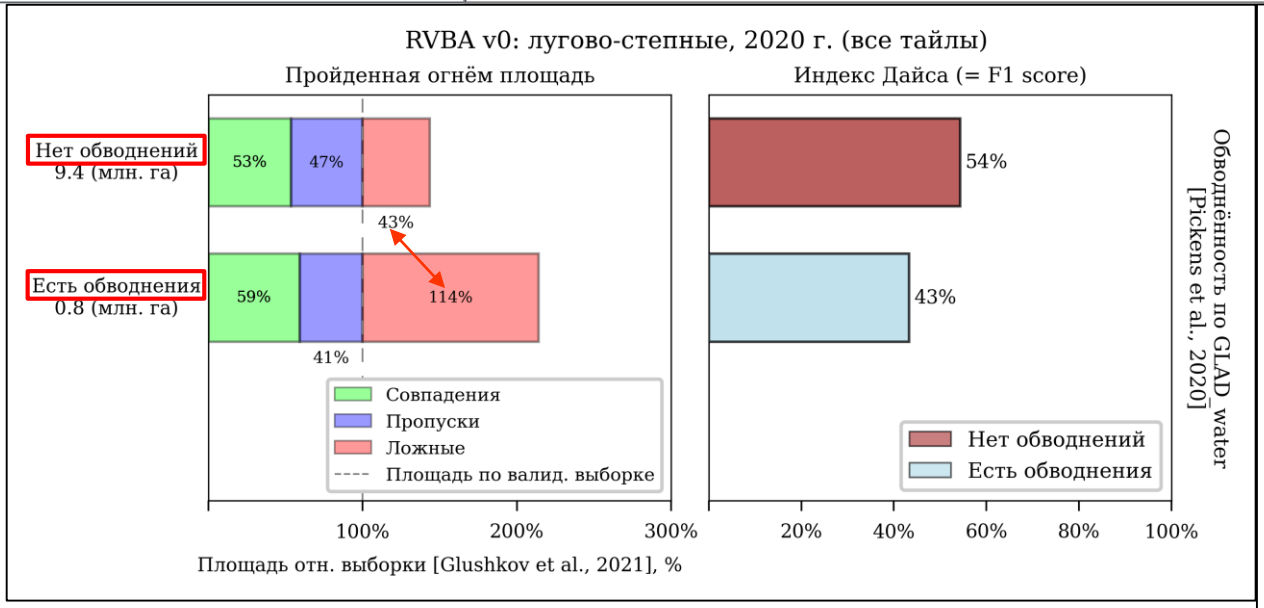
Обсуждение:

Выявленные проблемы и дальнейшая работа

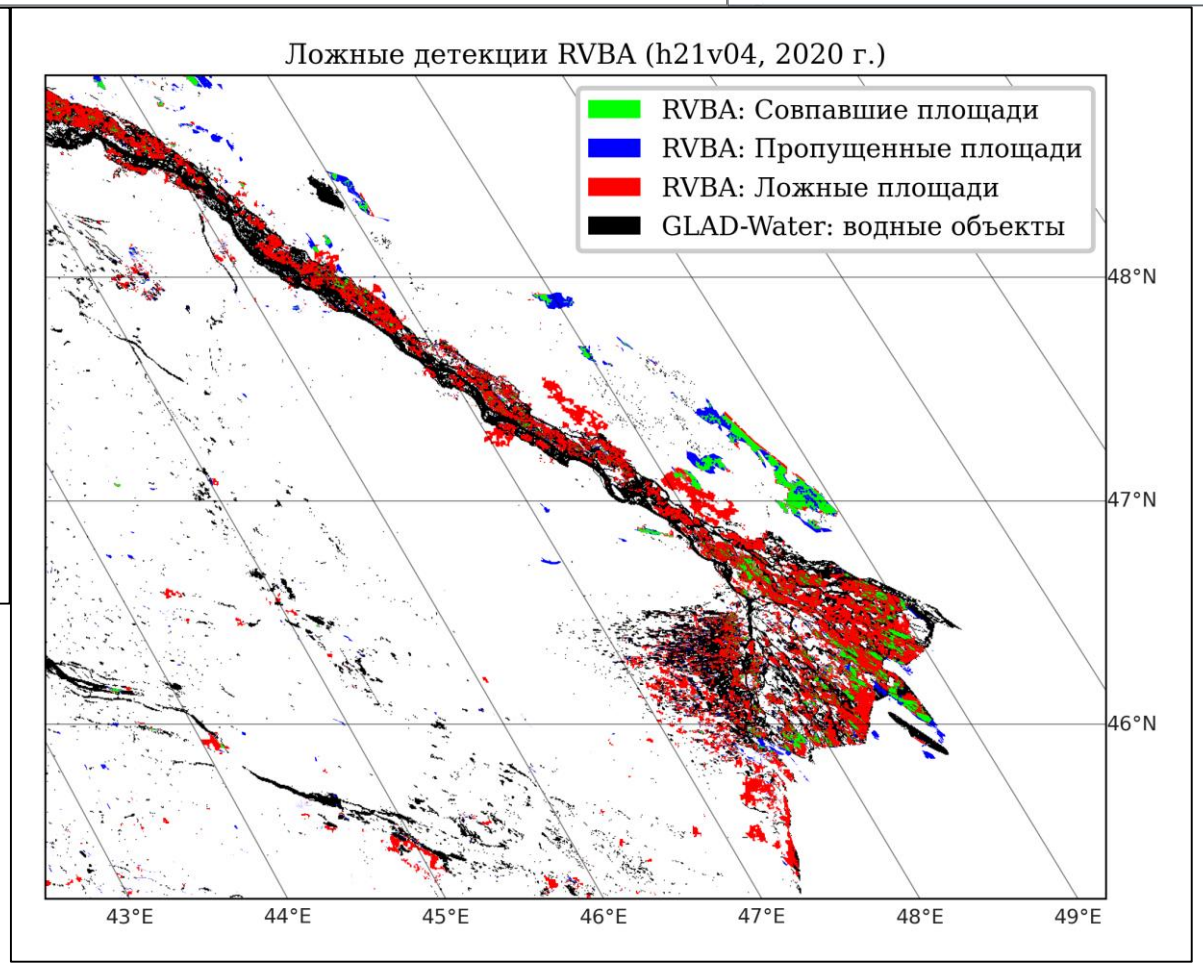
Обсуждение

Выявленные проблемы: ложная детекция обводнений

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН



- Выбраны только лугово-степные участки по RLC v5.7.2
- Обводнённые участки — GLAD_water [Pickens, Hansen et al., 2020]
- Без тайла h21v04 доля ложно выделяемых участков сокращается до 67% (см. доп. слайд)
- Возможная фильтрация обводнений — применение КСЯ канала $SWIR_{22}$ [Roy et al., 2005] (гари фиксируются по Red/NIR)
- Иные источники ошибок см. доп. слайд



Ошибочное детектирование обводнений в низовьях Волги (тайл h21v04, 2020 г., валидация по [Glushkov et al., 2021])

Обсуждение

Дальнейшие работы

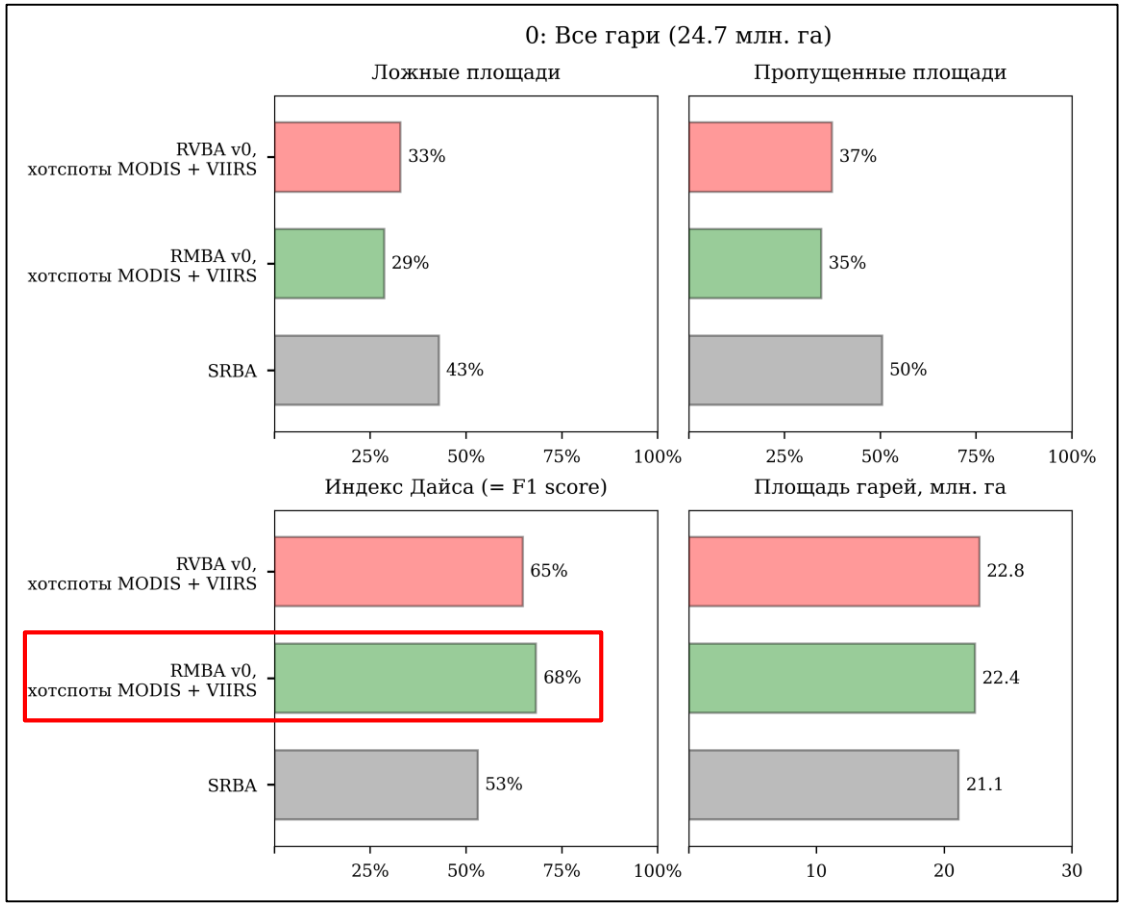
1) **Архивный** продукт **MODIS** RMBA v1 (2001–2025 гг.) — *рассчитывается*

- VCD09 (~500 м) → MCD09 (~250 м)
- Алгоритм переносится с минимальными изменениями
- RMBA v0: предварит. генерация по хотспотам MODIS + VIIRS →
- RMBA v0: *только* хотспоты MODIS → –25% площади гарей

2) **«Оперативный»** продукт VIIRS RVBA (с 2025 г.) — *?*

- Задержка 30 дней + лаг поступления и обработки VNP09
- Композиты строятся за текущую декаду + 20 предыдущих дней
- Набор используемых хотспотов: решение не принято
- Предварительная генерация не проводилась

3) **Архивный** продукт **VIIRS** RVBA v1 — *запланировано*



Все гари (без с/х) по выборке [Glushkov et al., 2021], 2020 г.

Заключение

- Получен предварительный продукт картографирования пройденной огнём площади RVBA v0
  - Данные VIIRS, территория России, 2018–2024 гг.
- Выборка ИСДМ-Рослесхоз:
  - Завышение **площади гарей +7%** (лесные гари с высокой степенью повреждений)
  - Сопоставимость оценок RVBA v0 и актуальных глобальных продуктов ДЗЗ
- Выборка [Glushkov et al., 2021]:
  - **F1 ≈ 80%** для лесных гарей и **F1 ≈ 50%** для травяных гарей (на уровне глобальных продуктов)
  - В ср. с продуктом ИКИ РАН SRBA заметно выросла точность выделения лугово-степных выгоревших участков
  - Повышенная доля ложно выделяемых участков при пониженном показателе пропускаемых площадей гарей
- Добавление хотспотов MODIS:
  - Рост ложно выделенных участков, снижение пропусков → сходные показатели F1
  - Рост оценки пройденной огнём площади: в лесах **+7%**, в лугово-степных биомах **+18%**
- Планируется генерация «оперативной» версии RVBA и архивной версии продукта RMBA (MODIS)



Спасибо за внимание

Матвеев Алексей Михайлович
amatveev@d902.iki.rssi.ru / matveevhwre@gmail.com

Фото: Шинкаренко С. С.
Респ. Якутия, бассейн р. Амга, 17.08.2026
60.319 с. ш. 130.636 в. д.
Гарь 07.2012 г.



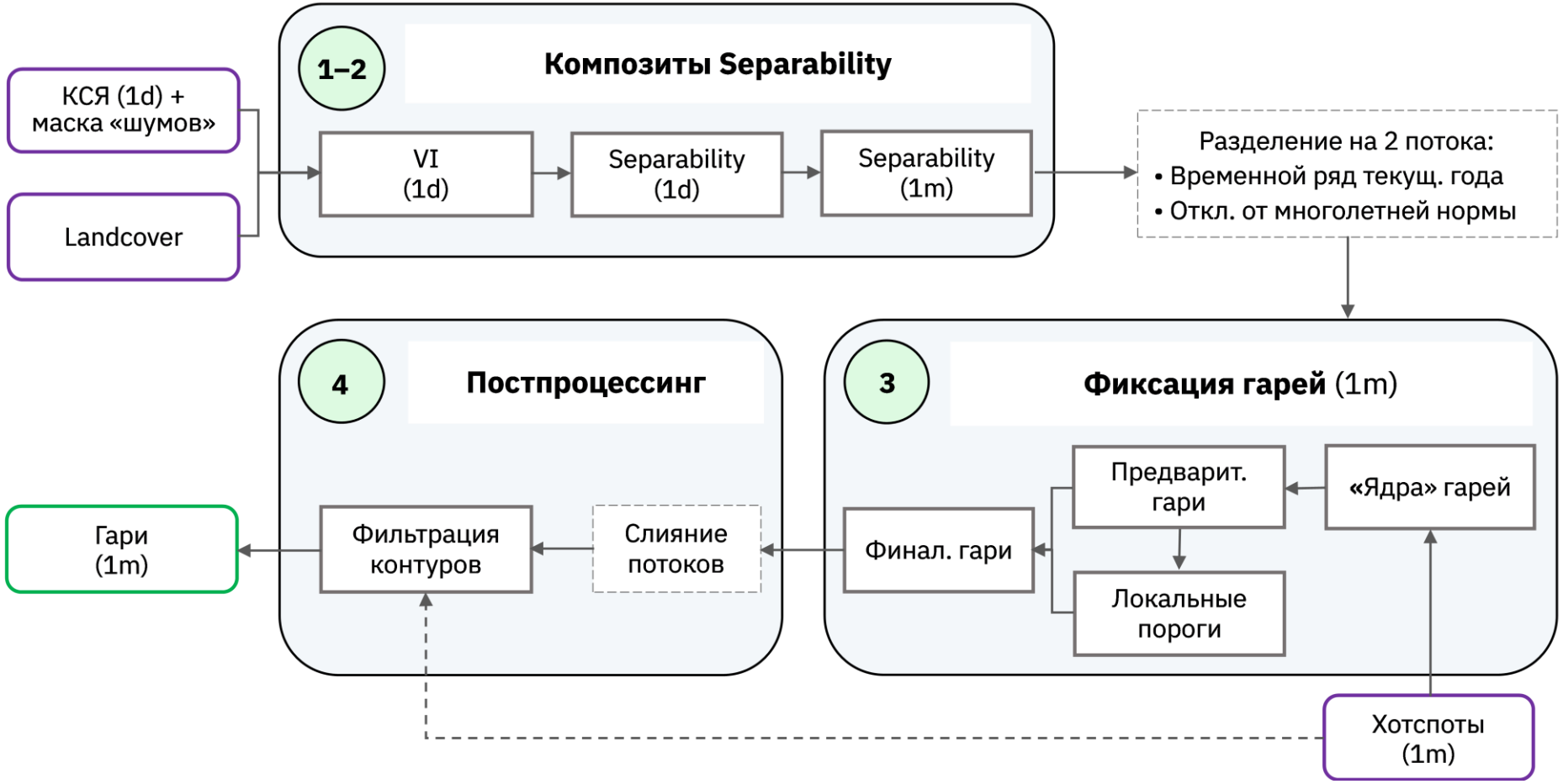
ИКИ
ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

Дополнительные слайды

Доп. слайды: алгоритм

Упрощённая схема
Реализован на python 3.12

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН



- 1d = ежедневные; 1m = ежемесячные
- Используется вегетационный индекс (VI) GEMI [Pinty, Verstaete, 1996] и характеристика Separability [Giglio et al., 2009]

Доп. слайды: алгоритм

Снижение точности SRBA (VIIRS) vs SRBA (MODIS)

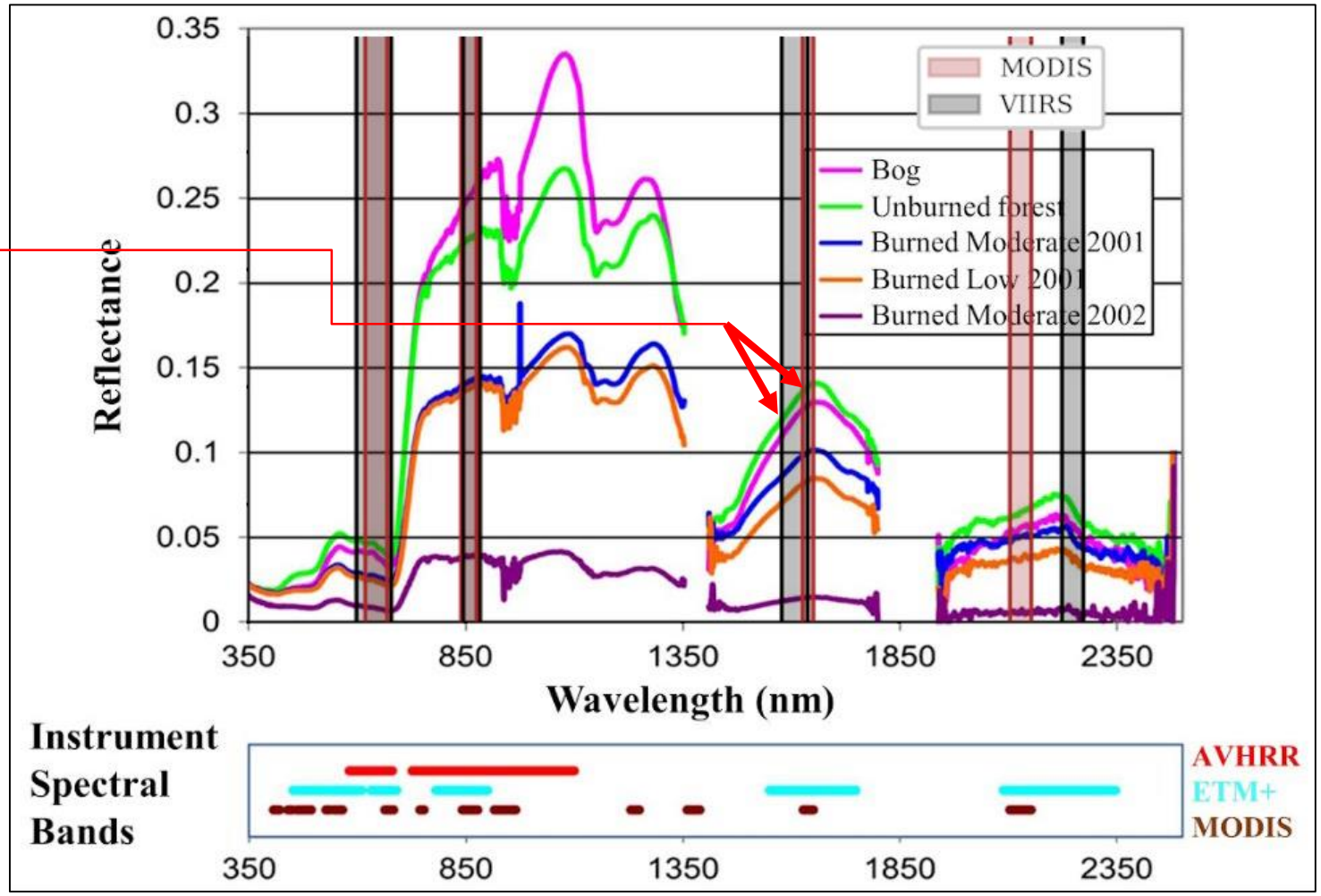
ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

Возможная причина:

- В SRBA используется вегетационный индекс $SWVI = \frac{NIR - SWIR_{16}}{NIR + SWIR_{16}}$
- VIIRS интегрирует участки с более низкими значениями КСЯ $SWIR_{16}$ ненарушенной растительности
- Следовательно, следует ожидать меньших dSWVI для гарей по данным VIIRS

Источник:

- Гиперспектральные профили гарей, Красноярском край, 2002 г. [Cahoon Jr., Soja et al., 2025, Fig. 2]
- На график наложены спектральные окна (MODIS и VIIRS) согласно спецификациям NOAA/NASA



Доп. слайды: алгоритм

1. Ежедневные композиты вегетационного индекса GEMI

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

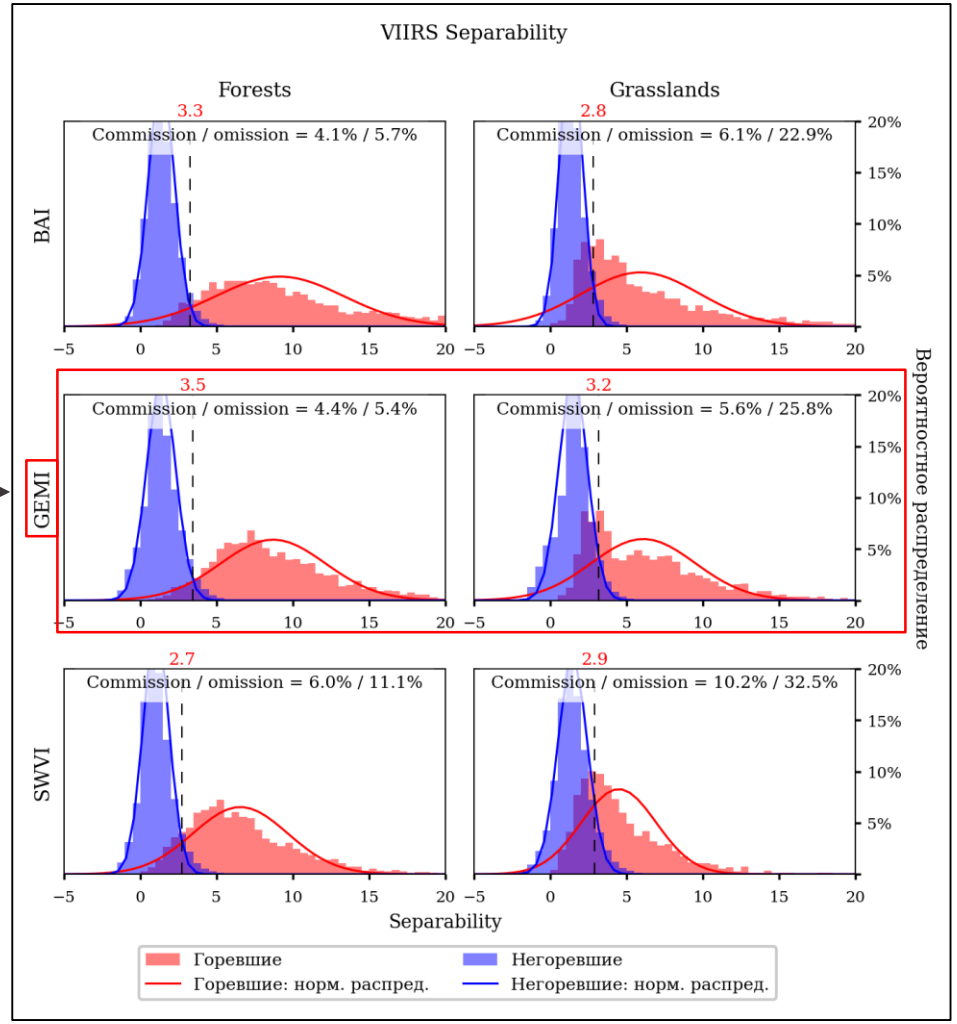
Выбор вегетационного индекса:

- Только каналы VIIRS с номинал. разрешением 375 м (Red, NIR, $SWIR_{16}$)
- Остаются индексы BAI, GEMI и SWVI; игнорировались NIR и NDVI
- Был выбран GEMI (каналы Red, **NIR**) [Pinty, Verstraete, 1996]:

$$GEMI = \eta(1-0.25)\eta - \frac{\rho_{Red} - 0.125}{1-\rho_{Red}}, \text{ где } \eta = \frac{2(\rho_{NIR}^2 - \rho_{Red}^2) + 1.5\rho_{NIR} + 0.5\rho_{Red}}{\rho_{NIR} + \rho_{Red} + 0.5}$$

Генерация ежедневного композита GEMI

- Используются все сцены VNP/VJ109 (VCD09) GA C2 [Roger et al., 2023]
- Маски шумов [Миклашевич и др., 2021]: снег, облака, *но не* тени и дымка
- Landcover RLC v5.7.2 [Барталев и др., 2016] за предыдущий год: маска негорящих ландшафтов *и с/х-земель*
- Доп. пороги: VZA < 45°, Red < 0.27, $SWIR_{16} \in [0.02; 0.45]$, NDSI ⩽ 0, NDVI ⩾ −0.05
- Ежедневное композитирование по валидным пикселям:
  1) приоритет немаскированных пикселей (не тени/дымка)
  2) минимизация VZA



Доп. слайды: алгоритм

2. Ежедневные композиты Separability [Giglio et al., 2009]

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

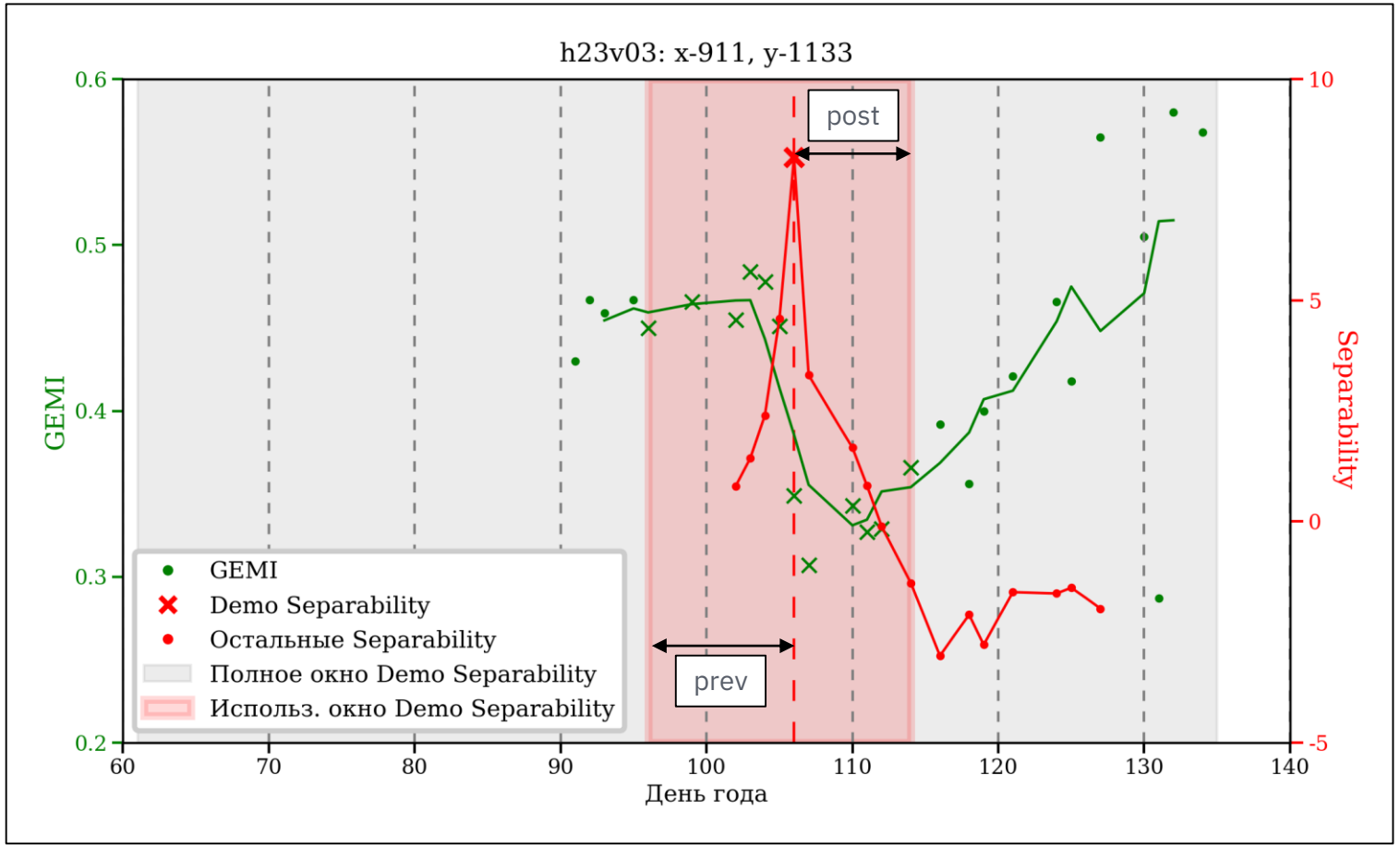
Окна Separability:

- Окна: prev = 45 дн., post = 30 дн.
- n_obs = 6 (требуется мин. 6 знач. в окне)
- **Серая область** — макс. размер окна для сбора значений GEMI
- **Красная область** — использованные наблюдения для расчёта Separability на день фиксации гари (- × - -)

Расчёт:

- $VI_{post} = mean^{*}(GEMI \in post)$
- $VI_{diff} = VI_{prev} - VI_{post}$
- $Separability = \frac{VI_{diff}}{(\sigma_{post} + \sigma_{prev})/2}$

* Усечённое среднее (вес 0.5 для мин. и макс.)



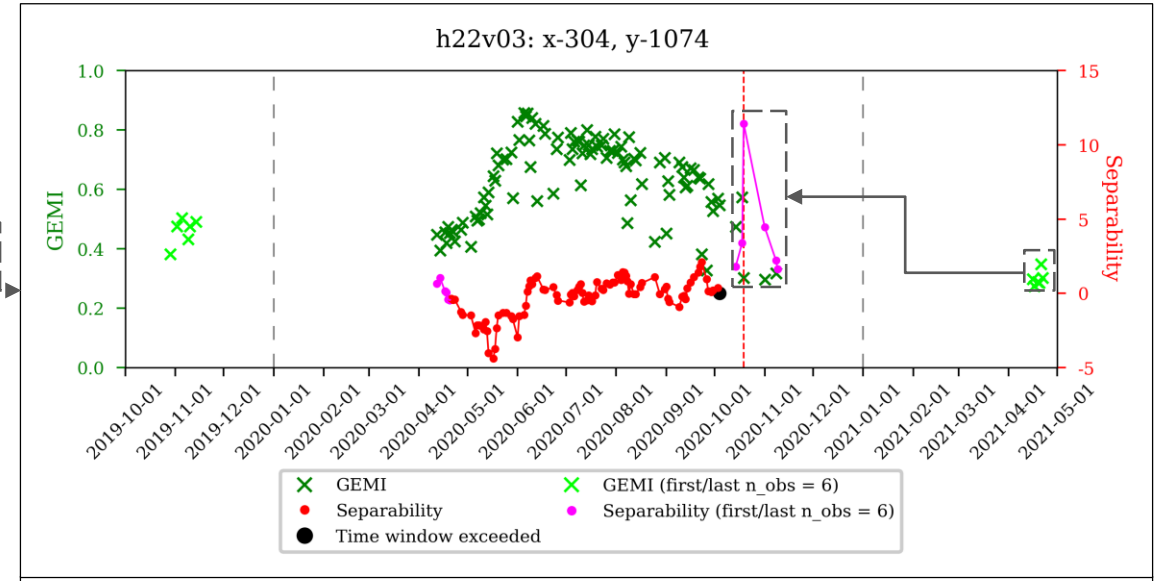
Доп. слайды: алгоритм

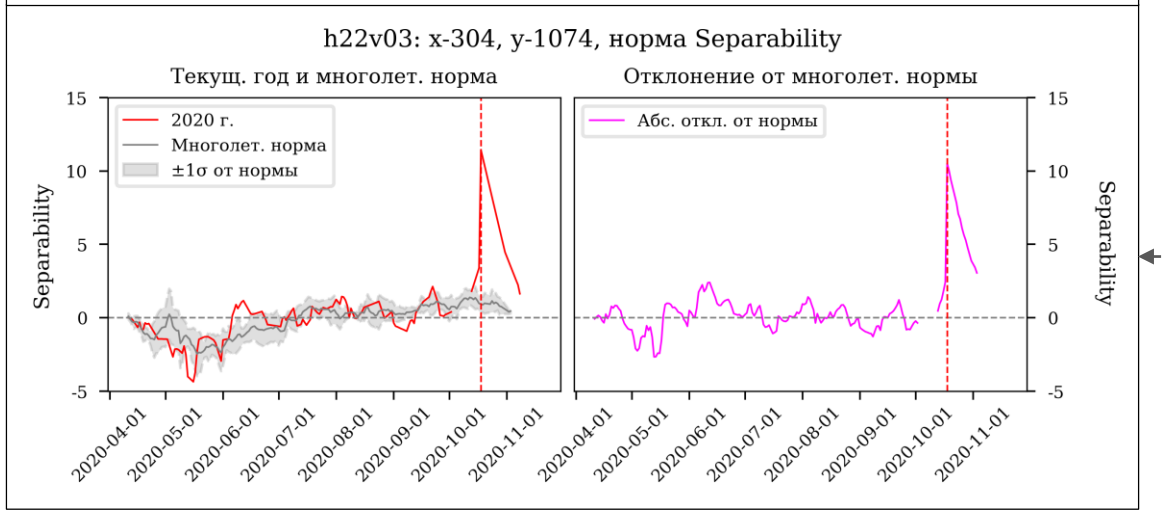
2. Separability: учёт «краевых» наблюдений и Отклонение от многолетней нормы

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

Учёт краевых наблюдений:

- Для расчёта Separability текущ. года используются 6 краевых наблюдений пред./след. года
- Идея частично позаимствована из [Descals et al., 2022] (гари Сибири по Sentinel-2 MSI)





Отклонение от многолет. нормы:

- Норма рассчитывается по интерполированным знач. Separability
- Пиксель-в-пиксель, день-в-день
- Интервал 6 лет
- Минимум 3 валид. наблюдения
- Подход скользящей нормы:
  - в 2020 г. норма рассчитывается по 2018, 2019 и 2021–2024 гг.
  - с 2024 г. норма только по предыдущим годам

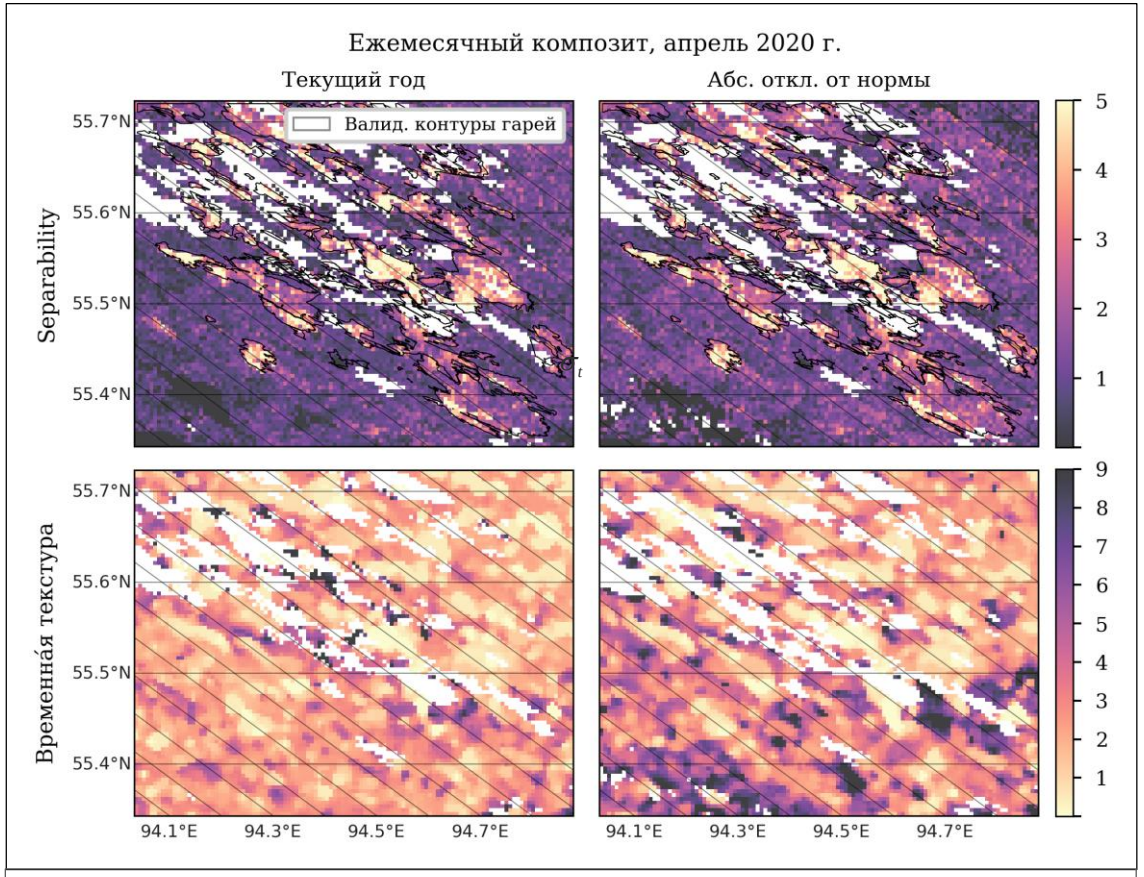
Доп. слайды: алгоритм

2. Ежемесячные композиты Separability

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

Ежемесячный Separability:

- Текущий месяц ± 10 дней соседних месяцев
- Композитирование по дню max(Separability)
- Композитирование *не ведёт* к потере временно́й точности (день с макс. спектральным изменением = день первой фиксации гари)



На данном этапе алгоритм разделяется на детектирование по 1) временному ряду **текущ. года** и 2) **отклонению от многолет. нормы**

Временна́я текстура σ_t:

- Стандарт. отклонение дня max(Separability) в ср. с соседними пикселям
- Большинство пикс. σ_t > 9 дней будут пропущены

Композит DOY_{autumn}:

- Из-за осенней фенологии возможны ложно завышенные знач. Separability (падение КСЯ NIR → падение знач. GEMI)
- Для этого рассчитывается композит даты «начала» осени
- Используется жёсткий порог → осенние гари детектируются по отклонению от нормы
- Пример см. доп. слайд

Доп. слайды: алгоритм

3.1 Релокация «хотспотов» (ядра гарей)

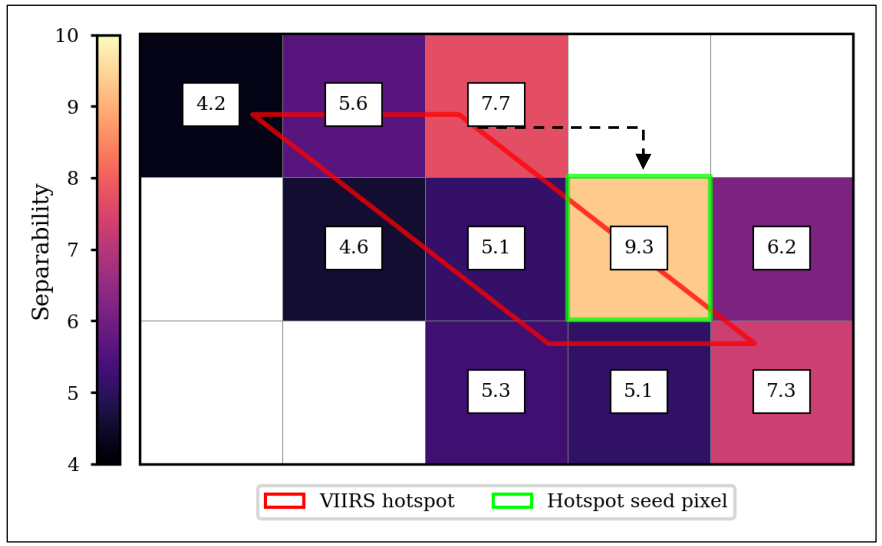
ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

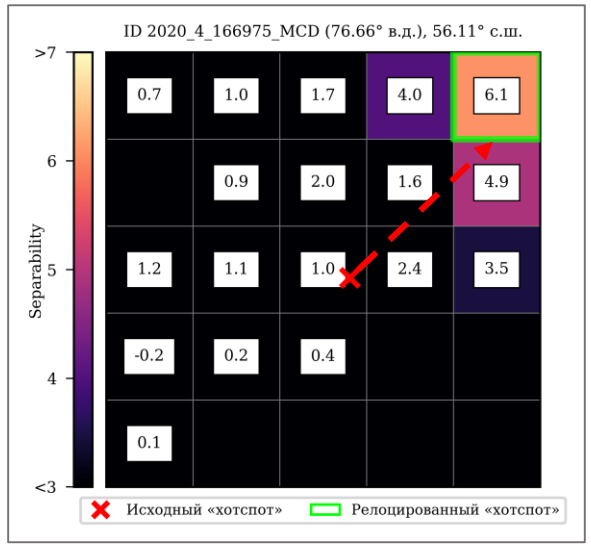
Данные:

› Ежемесячные композиты Separability; ежемесячные «хотспоты» NASA MCD14ML C6 и VNP/VJ114IMGML C2

Методика (2 возможных подхода):

1) Восстановление исходного размера пикселя «хотспота»	2) Статичное окно 3×3 (VNP14) / 5×5 пикс. (MCD14)





› В окне выбирается пиксель ежемесячного растра с максимальным значением Separability

› Выбранному пикселю присваивается день релоц. «хотспота» $DOY_{hotspot}$; рассчитывается отклонение от дня композита $DOY_{Separability}$

› В случае нескольких «хотспотов» в одном пикселе выбирается наиболее близкий к $DOY_{Separability}$

› Используемые пороговые значения см. доп. слайд

Доп. слайды: алгоритм

3.2 Предварительные контуры гарей

Данные:

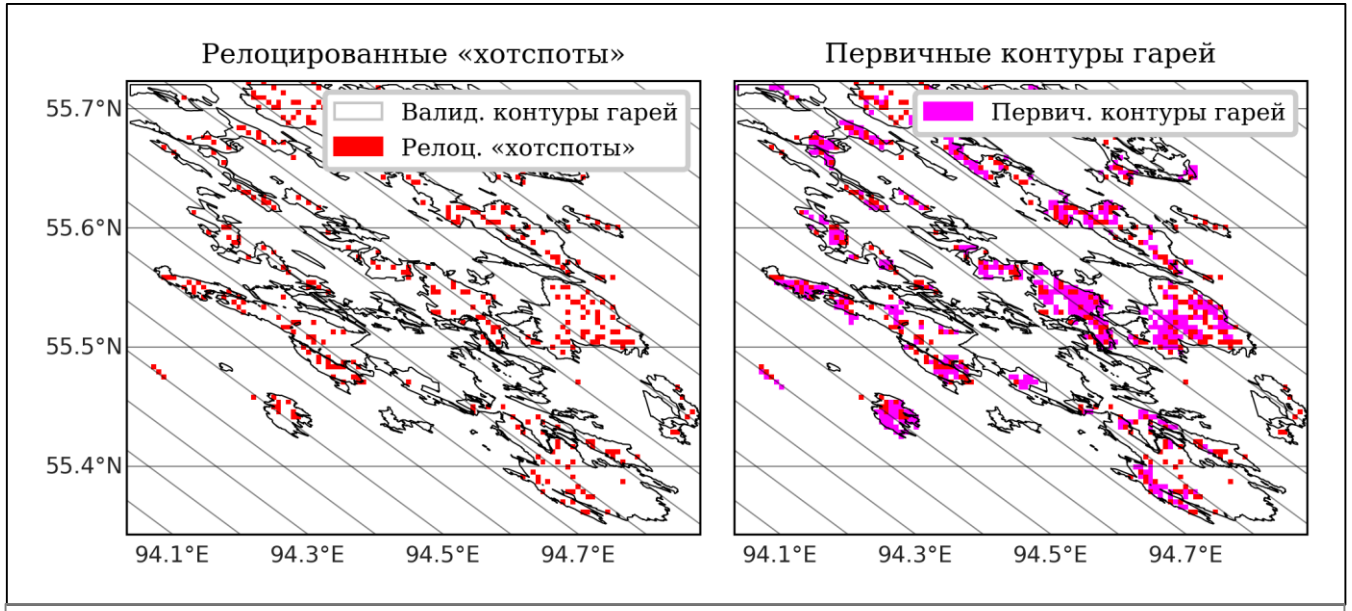
› Ежемесячные композиты Separability; релоцированные «хотспоты»

Методика:

› Релоцированные «хотспоты» — *единственный* источник ядер для последующего оконтуривания гарей

› Итеративное наращивание из ядер по всем соседним пикселям (правило 8 соседей)

› Используемые пороговые значения см. доп. слайд



Для демонстрации выбраны детекции по 1) временному ряду текущего года

Доп. слайды: алгоритм

3.3 Локально-адаптивные пороги
3.4 Оконтуривание гарей по локальным порогам

Данные:

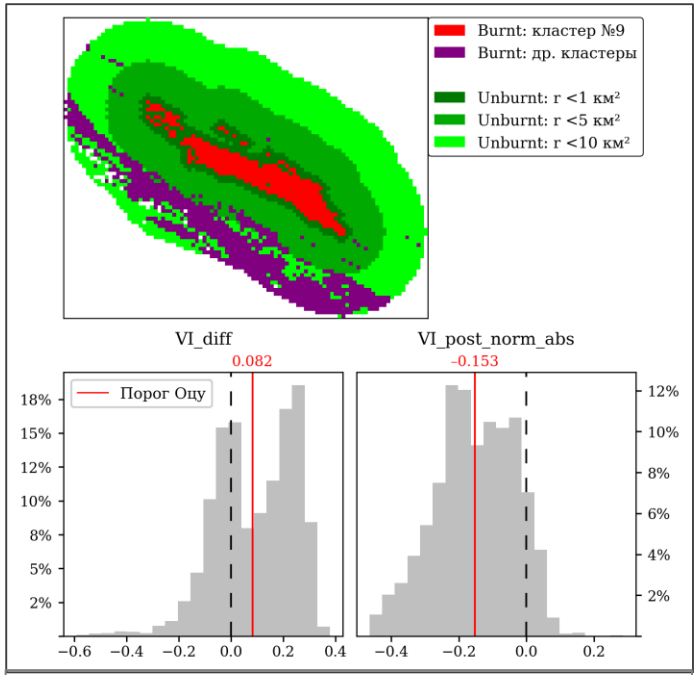
- Ежемесячные композиты; *все* релоц. «хотспоты»; первичные контуры гарей
- В случае 2) откл. от многолетней нормы маскируются гари предыдущих лет по RLC v5.7.2

3.3. Локально-адаптивные пороги:

- Для каждой гари: выборка горевших и негоревших пикс. в радиусе 10 км
- Для каждой гари: сбалансированная выборка → порог по методу Оцу
- Для каждой гари: записать усреднённый за n = 100 итераций порог Оцу
- Весь растр: локальный порог VI_{thr} = среднее локальных порогов Оцу всех первичных кластеров гарей (вес по кол-ву пикс. в каждой гари) в радиусе 20 км

3.4. Оконтуривание гарей:

- Ядра: первичные контуры гарей + все релоц. «хоспоты», удовлетворяющие порогу VI_{thr}
- Итеративное наращивание по правилу 8 соседей при удолветворении порогу VI_{thr}
- Использованные пороговые значения см. доп. слайд

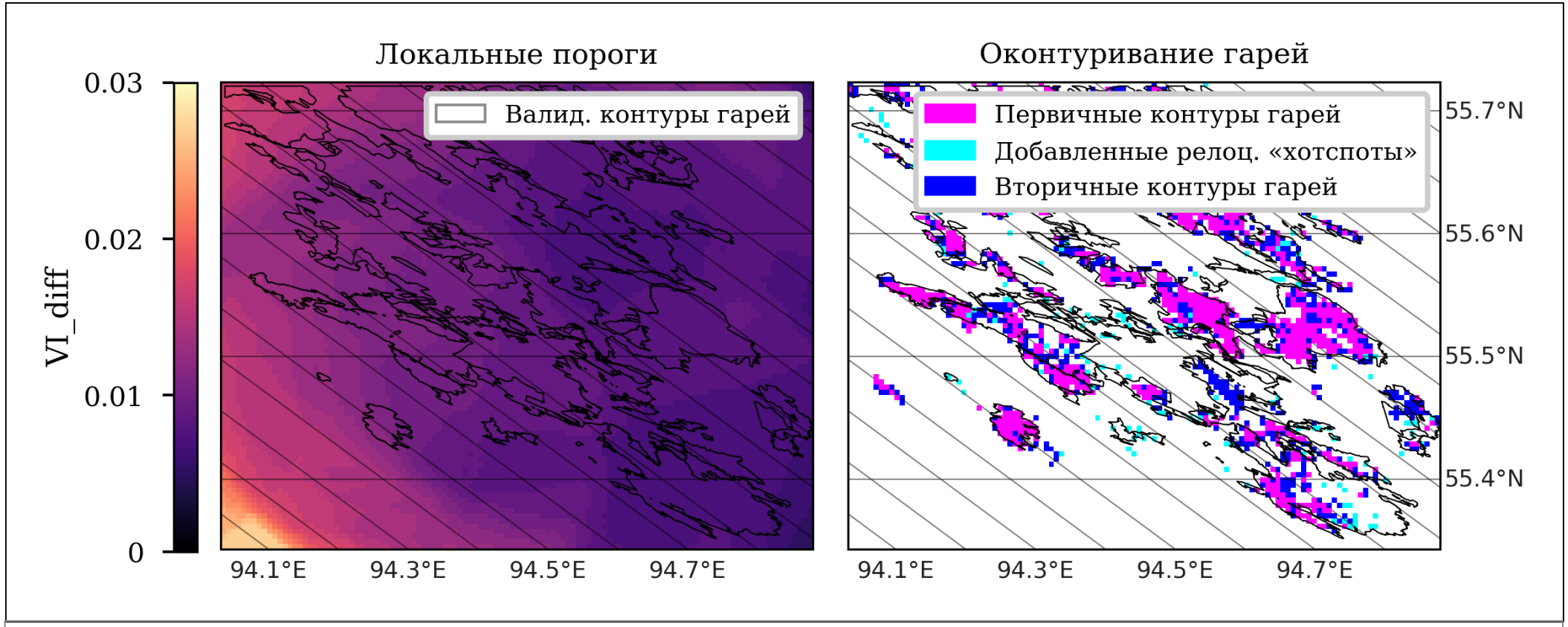


3.3 Пример порога для каждой гари

Доп. слайды: алгоритм

3.3 Локально-адаптивные пороги
3.4 Оконтуривание гарей по локальным порогам

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН



Пример только по 1) временному ряду текущего года

Доп. слайды: алгоритм

Фильтрация контуров

Данные:

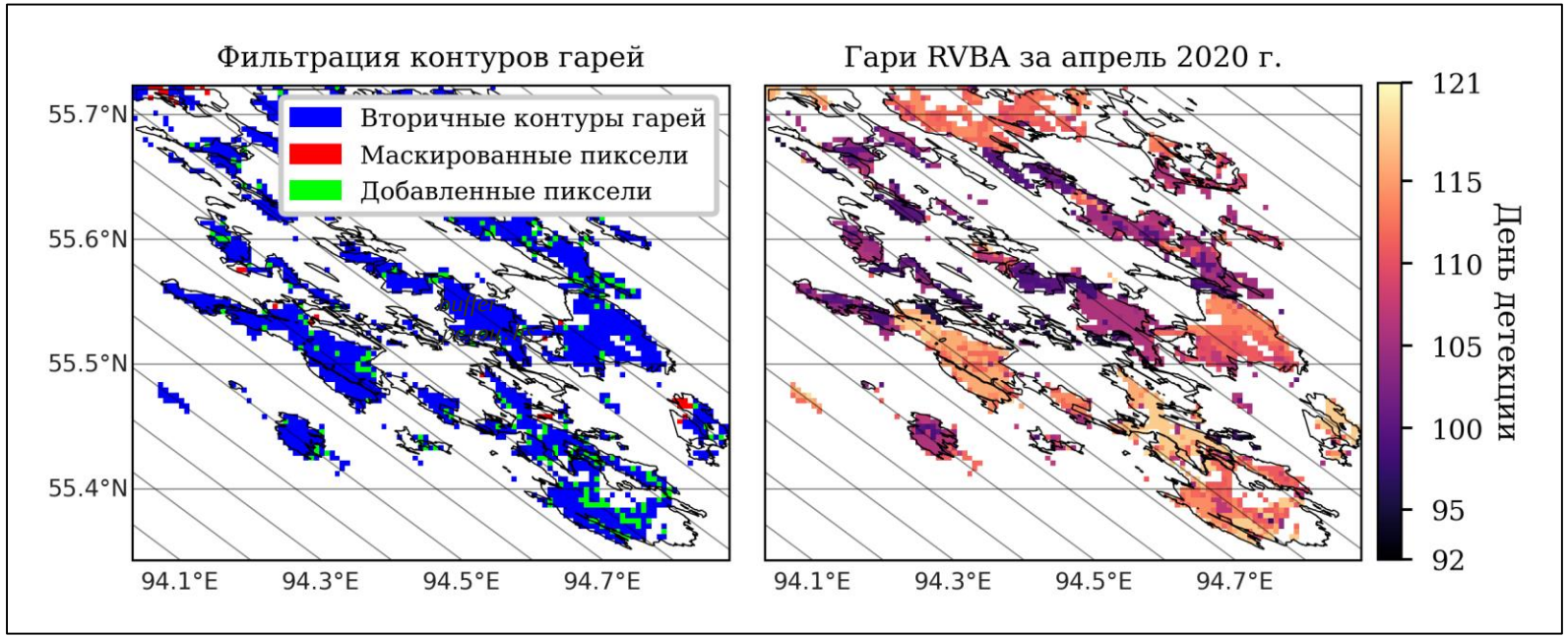
› Оконтуренные гари: объединение потоков 1) current_year и 2) norm в единые кластеры (мин. $DOY_{Separability}$, правило 8 соседей)

Методика фильтрации и заполнения [Lizundia-Loiola et al., 2020, §2.8] (подробнее см. доп. слайд):

› Удаляются кластеры с малой долей релоц. «хотспотов» (общее соотношение или с малой долей площади вблизи «хотспотов»)

› Удаляются участки кластеров без «хотспотов» (ложное нарастание на не связанные с пожарами области)

› Заполнение контуров: если оба соседа по верт./горизонт. горевшие → заполнить данный пиксель как горевший



Доп. слайды: алгоритм

Изменения по сравнению с алгоритмом ESA FireCCIS311

0. Переход на данные другой спутниковой платформы (Sentinel-3 SLSTR → SNPP/NOAA-20+ VIIRS)

1. Вегетационный индекс

- Заменён вегетационный индекс (NBR2 (SWIR16, SWIR22) → GEMI (Red, NIR))
- Используются дополнительные маски шумовых явлений [Барталев, Егоров и др., 2011; Миклашевич и др., 2021]

2. Separability

- Расчёт Separability: n_obs = 8 → 6 наблюдений, окно = [–30; +30] → [–45; +30] дней
- Добавлен учёт краевых наблюдений (первые и последние валидные наблюдения за год)
- Дополнительным потоком введено детектирование по отклонению от многолетней нормы

3. Картографирование гарей

- В дополнение к VNP14IMGML C2 используются «хотспоты» NASA VJ1IMGML C2 и MCD14ML C6
- Изменена методика релокации «хотспотов»: реальный шейп пикселя «хотспота» вместо статичного окна
- Первичные контуры гарей: не используются объединённые контуры пожаров (кластеры из «хотспотов»)
- Фильтрация осенней фенологии при детектировании по 1) временному ряду текущего года (вынужденная адаптация)
- На основе результатов по тестовой выборке [Матвеев и др., 2026] изменены пороговые значения параметров

Доп слайды: алгоритм

Вегетационные индексы

Индекс	Формула	Источник
BAI	$BAI = \frac{1}{(\rho_{NIR_{0,8}} - 0{,}06)^2 + (\rho_{Red} - 0{,}1)^2}$	[Chuvieco et al., 2002]
GEMI	$GEMI = \eta(1-0{,}25)\eta - \frac{\rho_{Red} - 0{,}125}{1-\rho_{Red}}$, $\eta = \frac{2(\rho^2_{NIR_{0,8}} - \rho^2_{Red}) + 1{,}5\rho_{NIR_{0,8}} + 0{,}5\rho_{Red}}{\rho_{NIR_{0,8}} + \rho_{Red} + 0{,}5}$	[Pinty, Verstraete, 1992; Verstraete, Pinty, 1996]
NBR2	$NBR2 = \frac{\rho_{SWIR_{1,6}} - \rho_{SWIR_{2,2}}}{\rho_{SWIR_{1,6}} + \rho_{SWIR_{2,2}}}$	https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-normalized-burn-ratio-2
$NDSI_{Red}$	$NDSI_{Red} = \frac{\rho_{Red} - \rho_{SWIR_{16}}}{\rho_{Red} + \rho_{SWIR_{16}}}$	[Dozier, 1989]
NDVI	$NDVI = \frac{\rho_{NIR_{0,8}} - \rho_{Red}}{\rho_{NIR_{0,8}} + \rho_{Red}}$	[Tucker, 1979]
SWVI (mNDMI)	$SWVI = \frac{\rho_{NIR_{0,8}} - \rho_{SWIR_{1,6}}}{\rho_{NIR_{0,8}} + \rho_{SWIR_{1,6}}}$	[Fraser et al., 2000]
VI64 (*неименованный*)	$VI64 = \frac{\rho_{SWIR_{1,2}} - \rho_{SWIR_{2,2}}}{\rho_{SWIR_{1,2}} + \rho_{SWIR_{2,2}}}$	[Giglio et al., 2009, 2025]
MNDWI	$MNDWI = \frac{\rho_{green} - \rho_{SWIR_{2,2}}}{\rho_{green} + \rho_{SWIR_{2,2}}}$	[Xu, 2006]



Доп. слайды: валидация

Валидационные метрики

Параметр	Валид. гари	Валид. нет гарей	**Валид.** всего
Продукт, есть гари	A_{bMatch}	A_{Comm}	A_{bProd}
Продукт, нет гарей	A_{Om}	$A_{ubMatch}$	A_{ubProd}
Продукт, всего	A_{bValid}	$A_{ubValid}$	A_{total}

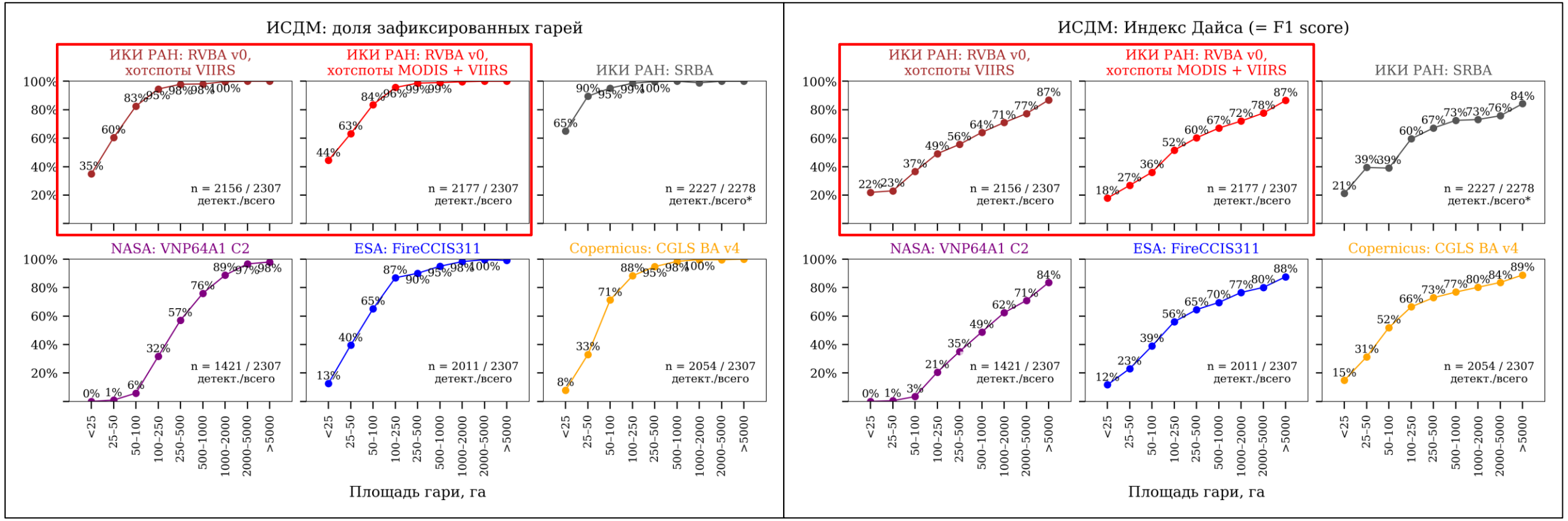
Метрика	Английское название	Формула
Ложные площади, %	Commission error (C_e)	$C_e = \frac{A_{Comm}}{A_{bProd}}$
Пропущенные площади, %	Omission error (O_e)	$O_e = \frac{A_{Om}}{A_{bValid}}$
Систематическое отклонение, %	Relative bias ($relB$)	$relB = \frac{A_{Comm} - A_{Om}}{A_{bValid}}$
Коэф./индекс Дайса-Сёренсена*	Dice coefficient (DC)	$DC = \frac{2A_{bMatch}}{2A_{bMatch} + A_{Comm} + A_{Om}}$

* Для случаев бинарной классификации показатель индекса Дайса **равен** показателю **F1 score**

Доп. слайды: валидация

ИСДМ-Рослесхоз:
Доля фиксируемых гарей и точность оценки площади

ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН



* **SRBA**: не учитываются гари в необрабатываемых тайлах MODIS

Валидационные метрики см. доп. слайд

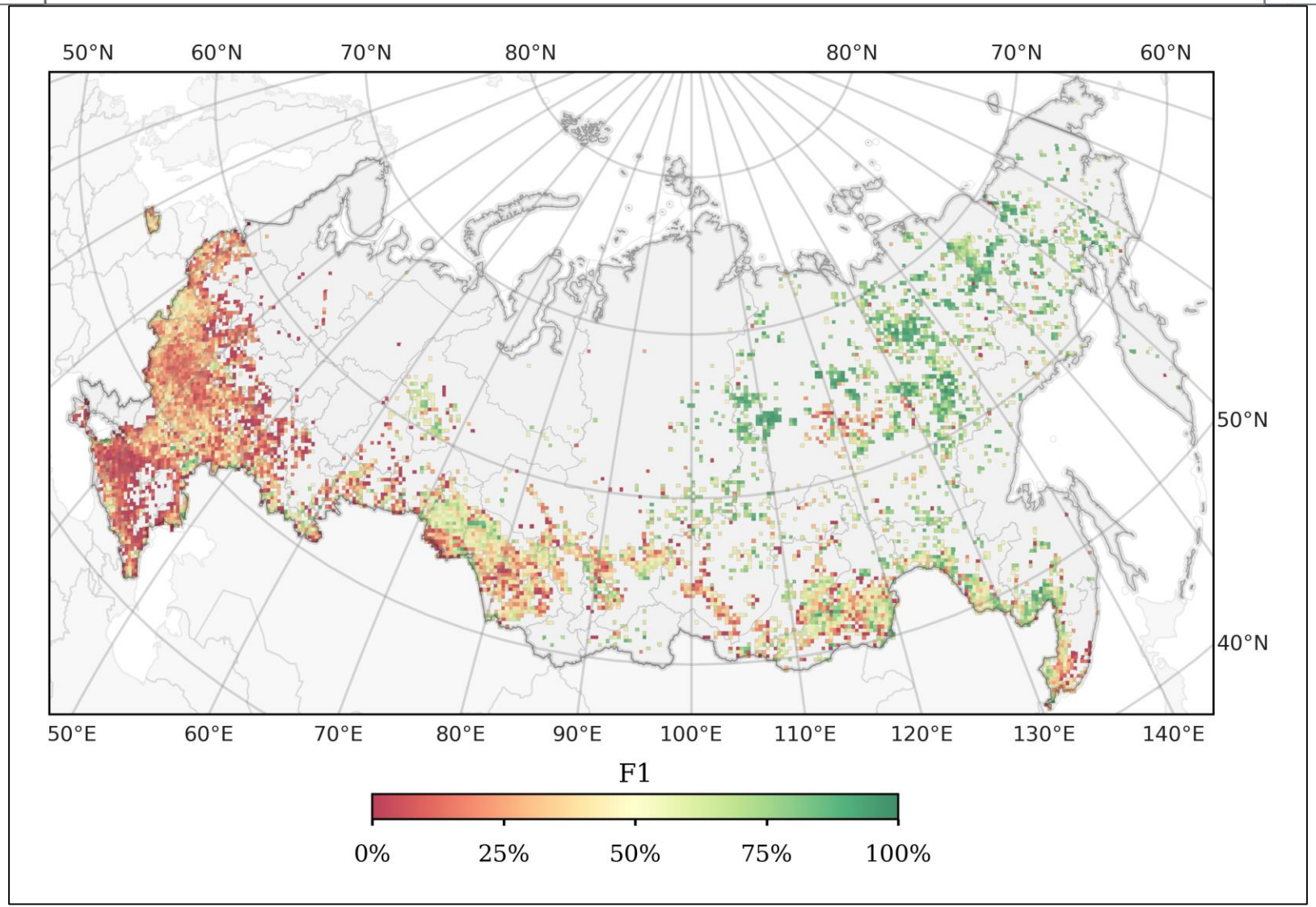
- F1 score = индекс Дайса для случая бинарной классификации
- Метрики точности рассчитаны *по площади*, а не по кол-ву
- ! Показатели не характеризуют *все* гари на терр. России

Доп. слайды: валидация

Индекс Дайса (F1 score) RVBA v0, хотспоты MODIS + VIIRS

Выборка Gluskov et al., 2021], ячейки стороной 25 км, >2 км гарей

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

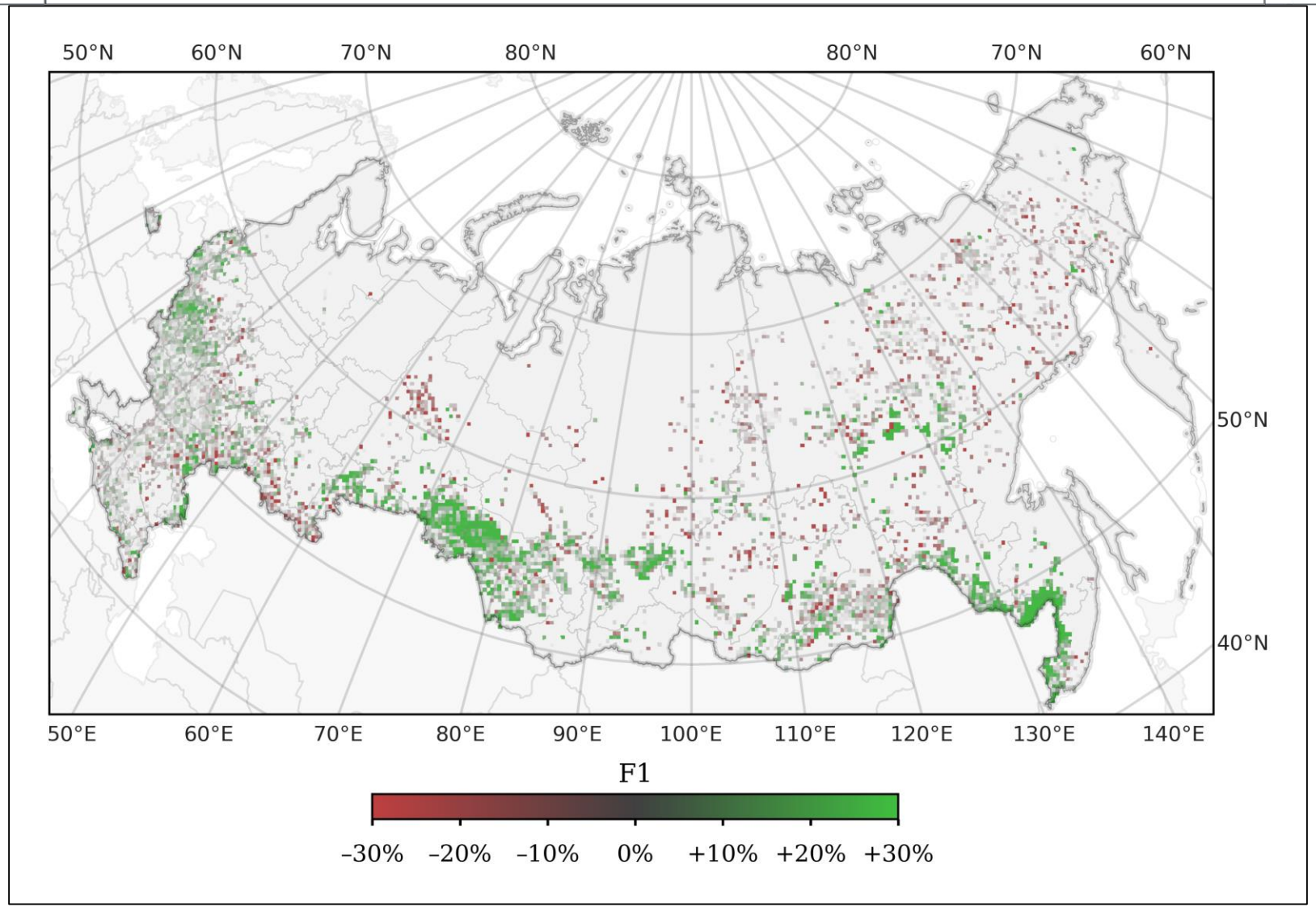


Доп. слайды: валидация

Разность индекса Дайса (F1) ИКИ РАН RVBA v0 vs SRBA

Положительные значения: F1 у RVBA v0 выше

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН



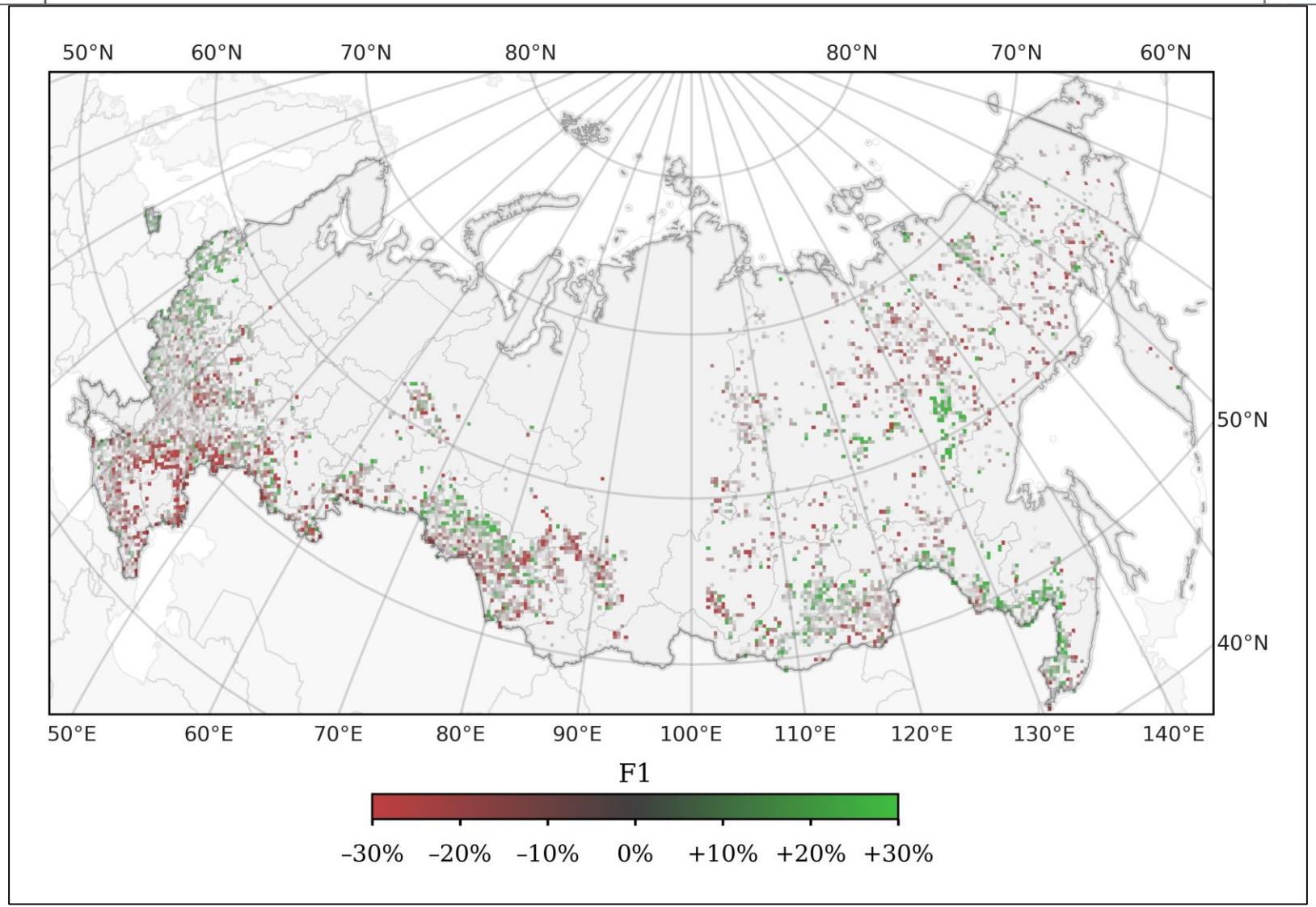
Сравнение с ESA FireCCIS3 см. доп. слайд

Доп. слайды: валидация

Разность индекса Дайса (F1) ИКИ РАН RVBA v0 vs ESA FCS311

По [Glushkov et al., 2021]; положительные значения: F1 у RVBA v0 выше

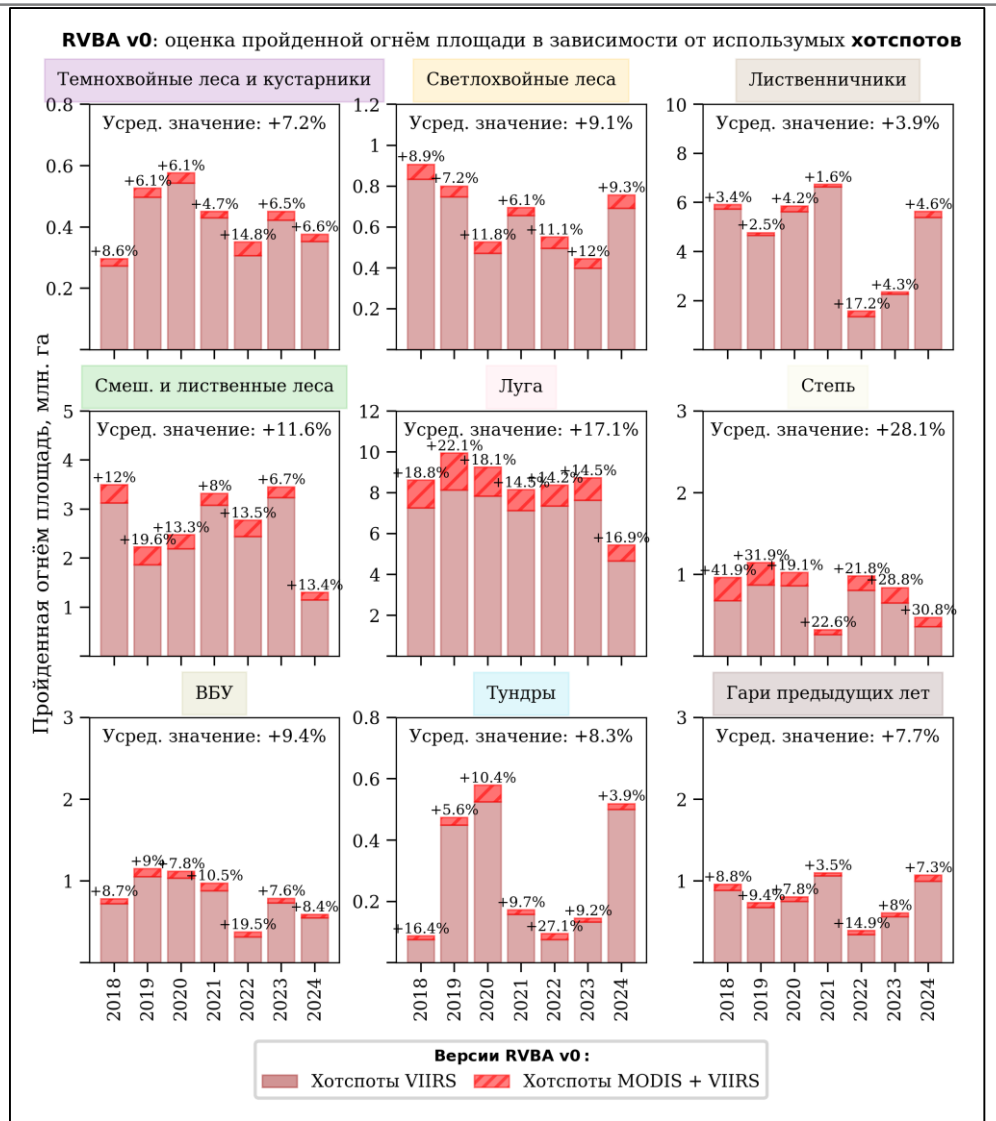
ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН



Доп. слайды: результаты

RVBA v0: Хотспоты VIIRS vs MODIS + VIIRS

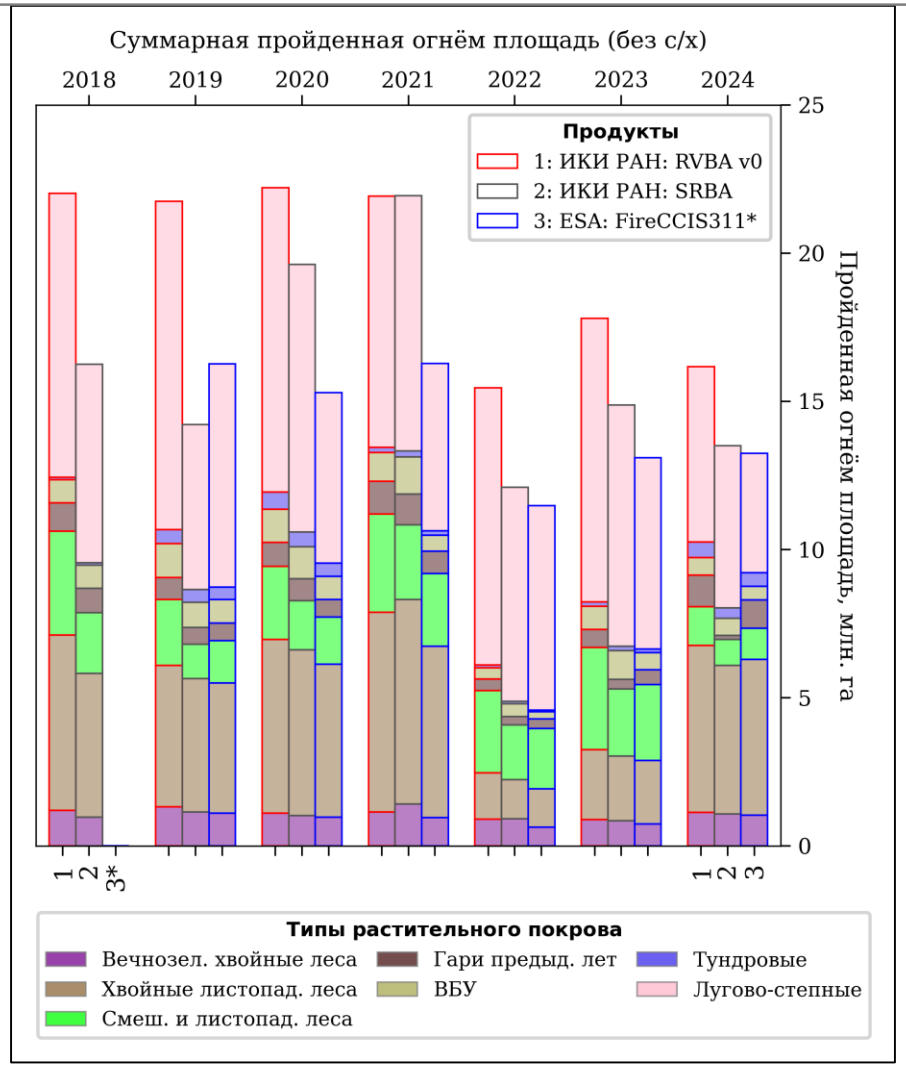
ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН



Доп. слайды: результаты

Пройденная огнём площадь за 2018–2024 гг.

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

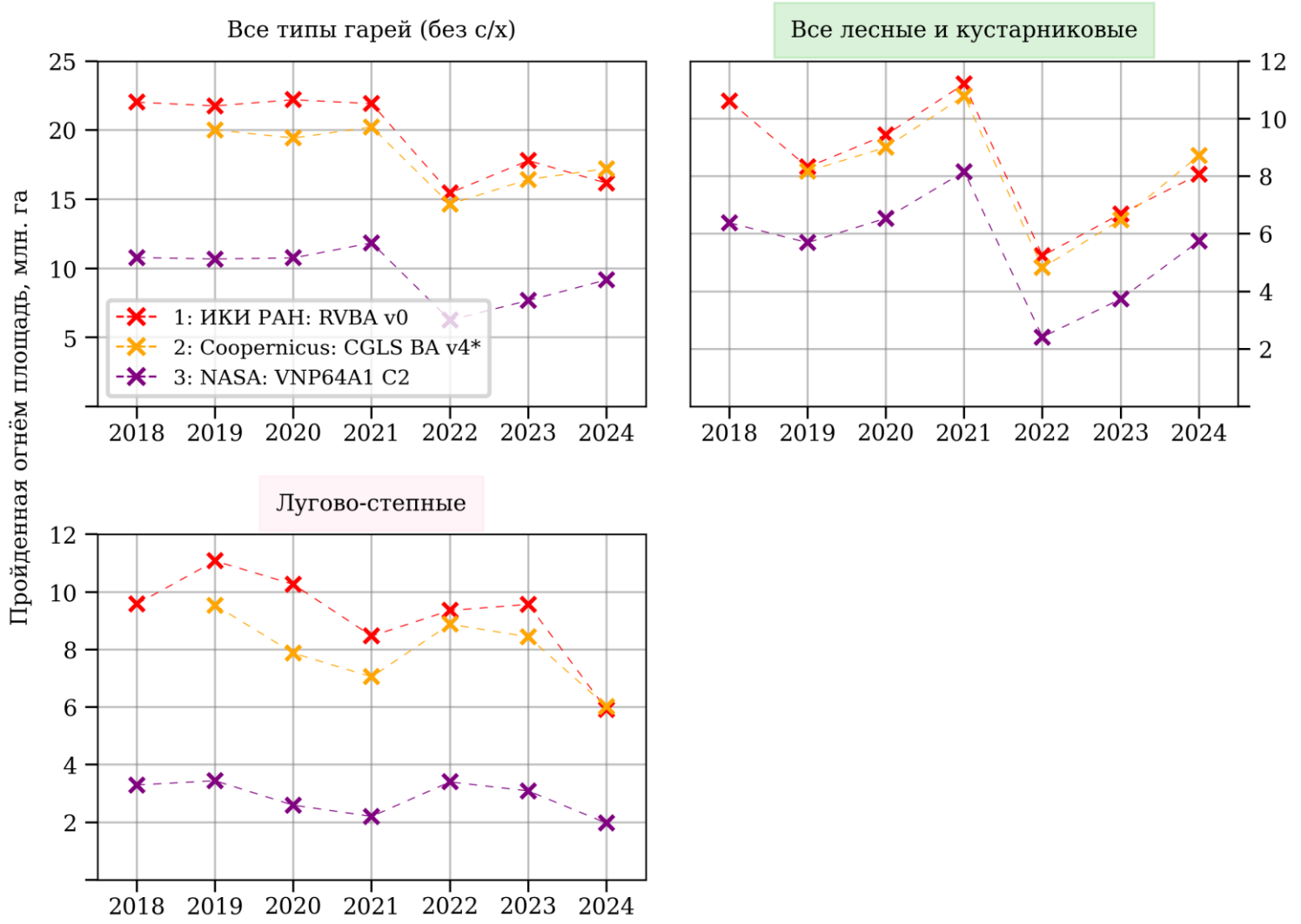


* ESA FireCCIS311: н/д за 2018 г.

Доп. слайды: результаты

Пройденная огнём площадь за 2018–2024 гг.

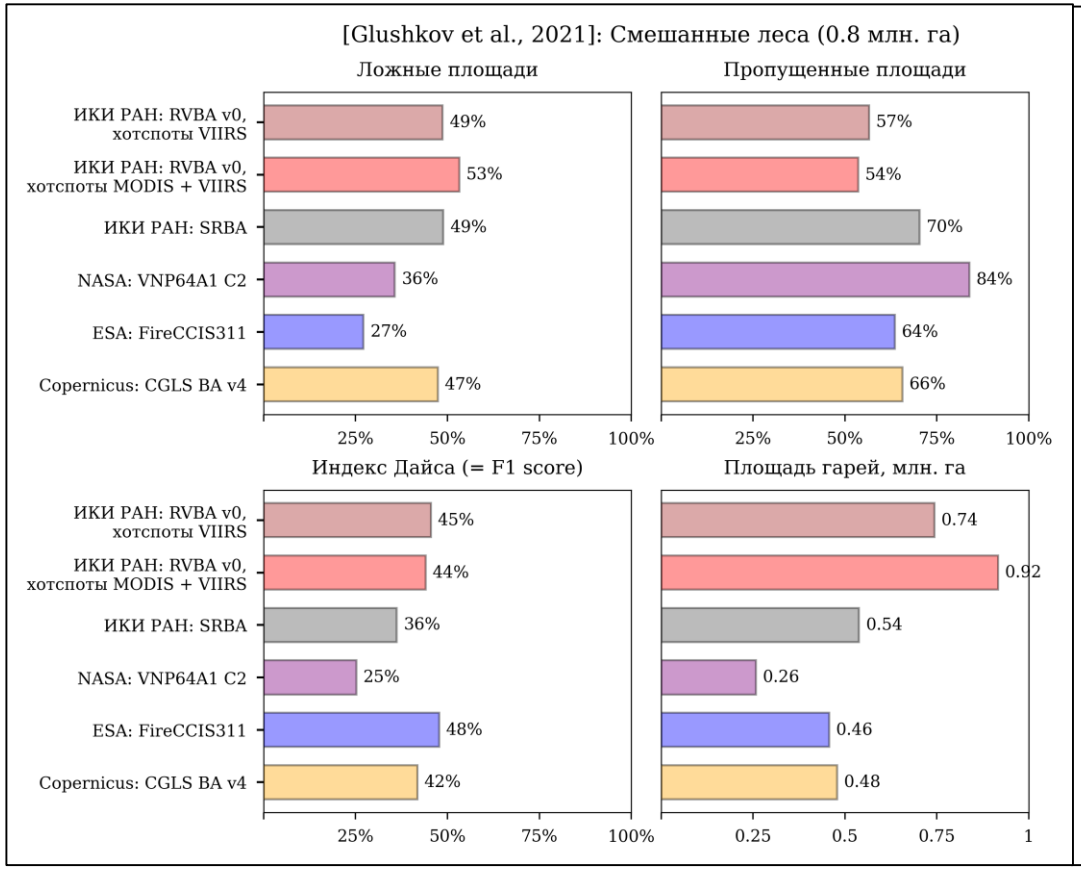
ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

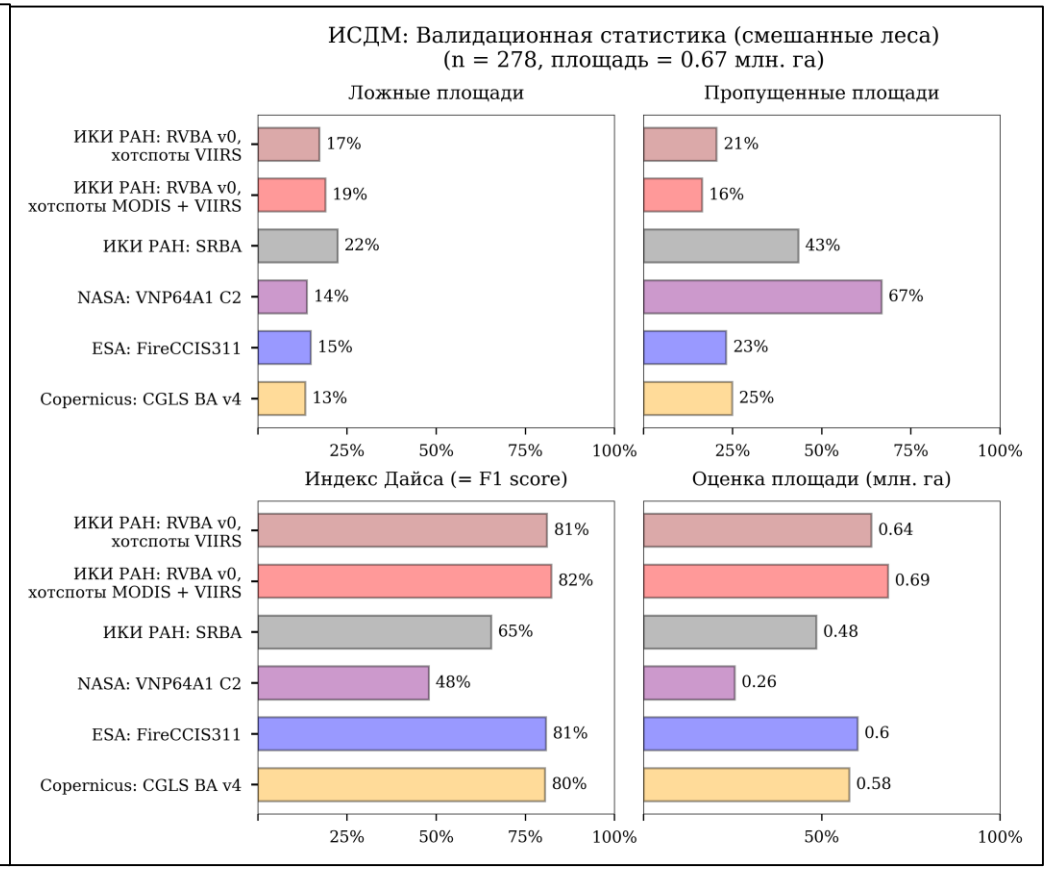


* Copernicus CGLS BA v4: н/д за 2018 г.

Доп. слайды: результаты

Результаты валидации для смешанных лесов

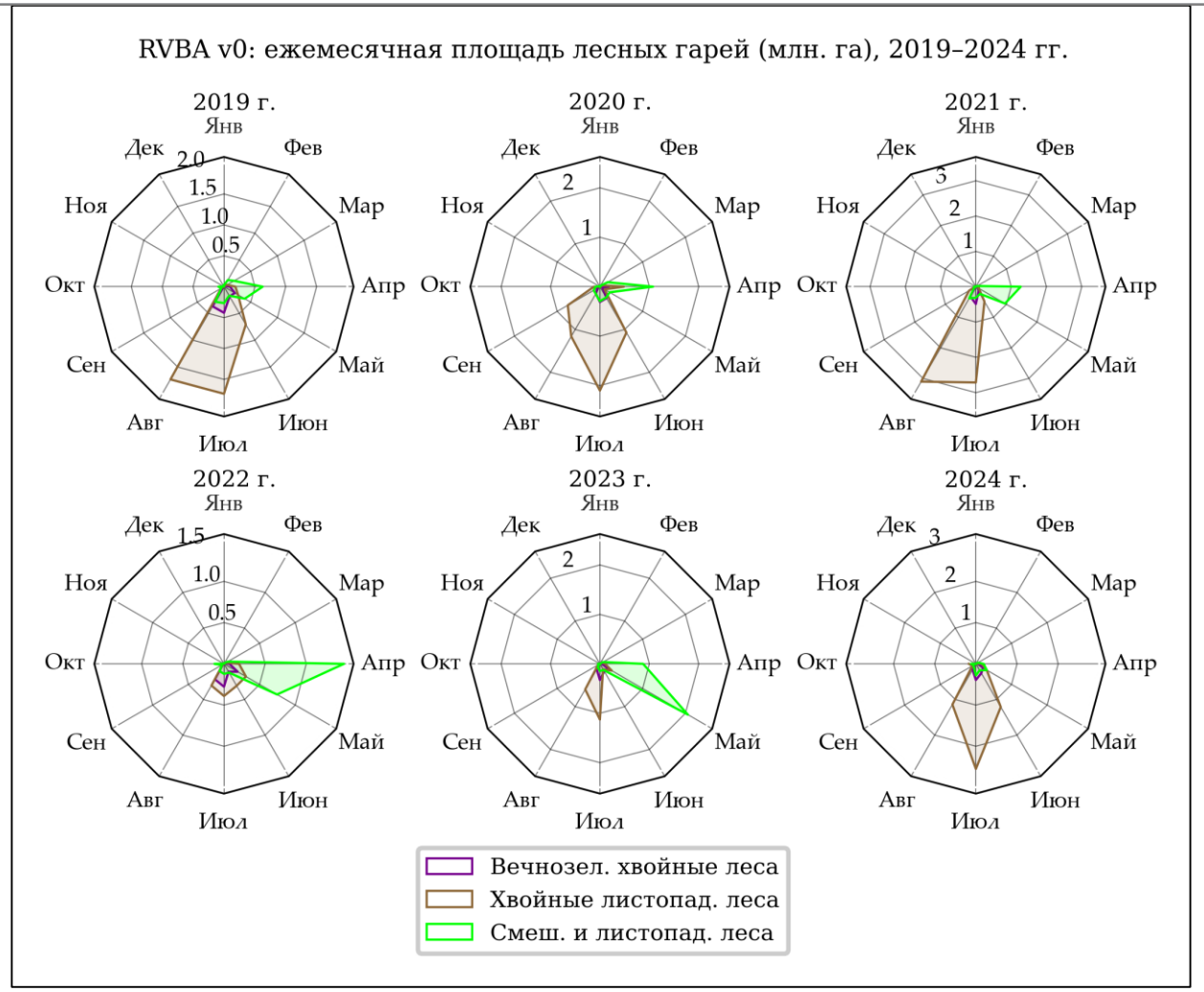




Доп. слайды: результаты

RVBA v0: ежемесячная статистика по лесным гарям

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН



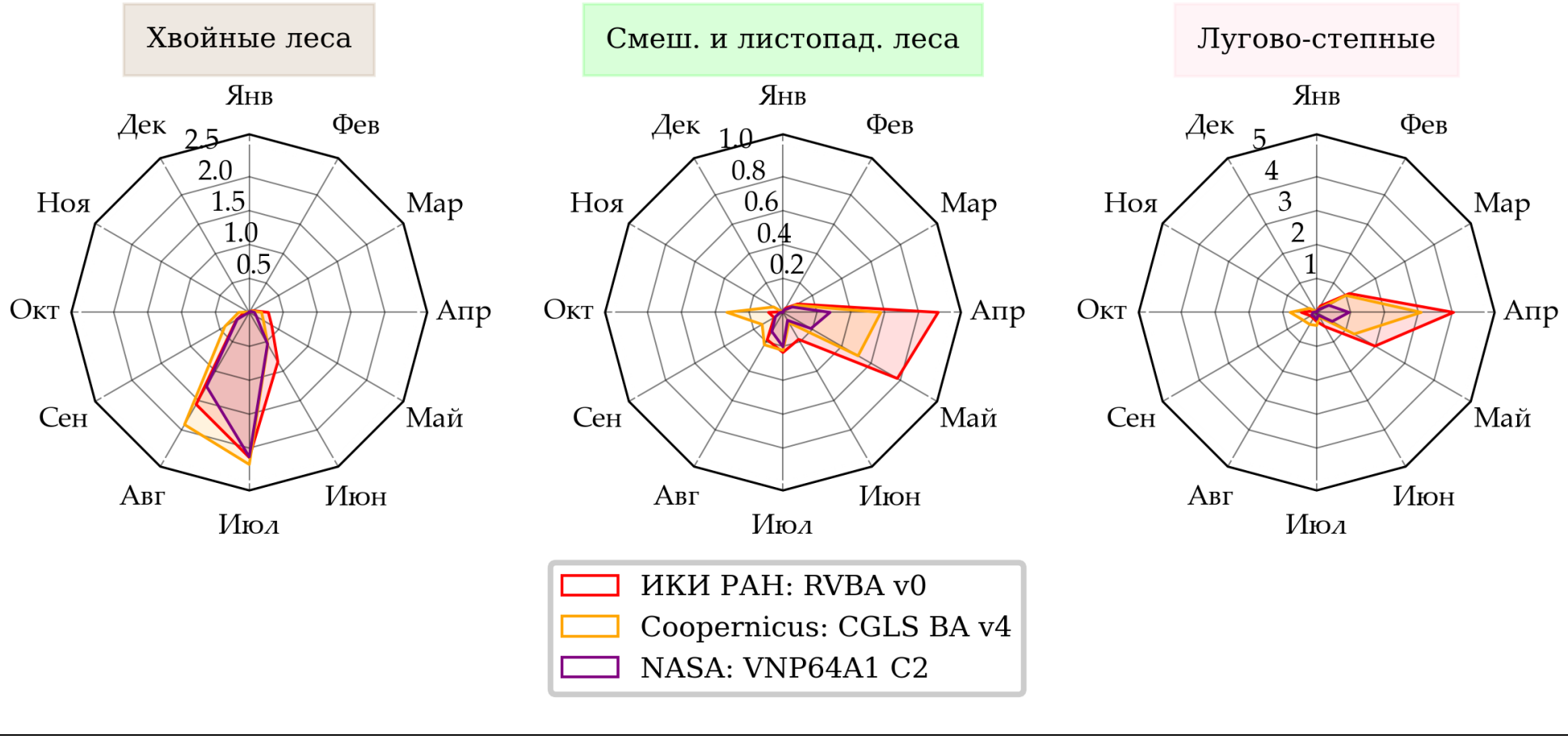
! Масштаб осей различается

Доп. слайды: результаты

RVBA v0: ежемесячная статистика по лесным гарям

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

Среднеежемесячная площадь гарей (млн. га), 2019–2024 гг.

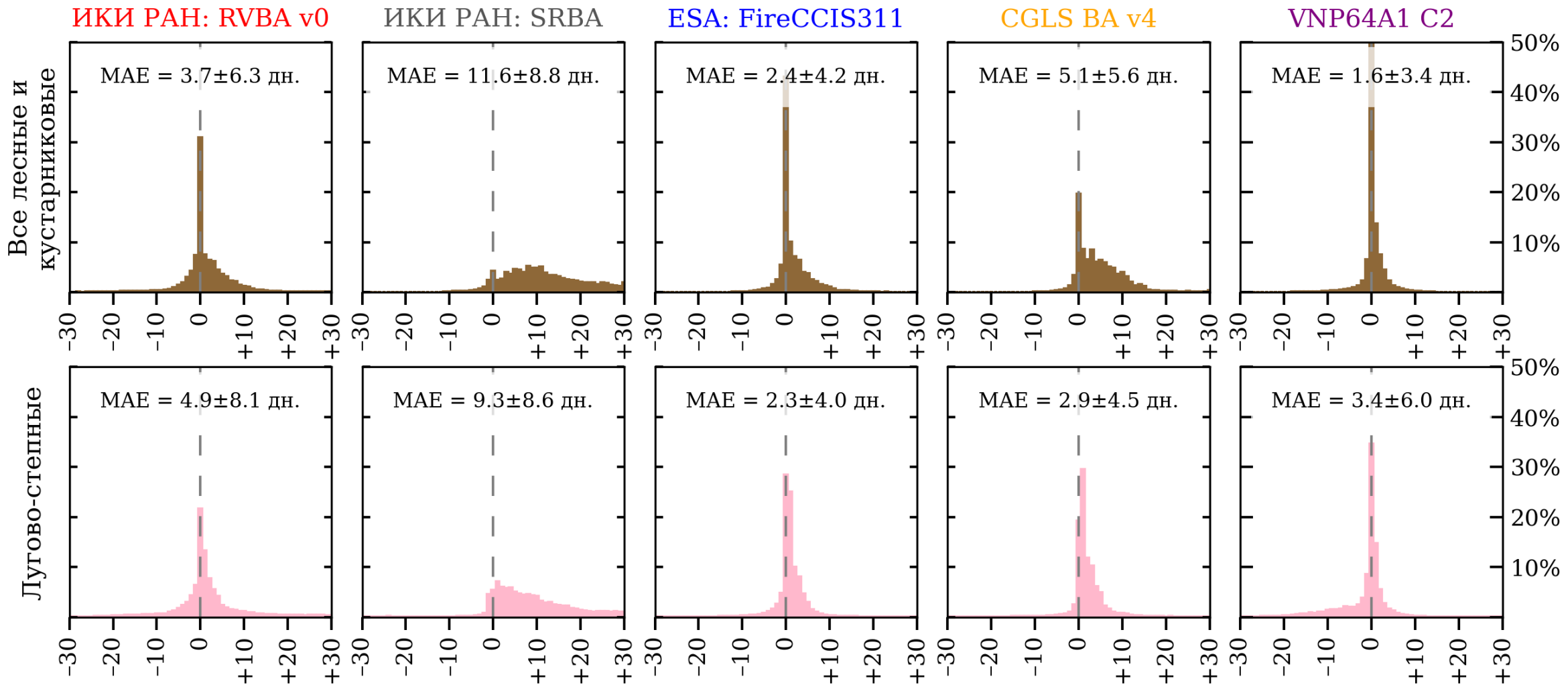


! Масштаб осей различается

Доп. слайды: результаты

Временная точность: все продукты

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН



Доп. слайды: обсуждение

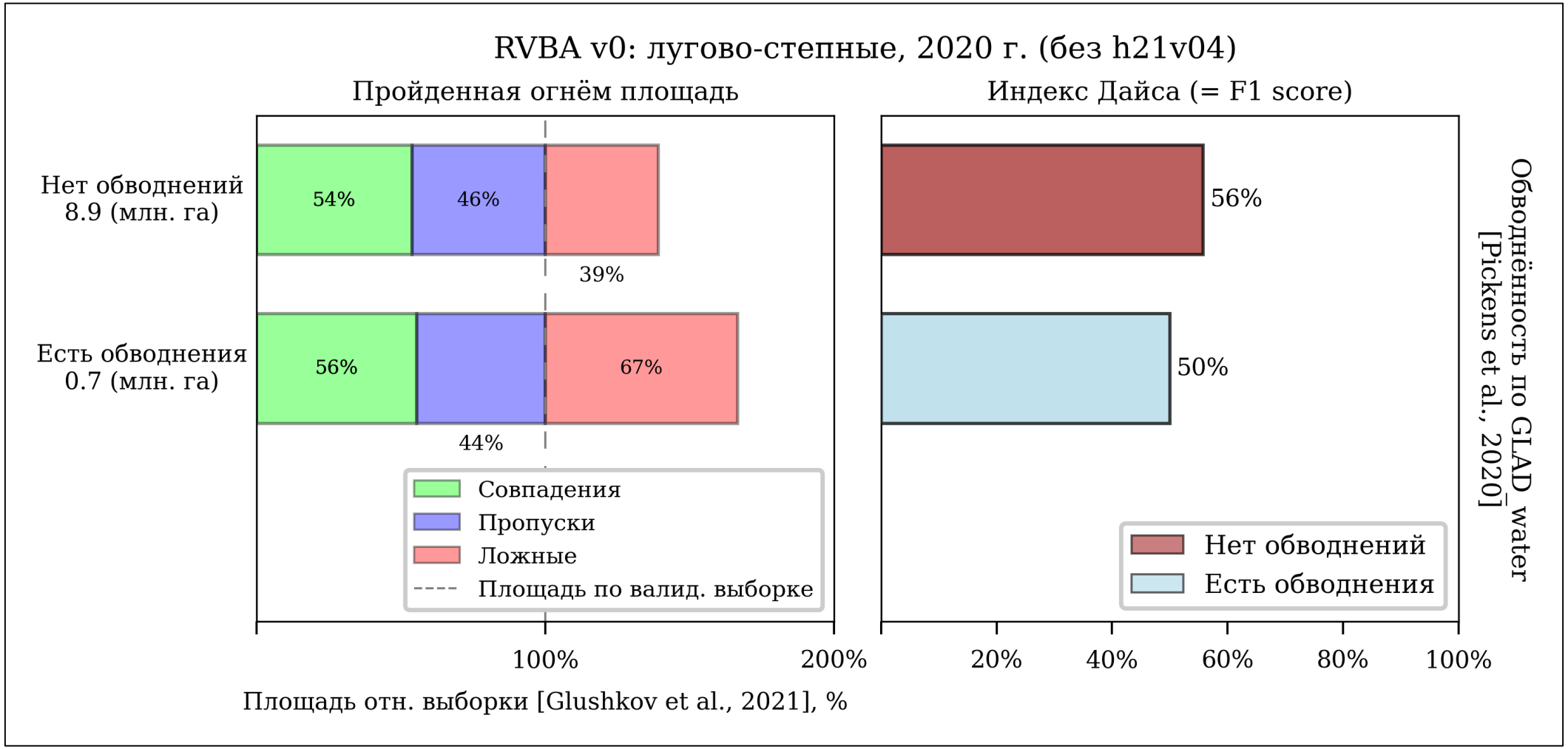
Другие выявленные проблемы

1. **Обводнения:** ошибочное выделение водных разливов (подробнее см. след. слайд)
   - Причина: резкое, но длительное снижение КСЯ NIR (а следовательно индекса GEMI, используемого в RVBA)
   - Возможное решение: постпроцессинг-анализ КСЯ SWIR-диапазонов или вегетационных индексов вроде MNDWI: заметное снижение $SWIR_{22}$ при обводнении vs незначительные изменения в случае гарей [Roy et al., 2005]
2. **Заболоченные участки:** ложное детектирование в весенний период
   - Причина: падение КСЯ NIR после снеготаяния *(за счёт переувлажнения почвы?)*
   - Использованное решение: по большей части устраняется на этапе фильтрации
3. **Нет «хотспотов» — нет гарей**: пропуск гарей без сопутствующих хотспотов
   - Возможное решение: доп. источники хотспотов Sentinel-3 SLSTR, Fengyun-3D MERSI-II и «Метеор» МСУ-МР (генерируются в ИКИ РАН [Лозин, Лупян, 2025], однако данные продукты не финализированы)
4. **Осенняя фенология:** предотвращённые ошибочные срабатывания
   - Причина: резкое снижение КСЯ NIR листопадных лесов в осенний период
   - Использованное решение: жёсткий порог → фиксация осенних гарей только по отклонению от многолет. нормы

Доп. слайды: обсуждение

Ошибочная фиксация обводнений

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН





Список литературы

Продукты, использованные в алгоритме / при валидации

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

- **VNP09**: Roger J. C., Ray J. P., Vermote E. F., Devadiga S. Suomi-NPP VIIRS Surface Reflectance User's Guide. V2 Reprocessing (NASA Land SIPS). NASA. 2023. 45 p. https://lpdaac.usgs.gov/documents/1657/VNP09_User_Guide_V2.pdf.
- **Маски шумов VNP09**: Миклашевич Т. С., Барталев С. А., Егоров В. А. Развитие предварительной обработки данных спутниковых наблюдений приборов VIIRS и MODIS для задачи мониторинга растительного покрова // Материалы 19-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». М.: ИКИ РАН, 2021. С. 366. DOI 10.21046/19DZZconf-2021a.
- **RLC v5.7.2**: Барталев С. А., Егоров В. А., Жарко В. О., Лупян Е. А., Плотников Д. Е., Хвостиков С. А., Шабанов Н. В. Спутниковое картографирование растительного покрова России. М.: ИКИ РАН, 2016. 208 с.
- **MCD14ML**: Giglio L., Schroeder W., Hall J. V., Justice C. O. MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide. Revision C. NASA. 2020. 63 p. https://modis-fire.umd.edu/files/MODIS_C6_Fire_User_Guide_C.pdf.
- **VNP14IMGML**: Schroeder W., Giglio L., Csiszar I., Tsidulko M. Algorithm Theoretical Basis Document For NOAA NDE VIIRS I-band (375m) Active Fire. V 1.0. NOAA. 2020. 36 p. https://www.star.nesdis.noaa.gov/jpss/documents/ATBD/ATBD_Iband_ActiveFires_v1.0.pdf.
- **Валидация**:
  - Кашницкий А. В., Лупян Е. А., Барталев С. А. и др. Оптимизация интерактивных процедур картографирования гарей в информационных системах дистанционного мониторинга природных пожаров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 4. С. 7–16.
  - Kashnitskii A. V., Balashov I. V., Saigin I. A. et al. Research database of burnt areas over Russia based on high resolution remote sensing data // CEUR Workshop Proceedings. Proceedings of the All-Russian Conference With International Participation "Spatial Data Processing for Monitoring of Natural and Anthropogenic Processes" (SDM-2021), 2021. V. 3006. P. 108–115. DOI: 10.25743/SDM.2021.79.43.015.
  - Glushkov I., Zhuravleva I., McCarty J. L. et al. Spring fires in Russia: results from participatory burned area mapping with Sentinel-2 imagery // Environmental Research Letters. 2021. V. 16. Iss. 12. Article 125005. DOI: 10.1088/1748-9326/ac3287.



Список литературы

Продукты картографирования гарей

ИКИ ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

- ИКИ РАН **RVBA v0** — алгоритм: Матвеев А. М., Барталев С. А., Егоров В. А. Адаптация алгоритма картографирования гарей FireCCIS311 для данных VIIRS на территории России. // Материалы XIII Международной научной конференции «Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли». Красноярск: СФУ, 2026 [в печати].
- ИКИ РАН **SRBA**: Барталев С. А., Егоров В. А., Ефремов В. Ю., Лупян Е. А., Стыценко Ф. В., Флитман Е. В. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 9–26.
- Copernicus **CGLS BA v4**: Padilla M., Ramo R., Gomez-Dans J. L. et al.. Near-real time monitoring of burned area at global scale based on deep learning // Intern. J. Remote Sensing, 2025. V. 46. No. 16. pp. 5996–6038. DOI: 10.1080/01431161.2025.2528256.
- ESA **FireCCIS311**:
  - Lizundia-Loiola, J., Franquesa, M., Khairoun, A., Chuvieco, E. Global burned area mapping from Sentinel-3 Synergy and VIIRS active fires // Remote Sensing of Environment. 2022. V. 282. Article 113298. DOI: 10.1016/j.rse.2022.113298.
  - Khairoun A., Lizundia-Loiola J., Chuvieco E., Pettinari M. L., Storm T., Boettcher M., Kirches G. ESA Climate Change Initiative – Fire_cci D2.2 Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) – SYN. 2023. 33 p. https://climate.esa.int/media/documents/Fire_cci_D2.2.2_ATBD_SFDL_v1.2.pdf.
- NASA **VNP64A1 C2**: Giglio L., Boschetti L., Roy D. P. et al. The NASA VIIRS burned area product, global validation, and intercomparison with the NASA MODIS burned area product // Remote Sensing of Environment. 2025. V. 331. Article 115006. DOI: 10.1016/j.rse.2025.115006.



Список литературы

Вегетационные индексы

- **GEMI**:
  - Pinty B., Verstraete M. M. GEMI: a non-linear index to monitor global vegetation from satellites // Plant Ecology. 1992. V. 101. P. 15–20. DOI: 10.1007/BF00031911.
  - Verstraete M. M., Pinty B. Designing optimal spectral indexes for remote sensing applications // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 1996. V. 34. Issue 5. P. 1254–1265. DOI: 10.1109/36.536541.
- **BAI**: Chuvieco E., Martín M.P., Palacios A., Assessment of different spectral indices in the red-near-infrared spectral domain for burned land discrimination // Int. J. of Remote Sens. 2002. V. 23. P. 5103–5110. DOI: 10.1080/01431160210153129.
- **NDSI**: Dozier J. Spectral Signature of Alpine Snow Cover from the Landsat Thematic Mapper // Remote Sensing of Environment. 1989, V. 28. P. 9–22. DOI: 10.1016/0034-4257(89)90101-6.
- **MIRBI**: Trigg S., Flasse S. An evaluation of different bi-spectral spaces for discriminating burned shrub-savannah // International Journal of Remote Sensing. 2001. V. 22. Issue 13. P. 2641–2647. DOI: 10.1080/01431160110053185.
- **MNDWI**: Xu H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery // International Journal of Remote Sensing. 2006. V. 27. No. 14. P. 3025–3033. DOI: 10.1080/01431160600589179.
- **SWVI** (**NDMI**): Fraser R. H., Li Z., Landry R. SPOT VEGETATION for characterizing boreal forest fires // International Journal of Remote Sensing. 2000. V. 21. Issue 18. P. 3525–3532. DOI: 10.1080/014311600750037534.
- **VI64**: Giglio, L., Loboda T., Roy, D. P., Quayle B., Justice C. O. An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor // Remote Sensing of Environment. 2009. V. 113. P. 408–420. DOI: 10.1016/j.rse.2008.10.006.



Список литературы

Другие источники: ИКИ РАН

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

- Loupian E., Burtsev M., Proshin A. et al. Usage Experience and Capabilities of the VEGA-Science System // Remote Sensing. 2022. V. 14. Iss. 1. Article 77. DOI: 10.3390/rs14010077. [Вега]
- Барталев С. А., Стыценко Ф. В. Спутниковая оценка гибели древостоев от пожаров по данным о сезонном распределении пройденной огнем площади // Лесоведение. 2021. № 2. С. 115–122. DOI: 10.31857/S0024114821020029.
- Лозин Д.В., Лупян Е.А., Барталев С.А., Балашов И.В., Стыценко Ф.В. Оценка повреждений российских лесов пожарами в 21 веке на основе анализа интенсивности горения по данным приборов MODIS // Материалы 22-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2024. С. 188. DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a.
- Лозин Д. В., Лупян Е. А. Метод адаптации алгоритма детектирования пожаров MOD14 для работы с данными различных спутниковых систем // Материалы международной научной конференции "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли". 9-12 сентября 2025 г./ научн. ред. Е.А. Ваганов. Красноярск: СФУ, 2025. С. 197–202.
- Лупян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А. и др. Опыт эксплуатации и развития центра коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных (ЦКП «ИКИ-Мониторинг») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 3. С. 151–170. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-3-151-170. [ЦКП «ИКИ-Мониторинг»]
- Матвеев А. М., Барталев С. А. Анализ пространственной точности продуктов спутникового картографирования гарей на территории России // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. № 5. С. 178–194. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-5-178-194.
- Матвеев А. М., Барталев С. А., Егоров В. А., Сайгин И. А., Стыценко Ф. В., Шинкаренко С. С. Валидация на территории России национальных и глобальных продуктов картографирования повреждённых пожарами ландшафтов по данным ДЗЗ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2025. Т. 22. № 3. С. 9–30. DOI: 10.21046/2070-7401-2025-22-3-9-30.
- Шинкаренко С. С., Барталев С. А., Берденгалиева А. Н., Иванов Н. М. Пространственно-временной анализ горимости пойменных ландшафтов Нижней Волги // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 1. С. 143–157. DOI: 10.21046/2070-7401-2022-19-1-143-157.



Список литературы

Другие источники

ИКИ
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

- Boschetti L., Roy D. P., Justice C. O. Giglio L. Global assessment of the temporal reporting accuracy and precision of the MODIS burned area product // International Journal of Wildland Fire. 2010. V. 19. P. 705–709. DOI: 10.1071/WF09138.
- Cahoon Jr. D. R., Soja A. J., Stocks B. J. et al. Reconstructing wildland fire burned area for Asian Russia (1979–2000) using AVHRR GAC satellite data to provide an improved baseline for assessing long-term change // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2025. V. 230. Pp. 318–345. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2025.09.011.
- Campagnolo M. L., Libonati R., Rodrigues J. A., Pereira J. M. C. A comprehensive characterization of MODIS daily burned area mapping accuracy across fire sizes in tropical savannas // Remote Sensing of Environment. V. 252. 2021. Article 112115. DOI: 10.1016/j.rse.2020.112115.
- Giglio, L., Loboda T., Roy, D. P., Quayle B., Justice C. O. An active-fire based burned area mapping algorithm for the MODIS sensor // Remote Sensing of Environment. 2009. V. 113. P. 408–420. DOI: 10.1016/j.rse.2008.10.006.
- Liu P., Liu Y., Guo X. et al. Burned area detection and mapping using time series Sentinel-2 multispectral images // Remote Sensing of Environment. 2023. V. 296. Article 113753. DOI: 10.1016/j.rse.2023.113753.
- Pickens A. H., Hansen M. C., Hancher M. et al. Mapping and sampling to characterize global inland water dynamics from 1999 to 2018 with full Landsat time-series // Remote Sensing of Environment. 2020. V. 243. Article 111792. DOI: 10.1016/j.rse.2020.111792. [GLAD_water]
- Roy D. P., Jin Y., Lewis P. E., Justice C. O. Prototyping a global algorithm for systematic fire-affected area mapping using MODIS time series data // Remote Sensing of Environment. 2005. V. 97. Pp. 137–162. DOI: 10.1016/j.rse.2005.04.007.
- Zhang X., Zhao T., Xu H. et al. GLC_FCS30D: the first global 30m land-cover dynamics monitoring product with a fine classification system for the period from 1985 to 2022 generated using dense-time-series Landsat imagery and the continuous change-detection method // Earth Syst. Sci. Data. 2024. V. 16 P. 1353–1381. DOI: 10.5194/essd-16-1353-2024. [GLC_FCS30D]