

(КМУ-2025) XXII Конференция молодых ученых
«Фундаментальные и прикладные космические исследования»
Секция «Дистанционное зондирование Земли»
21–23 апреля 2025, ИКИ РАН, Москва

Подробная характеристика точности спутниковых продуктов выявления повреждённых огнём участков на территории России

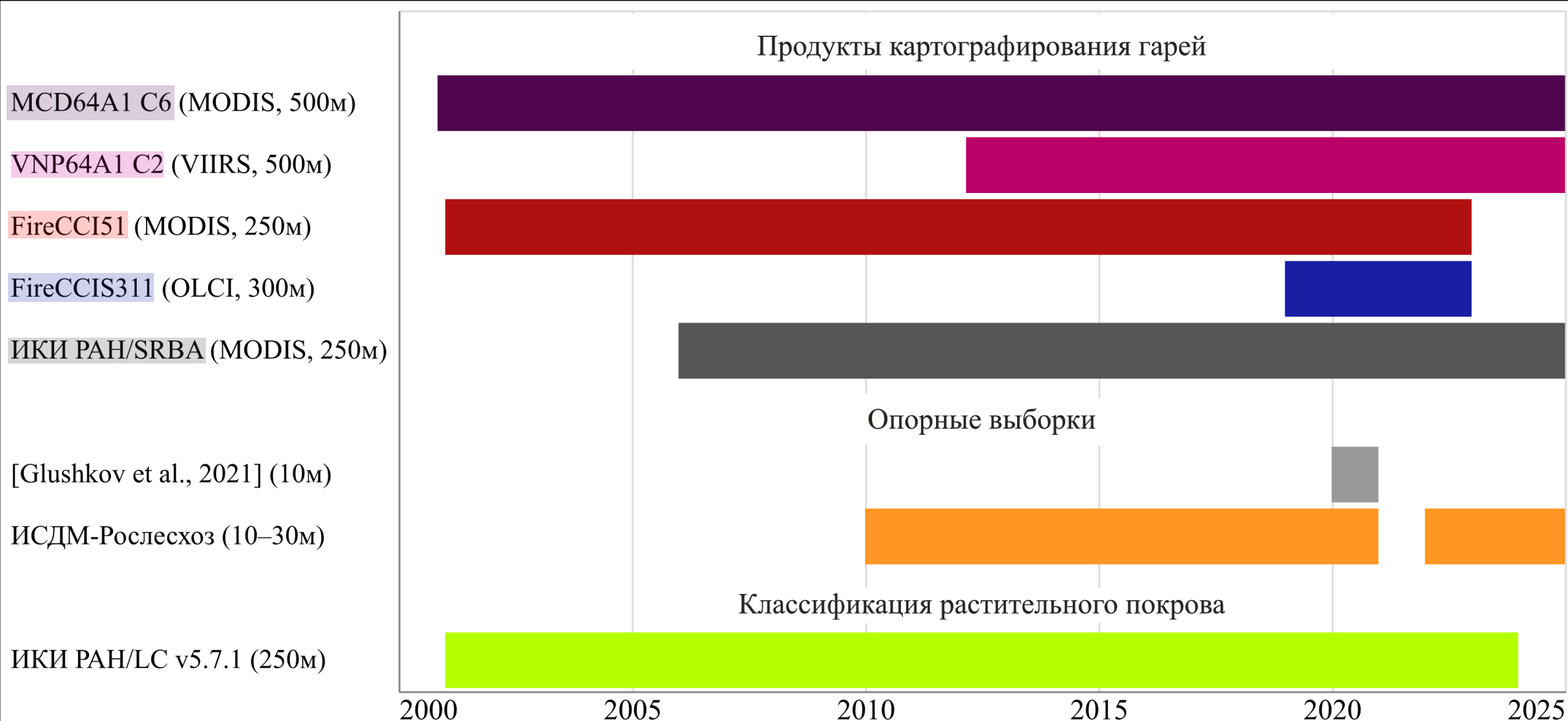
Матвеев А. М., Балашов И. В., Барталев С. А., Егоров В. А.

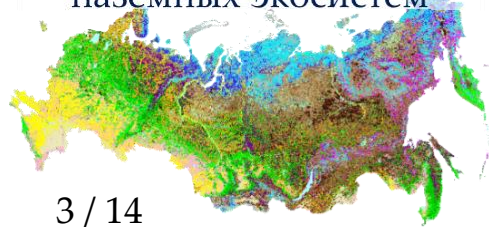
ИКИ РАН, Отд. «Технологии спутникового мониторинга»
Лаб. «Спутниковый мониторинг наземных экосистем»



2 / 14

Использованные данные





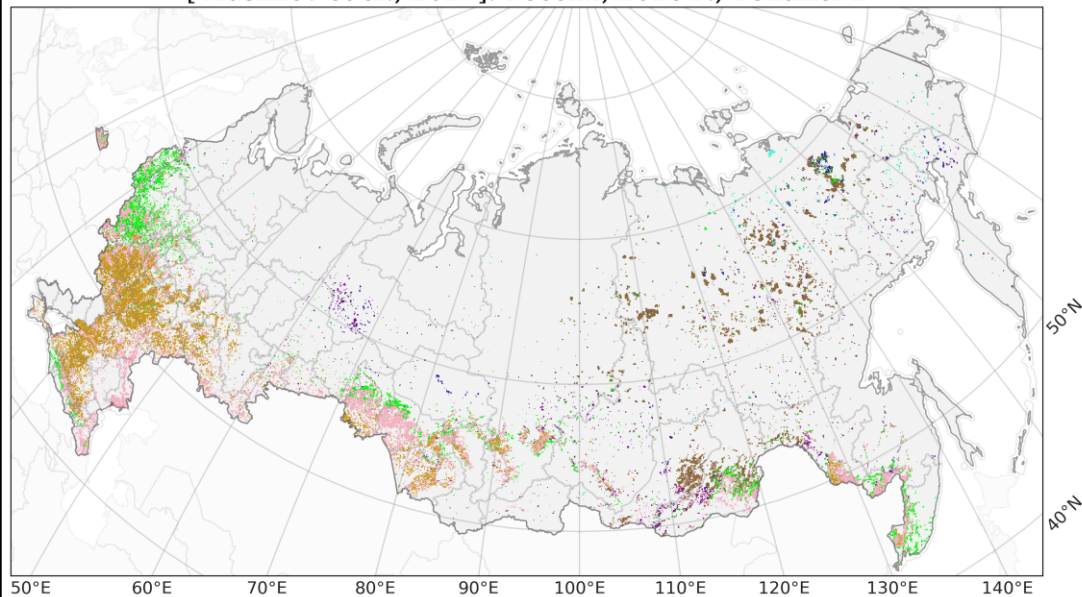
3 / 14

Опорные (валидационные) выборки

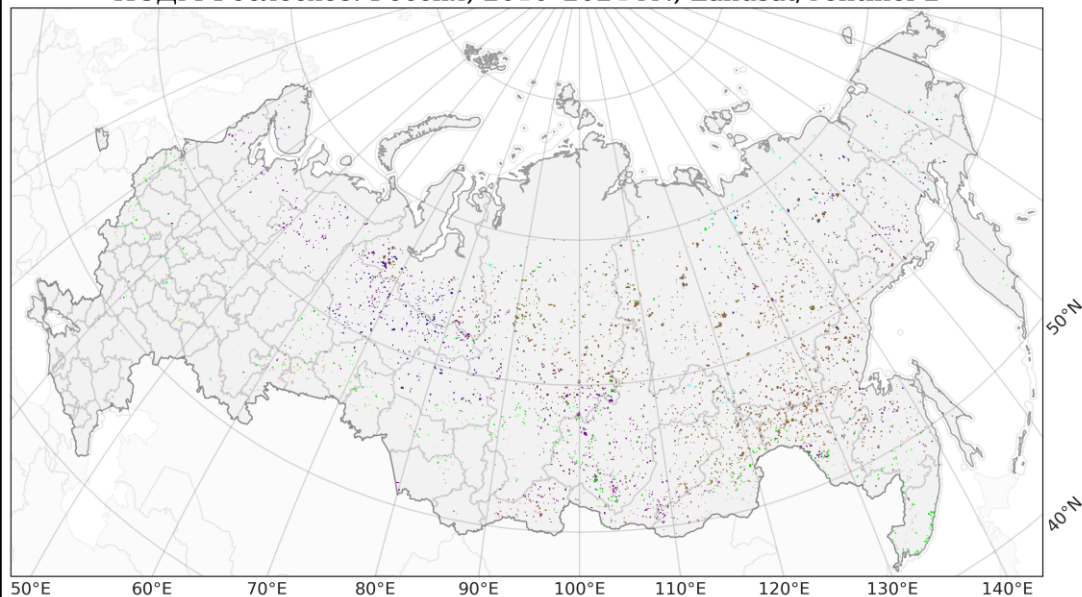
Выборка [Glushkov et al., 2021]:

- Sentinel-2
- Вся Россия, 2020 г.
- $n \approx 145\ 000$ контуров
($245\ 000\ \text{км}^2 = 2,45\ \text{млн. га}$)
- Оценка авторов: ~15%
ложных и ~8%
пропущенных
повреждённых участков
- Выделены *периметры*
(часто без невыгоревших
участков)
- Высокая полнота

[Glushkov et al., 2021]: Россия, 2020 г., Sentinel-2



ИСДМ-Рослесхоз: Россия, 2010–2024 гг., Landsat/Sentinel-2

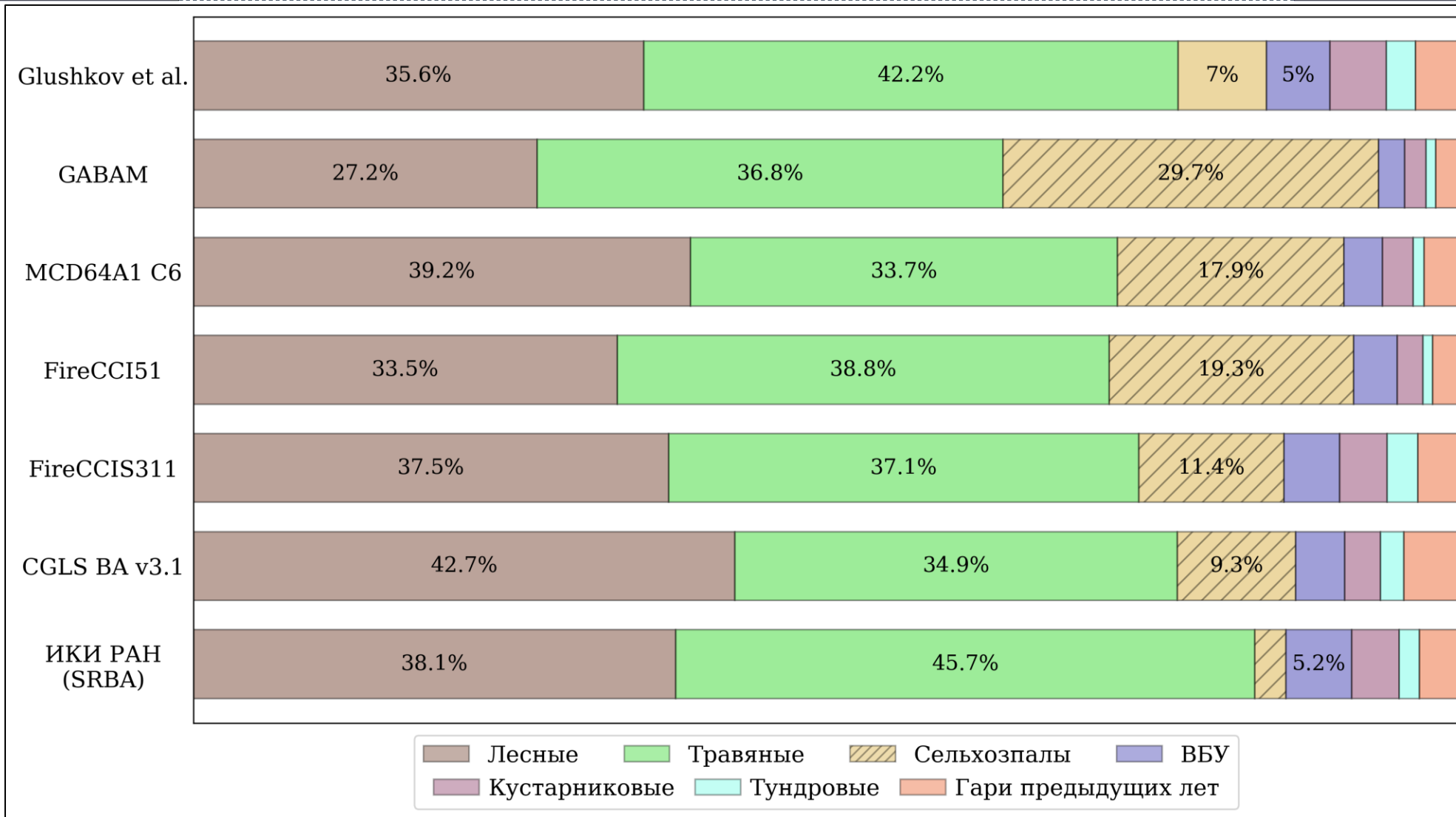


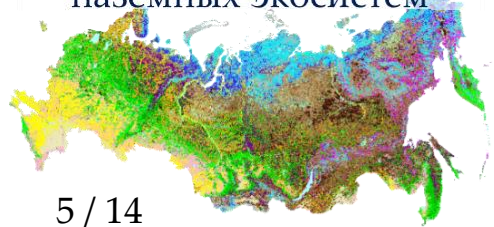
Выборка ИСДМ-Рослесхоз:

- Landsat-7/8/9, Sentinel-2
- Отдельные *гари*
(преобладают *лесные*),
2010–2025 гг.
- $n \approx 5600$ контуров
($60\ 000\ \text{км}^2 = 0,6\ \text{млн. га}$)
- С 2015 г. выделяются
невыгоревшие участки
($n \approx 2200$ контуров)

Пройденная огнём площадь на территории России по типу растительного покрова

- Классификация растительности по карте ИКИ РАН v5.7
 - $S_{\text{лесные}} \approx S_{\text{травяные}} \approx 100$ тыс. км² в год



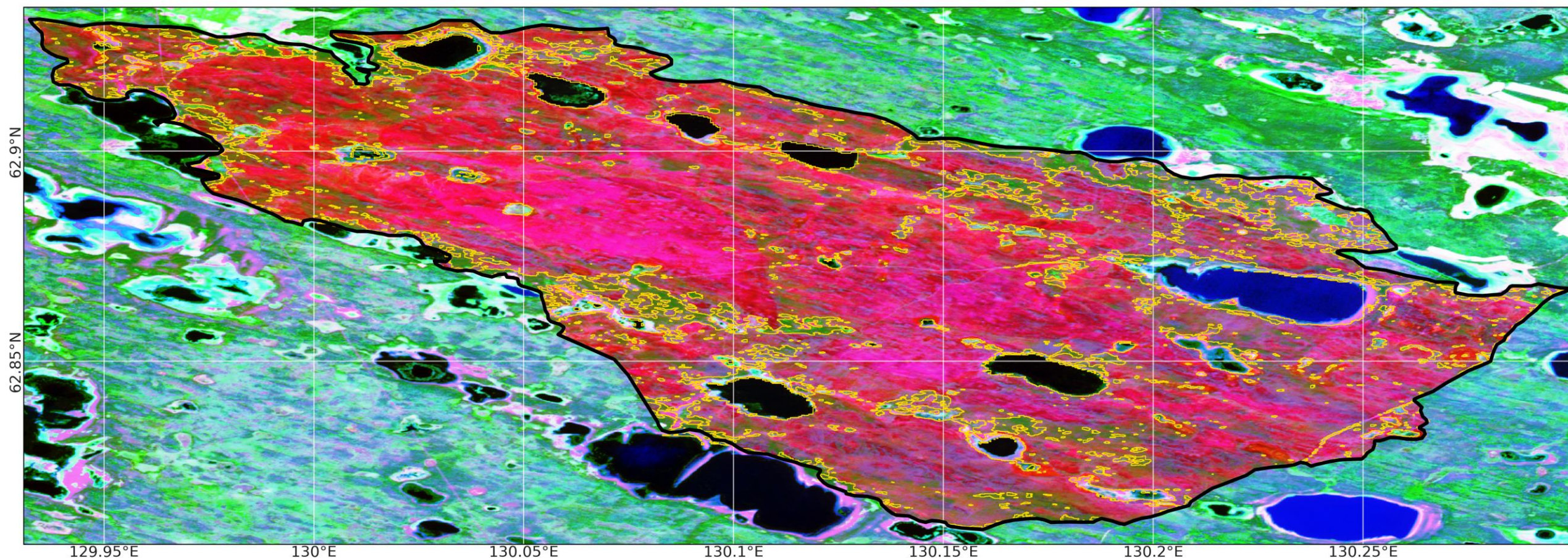


5 / 14

Систематическое отклонение опорной выборки

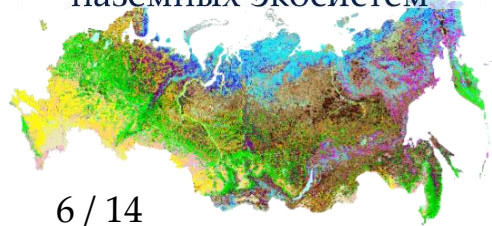
Проблема невыгоревших участков

- [Glushkov et al., 2021] (чёрн.) vs ИСДМ-Рослесхоз (жёлт.)
- Композит Sentinel-2 MSI SWIR_{2,2}—NIR_{0,8}—Blue, Якутия, 07.2020



Валидационные выборки

— ИСДМ-Рослесхоз — [Glushkov et al., 2021]



6 / 14

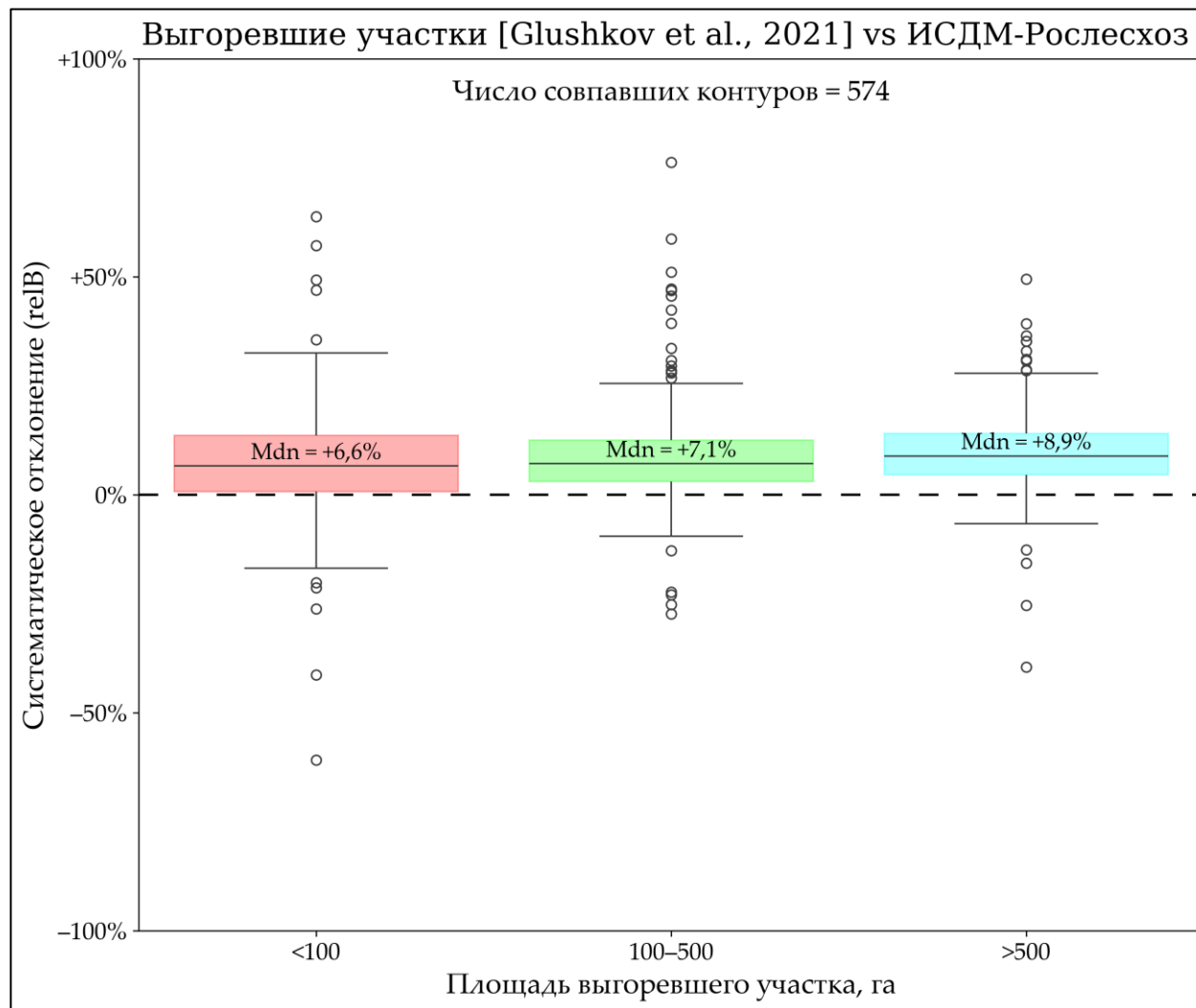
Систематическое отклонение опорной выборки

Проблема невыгоревших участков

См. также [Барталев и др., 2005;
Kolden et al., 2012; Sparks et al., 2015]

Методика сопоставления:

- Выбраны случаи практически полного совпадения контуров обеих выборок за 2020 г.
- Знак «+» означает, что пройденная огнём площадь по [Glushkov et al., 2021] больше ИСДМ-Рослесхоз (“Mdn” = медиана)
- Это оценка, а не валидация, поскольку исходные данные имеют одинаковое пространственное разрешение

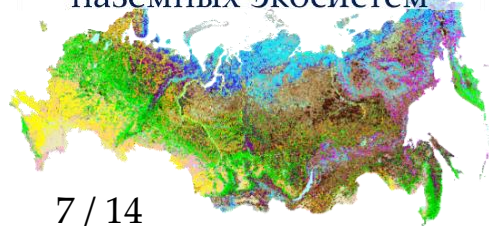


Результаты по выборке [Glushkov et al., 2021]:

- Недоучёт невыгоревших участков → завышение пройденной огнём площади на +6,5–9%
- Водные объекты внутри контуров — +1% (по GLAD-Water [Pickens et al., 2020], повторяемость 75%)

Результаты других работ (по др. опорным выборкам):

- Доля невыгоревших участков 13–35% [Kolden et al., 2012]
- Переоценка площади на +4–17% [Sparks et al., 2015]

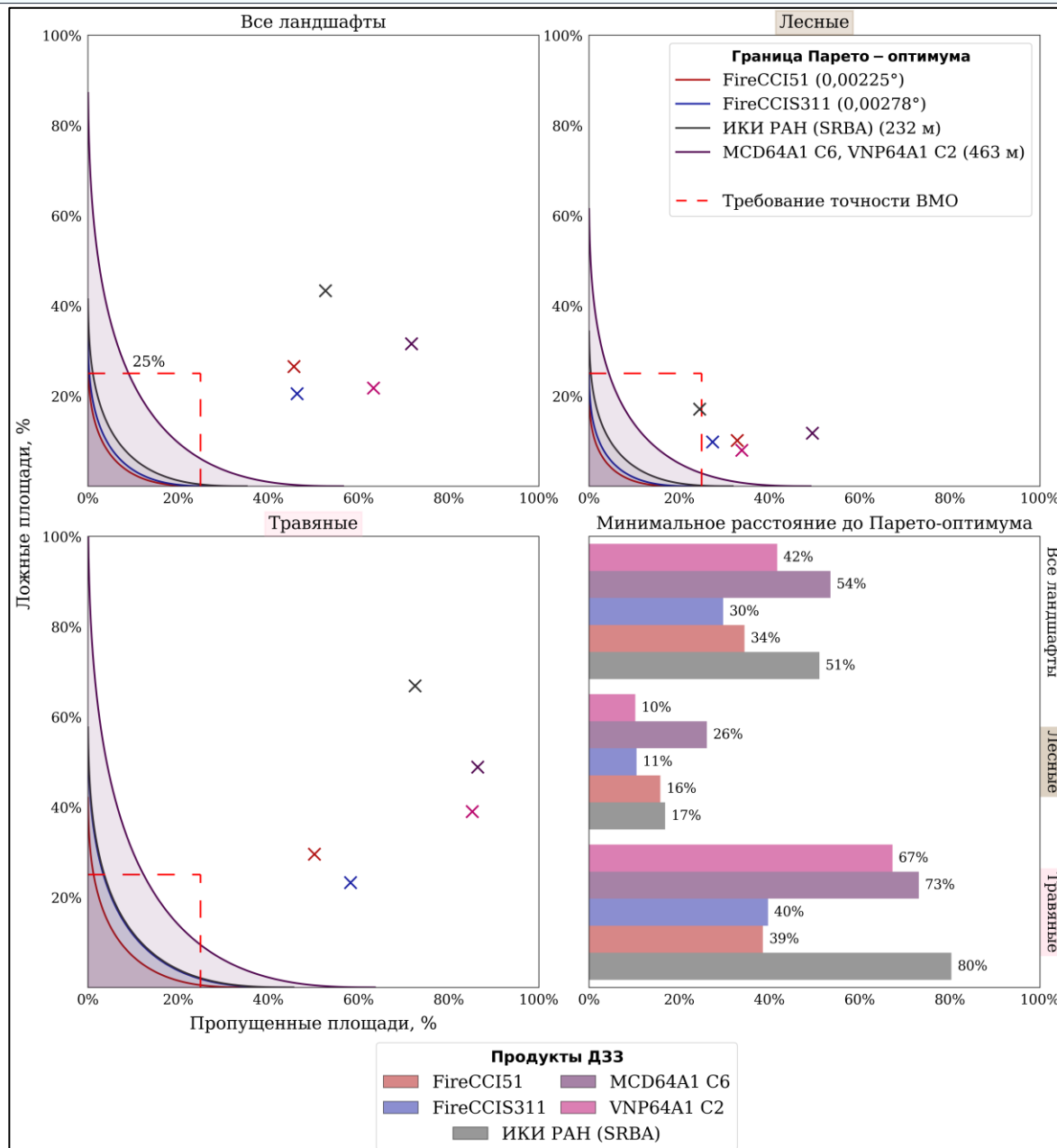


7 / 14

Характеристика алгоритмов продуктов ДЗЗ: Близость к границе Парето-оптимума

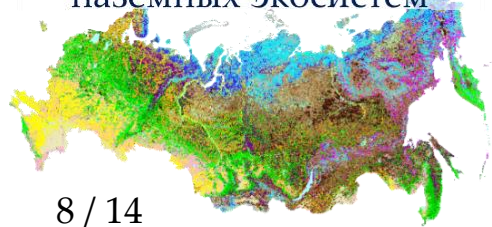
Методика и пояснения:

- Предложено [Boschetti et al., 2004]
- Методика позволяет оценить сами алгоритмы, абстрагируясь от пространственного разрешения исходных данных
- Оценка по выборке [Glushkov et al., 2021]
- «x» — результат валидации продукта [Матвеев и др., 2024]
- Линия — граница Парето-оптимума для конкретного пространственного разрешения
- Красный пунктир — требование точности ВМО (Всемирной метеорологической организации) [GCOS 245, 2022; §9.4.1]



Результаты:

- При выделении повреждённых огнём **лесных** участков точность алгоритмов сопоставима (исключая MCD64A1 C6)
- При выделении повреждённых огнём **травяных** участков точность алгоритмов ESA FireCCI значительно превосходит другие алгоритмы



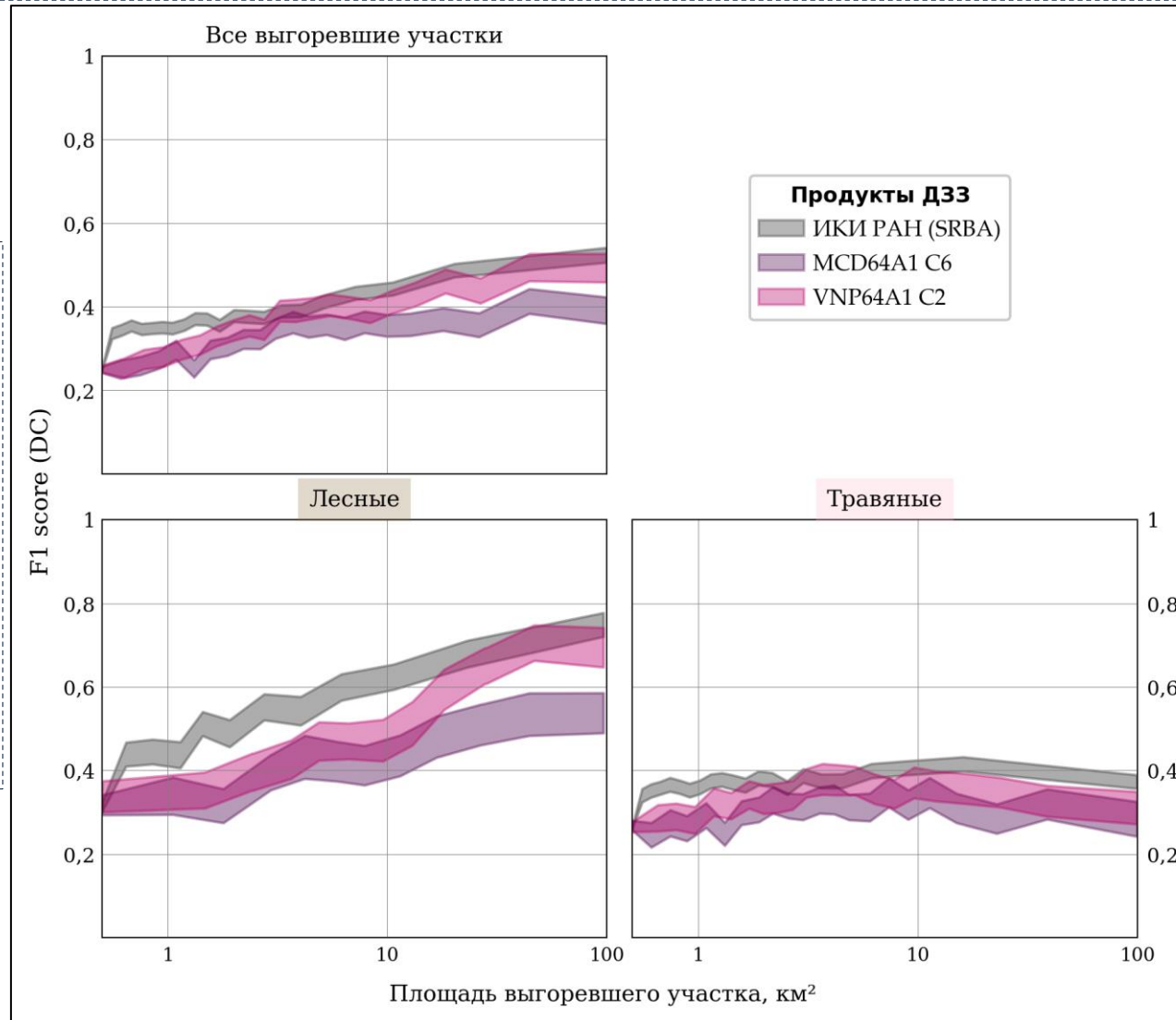
8 / 14

Оценка точности продуктов по площади гари

ИКИ РАН (SRBA), MCD64A1 C6, VNP64A1 C2

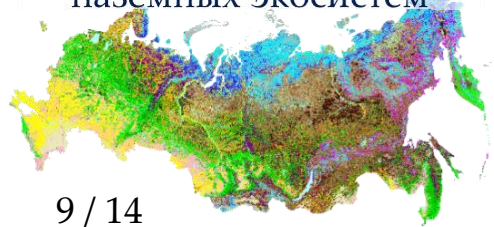
Методика и пояснения:

- Предложено [Campagnolo et al., 2021]
- По выборке [Glushkov et al., 2021], только совпавшие гари
- Представлены 95%-ные доверительные интервалы
- Тип растительного покрова гари по преобладающему классу (>50% площади внутри контура); в противном случае — «смешанная гарь»



Результаты:

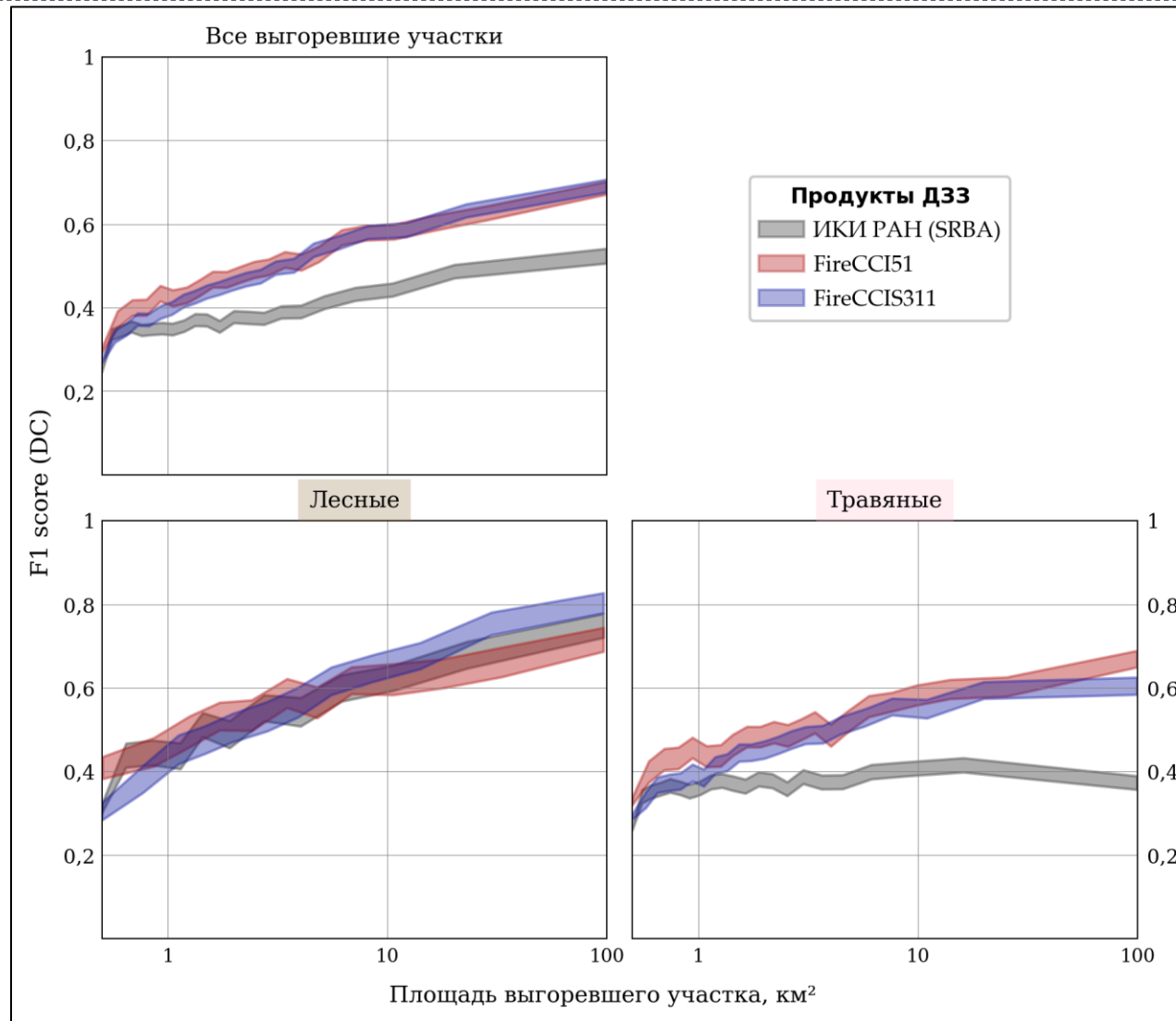
- Для продукта ИКИ РАН характерна более высокая точность выделения **лесных** повреждённых участков
- Для рассмотренных продуктов точность выделения затронутых огнём **травяных** участков мало зависит от их площади



9 / 14

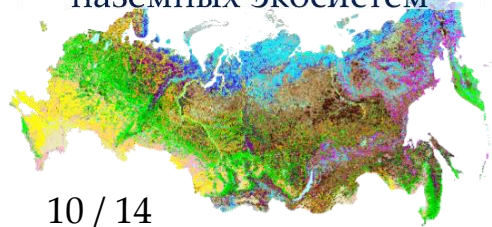
Оценка точности продуктов по площади гари

ИКИ РАН (SRBA), FireCCI51, FireCCIS311



Результаты:

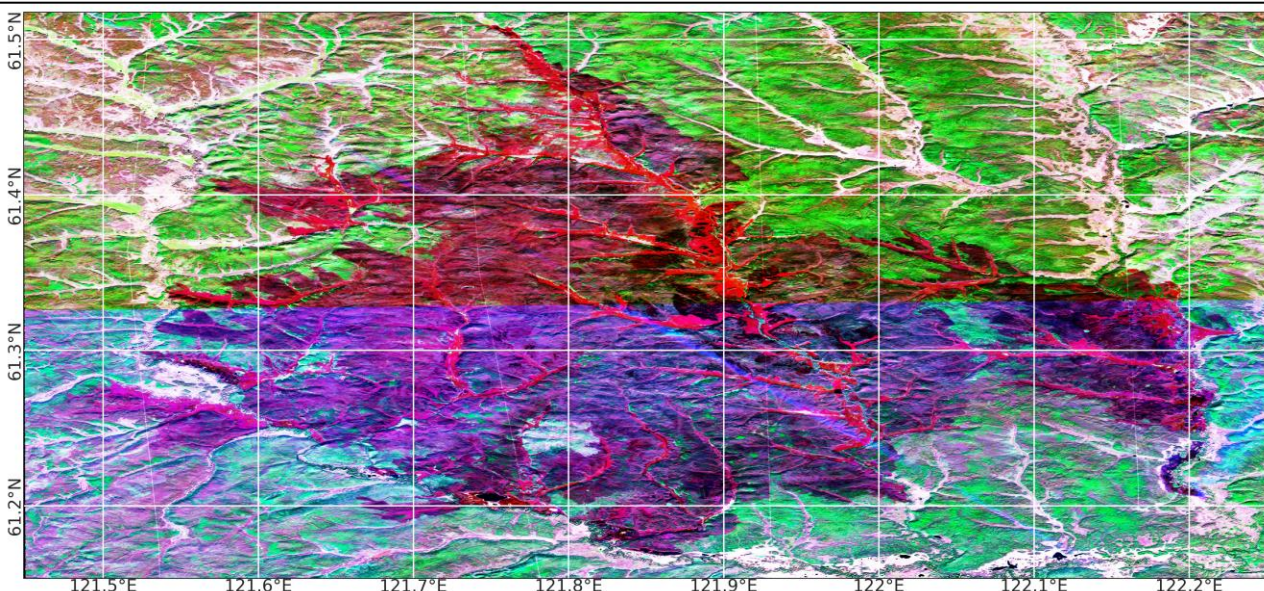
- Точность выделения повреждённых пожарами **лесных** участков сопоставима
- Для продуктов ESA FireCCI характерен рост точности выделения повреждённых пожарами **травяных** участков с ростом их площади → это главная причина их более высокой точности на территории России в целом



10 / 14

Подробная характеристика ошибок

См. также [Franquesa et al., 2022; Oliva et al., 2011;
Oliva, Schroeder, 2015; Zhu et al., 2017]



Пропуски

- Пропущ. части участков (граничные пиксели)
- Пропущ. участки гарей
- Пропущ. участки (полностью)

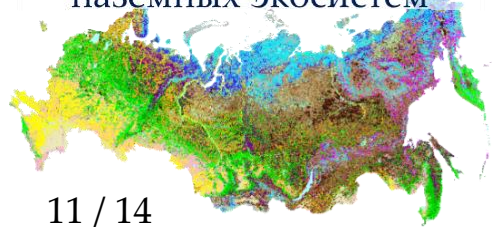
Совпадения

- Валид. выборка
- Совпадения

Ложные детекции

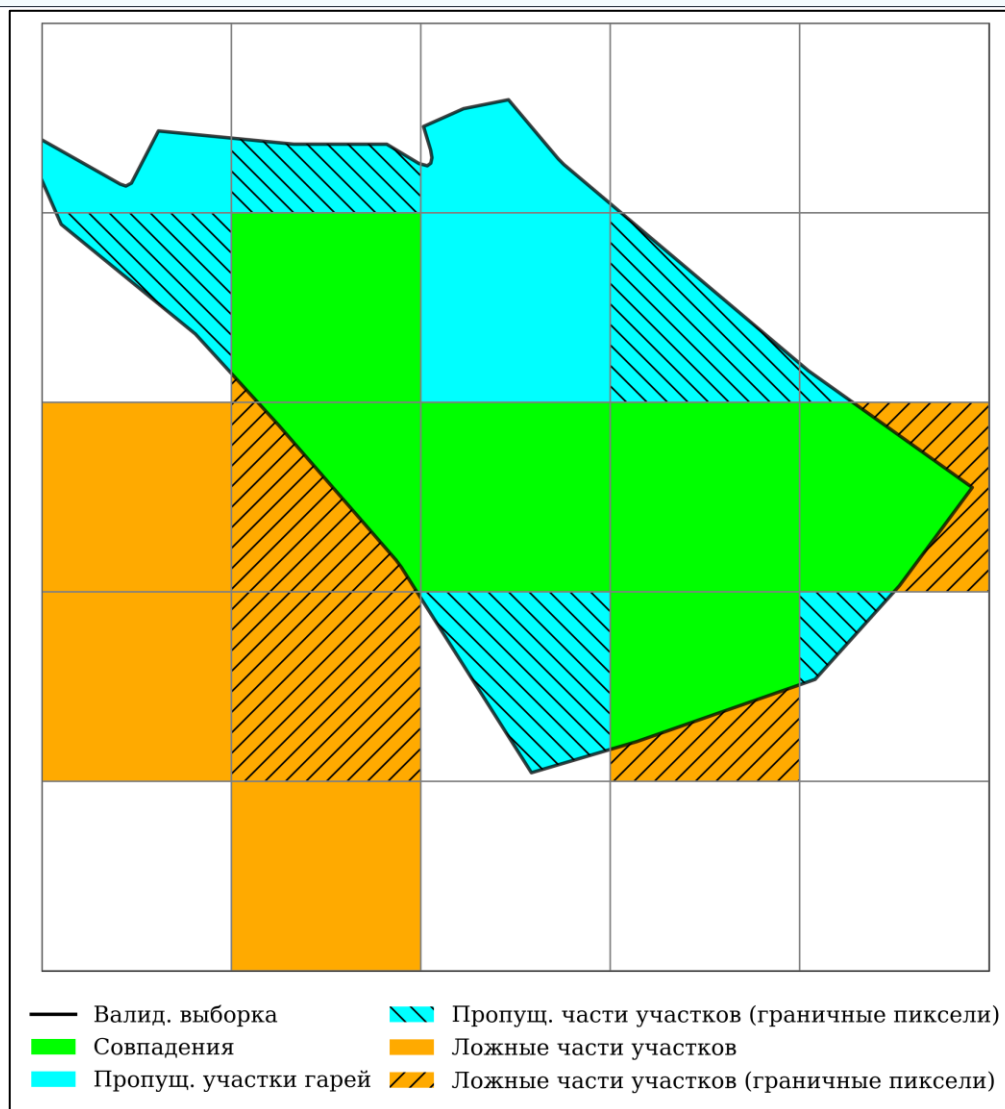
- Ложные части участков (граничные пиксели)
- Ложные части участков
- Ложные участки (артефакты)

- Композит Sentinel-2A MSI SWIR_{2,2}—NIR—Blue (лиственничники Якутии, 10.2020 г.)
- На примере видно, что в валидационной выборке [Glushkov et al., 2021] пропущены невыгоревшие участки внутри гарей

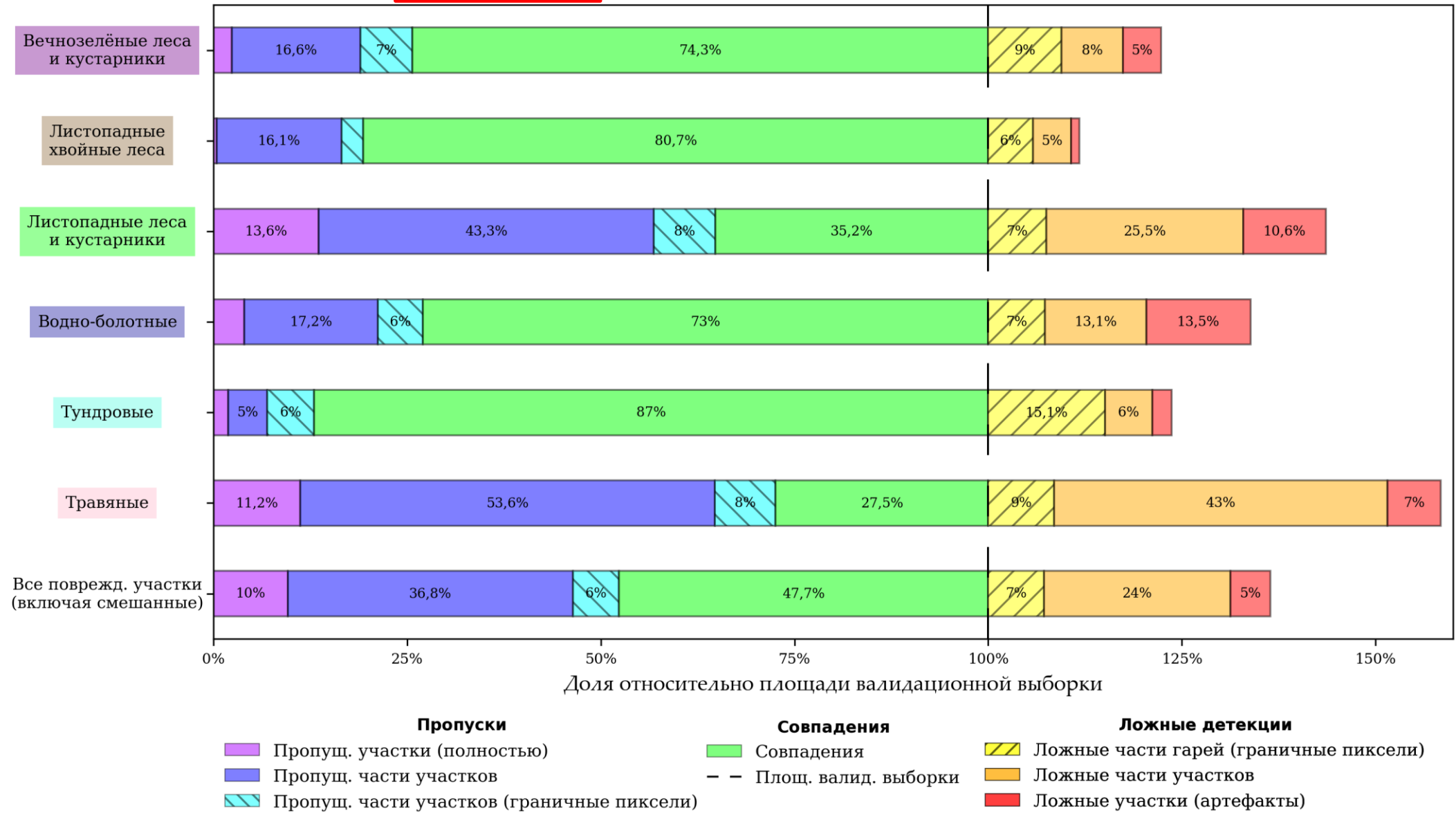


11 / 14

Подробная характеристика ошибок Пример «граничных» пикселей

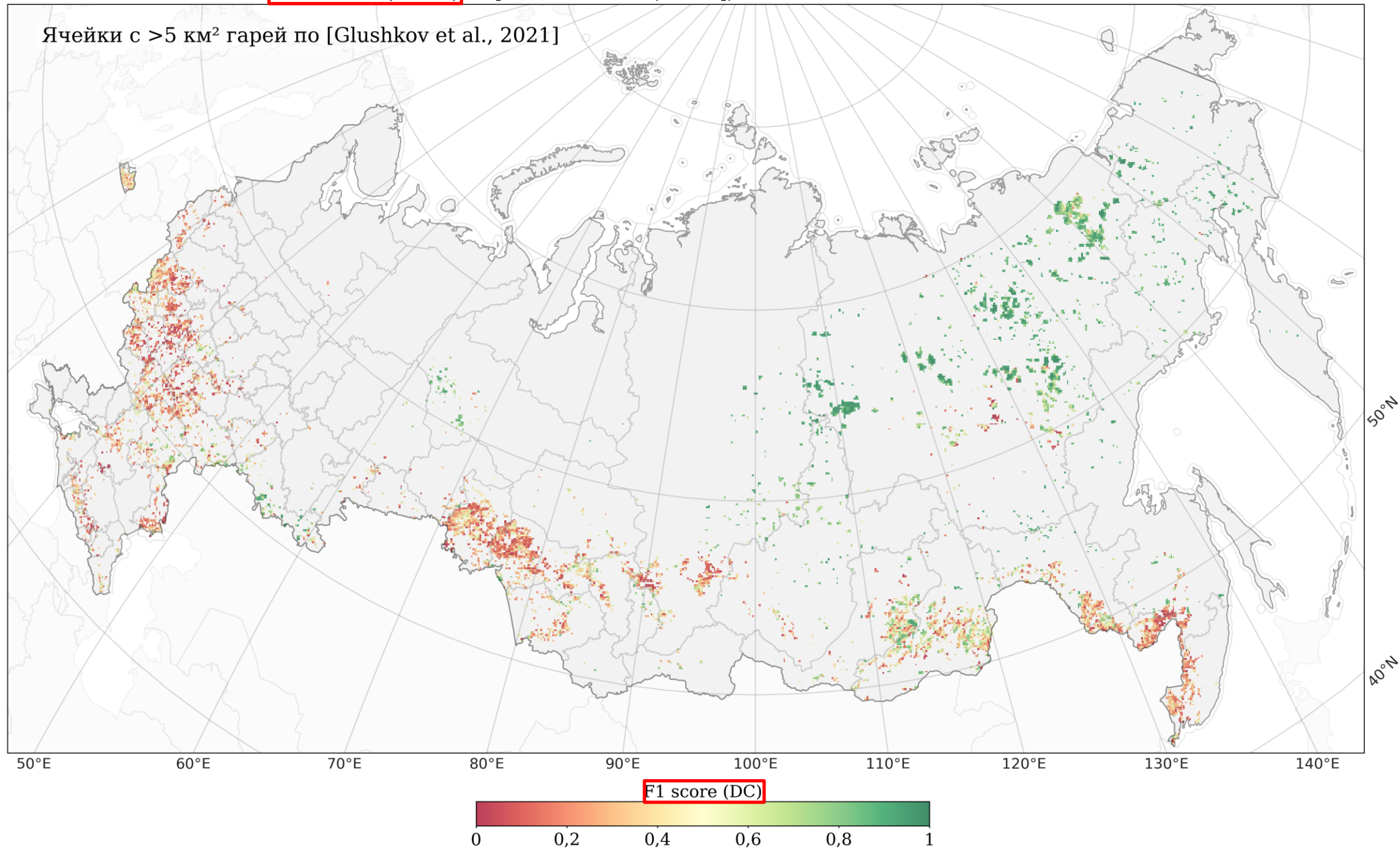


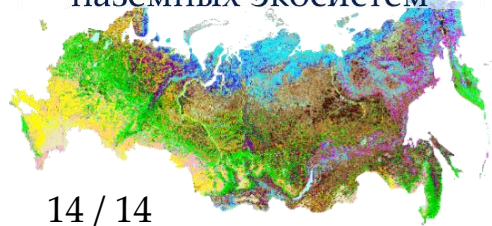
- Граничный пиксель — пиксель, содержащий **пропущенную/ложную** часть повреждённого участка
- Он находится по верт./горизонт. от пикселя, содержащего **совпадение** продукта ДЗЗ и опорной выборки



- У продукта ИКИ РАН (SRBA) пропущены гранулы MODIS >70° с. ш.
- Продукт ИКИ отличается высокой чувствительностью, что приводит к высокой доле совпадений и ложных площадей. Проблема «заполнения»: высокая доля ложных/пропущенных *частей* гарей

Ячейки с >5 км² гарей по [Glushkov et al., 2021]





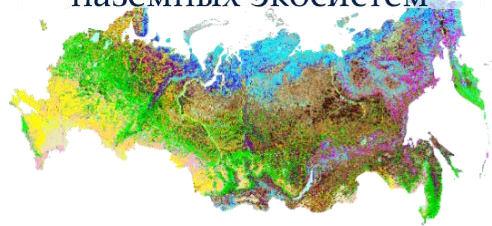
Выводы

- По территории России
- Основная опорная выборка [Glushkov et al., 2021]

1. Оценка систематической погрешности выборки [Glushkov et al., 2021] составила +6,5–9%
2. Оценка *алгоритмов* рассмотренных продуктов по критерию близости к Парето-оптимуму:
 - **Лесные** выгоревшие участки: высокая точность всех алгоритмов (расстояние 10–25%)
 - **Травяные**: точность алгоритмов ESA FireCCI значительно выше остальных (40% vs 70–80%)
3. Анализ точности рассмотренных продуктов по площади отдельных выгоревших участков:
 - **Лесные** выгоревшие участки: рост площади участка — выше точность у всех продуктов ДЗЗ
 - **Травяные**: рост точности наблюдается только для продуктов ESA FireCCI
4. Методика подробной оценки точности на примере продукта ИКИ РАН (SRBA):
 - Высокая доля совпавших площадей для повреждённых участков в хвойных лесах, тундрах и на ВБУ
 - Высокая доля ложных частей повреждённых участков (заметно выше остальных продуктов)
 - Низкая точность оконтуривания верно зафиксированных травяных повреждённых участков



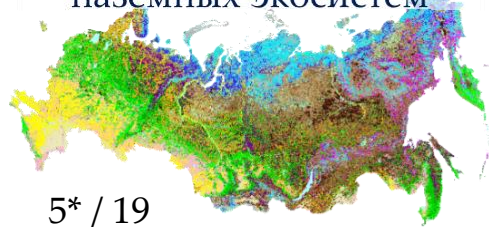
Дополнительные слайды



Матрица перепутывания (гари)

Параметр	Валид. гари	Валид. нет гарей	Валид. всего
Продукт, 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)	$relB = \frac{A_{Comm} - A_{Om}}{A_{bValid}}$
F1 score (коэф./индекс Дайса-Сёренсена)	Dice coefficient (DC)	$DC = \frac{2A_{bMatch}}{2A_{bMatch} + A_{Comm} + A_{Om}}$

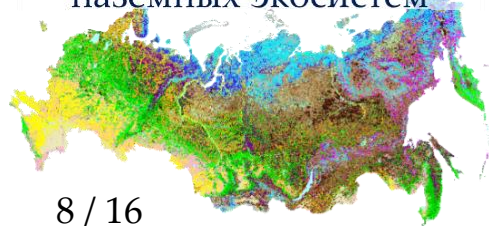


[Franquesa et al., 2022; Libonati et al., 2015; Oliva et al., 2011; Oliva, Schroeder, 2015; Tsela et al., 2014; Zhu et al., 2017]

Метрика	Английское название
Совпадения	Overlap; agreement; match
Пропущенные части гарей Пропущенные части гарей (граничные пиксели) (Полностью) пропущенные гари	Omission related Omission — mixed pixel (нет в цитируемых работах) Pure omission; omission unrelated; omission independent
Ложные части гарей Ложные части гарей (граничные пиксели) (Полностью) ложные гари; артефакты	Commission related Commission — mixed pixel [Franquesa et al., 2022] Pure commission; commission unrelated; commission independent

Под ошибкой *граничных пикселей* понимается:

- Пропущенные — пропущенная часть гари, по соседству с которой в сетке с разрешением продукта ДЗЗ *по вертикали или горизонтали* присутствует совпадение продукта ДЗЗ и валидационной выборки (в других работах её расчёта не встречал)
- Ложные — ложная площадь в пикселях продукта ДЗЗ, где валидационная площадь не заполняет полностью пиксель продукта (расчёт есть только у [Franquesa et al., 2022])
- Примеры на следующих слайдах. Методика расчёта — в комментарии к слайду



8 / 16

Отдельные контуры гарей

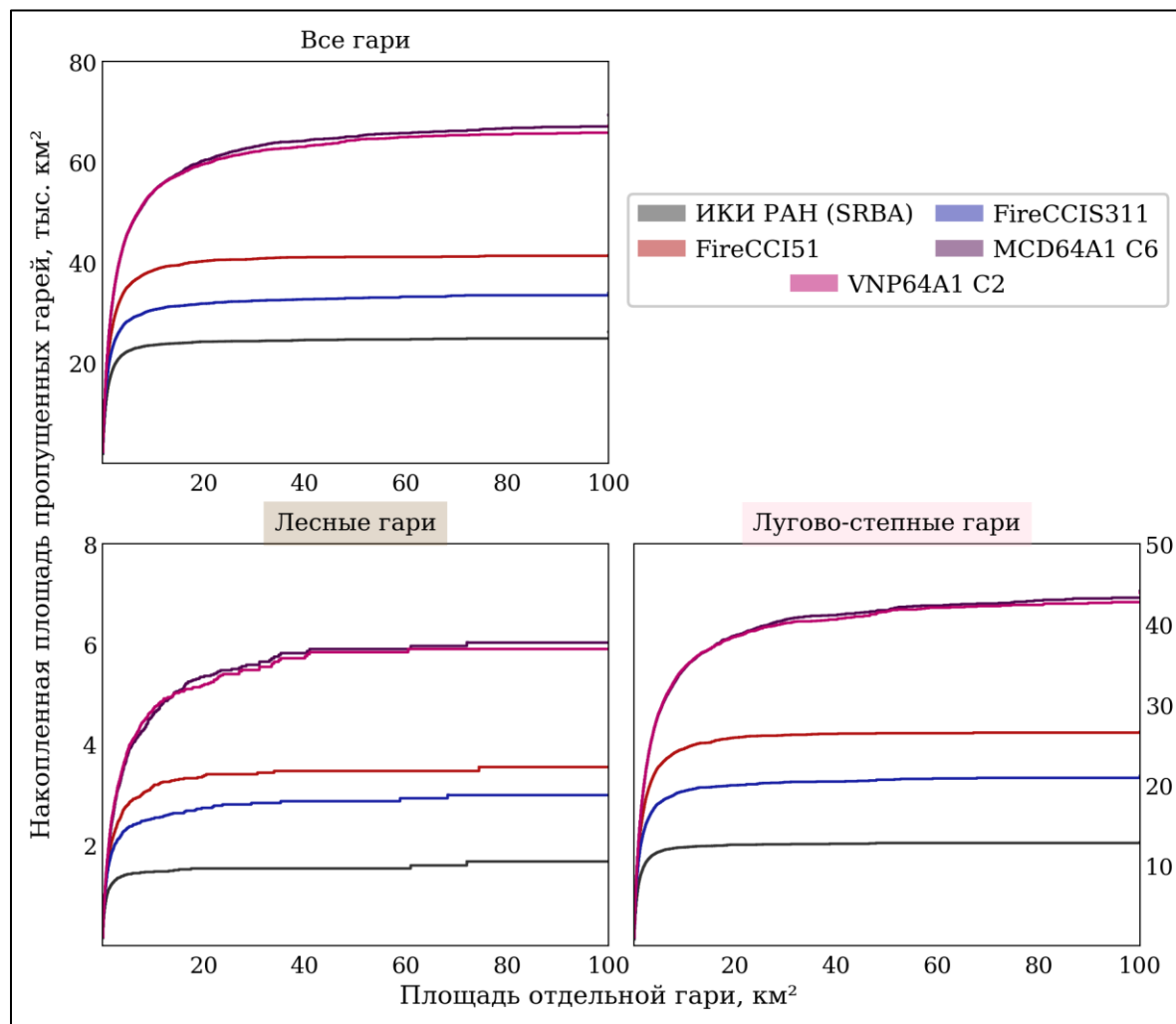
Полностью пропущенные гари

- На графике представлена пропущенная *площадь* по данным выборки [Glushkov et al., 2021]

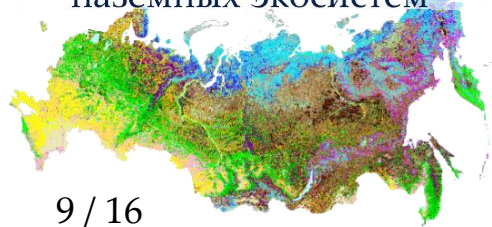
Число пропущенных гарей:

- ИКИ РАН (SRBA) = 67,4%
- FireCCIS311 = 79,1%
- FireCCI51 = 84,7%
- MCD64A1 C6 = 92,4%
- VNP64A1 C2 = 92,6%

(Медиана площади гарей [Glushkov et al., 2021] $\approx 0,13$ км², что меньше разрешения MCD/VNP64A1.)



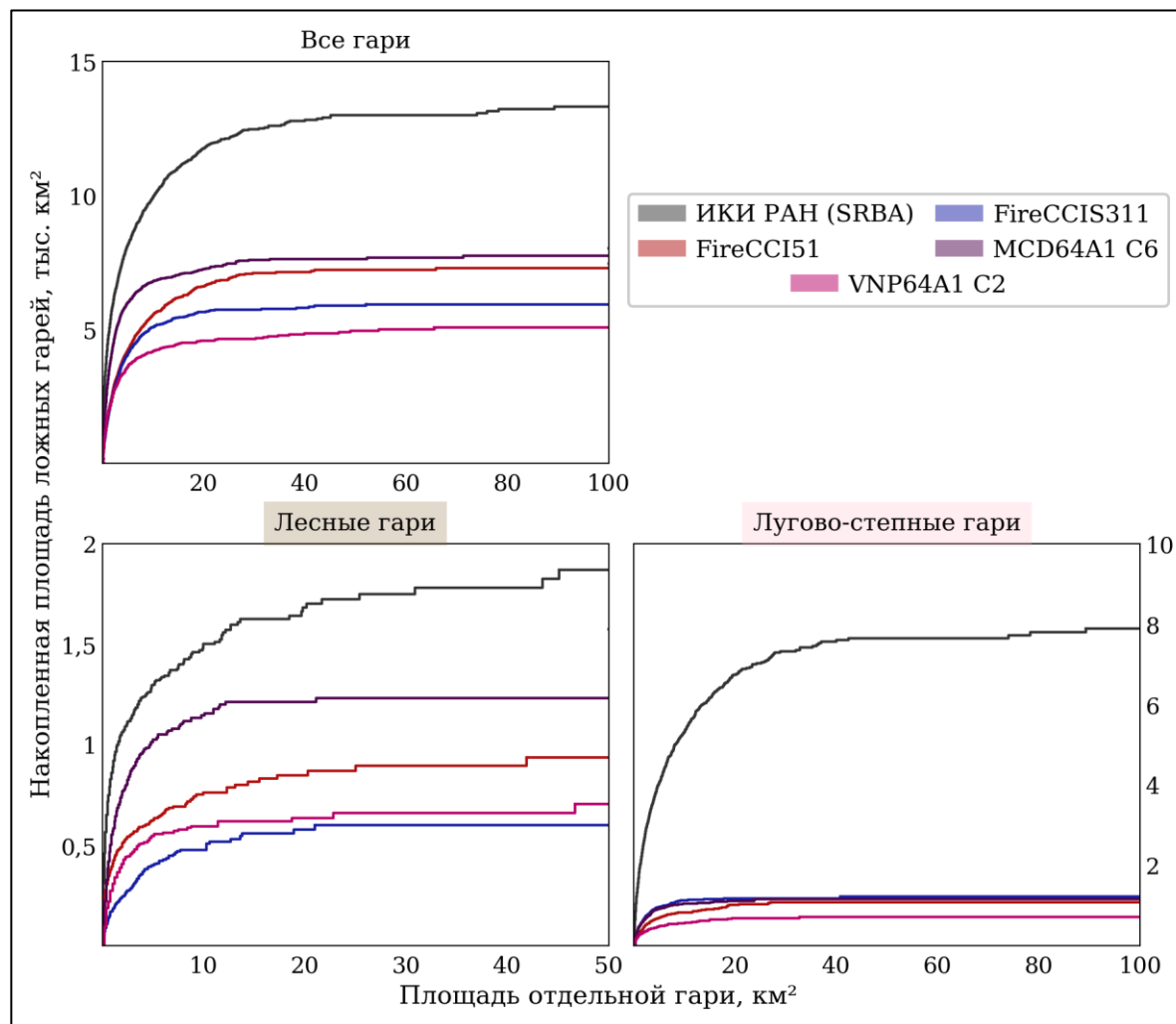
Для продукта ИКИ РАН
характерна самая низкая
площадь пропущенных гарей



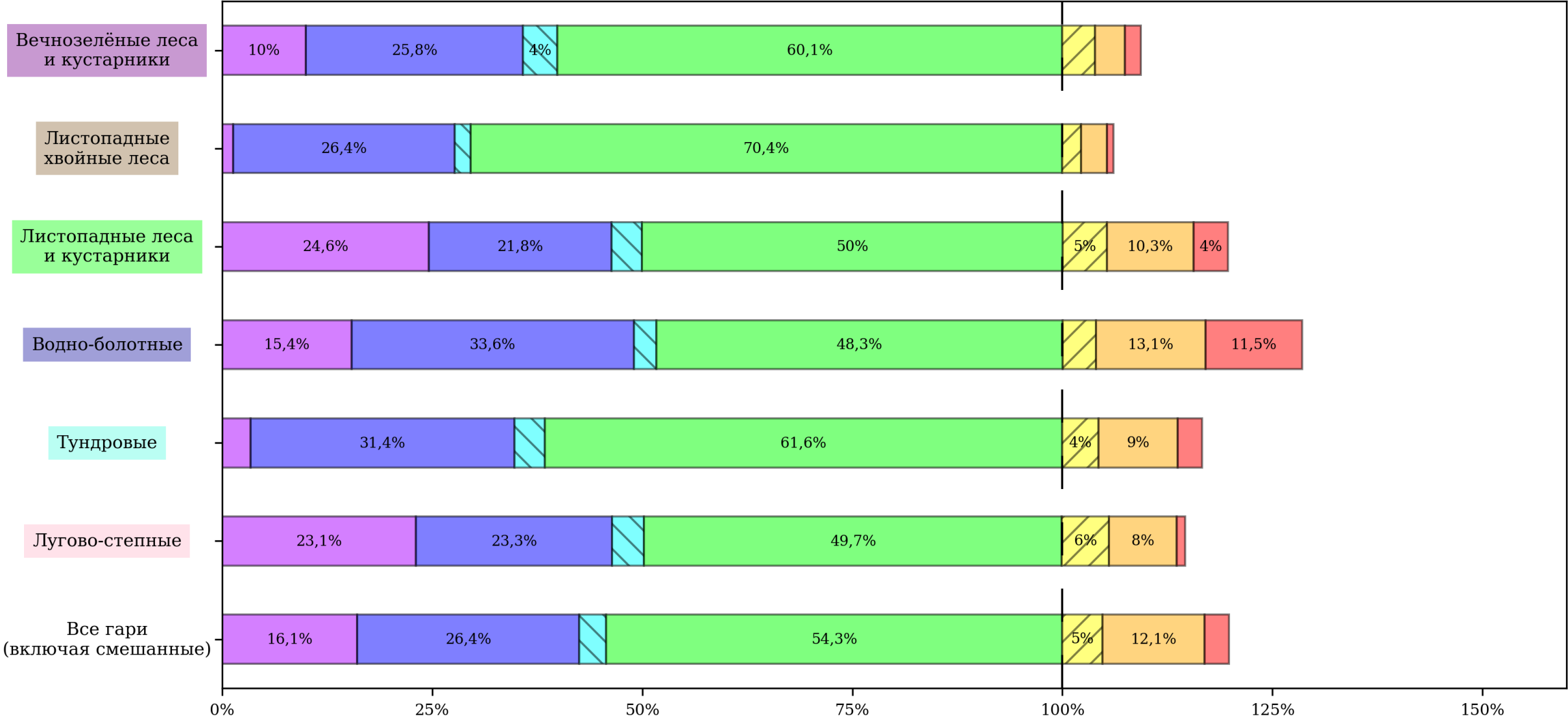
9 / 16

Отдельные контуры гарей

Полностью ложные гари (площадь)



Для продукта ИКИ РАН
характерна высокая доля
артефактов (полностью ложных
гарей)



Доля относительно площади валидационной выборки

Пропуски

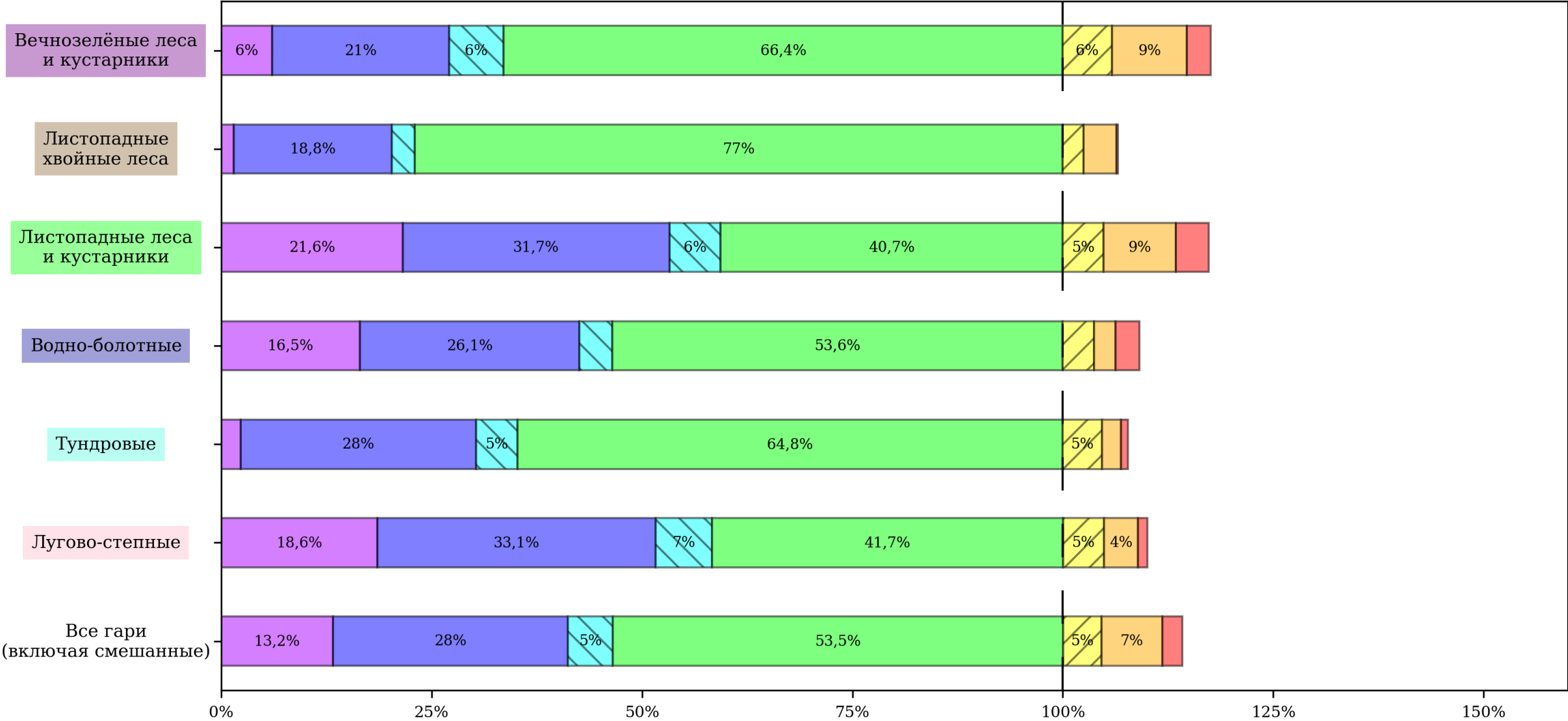
- Пропущ. гари (полностью)
- Пропущ. части гарей
- Пропущ. части гарей (граничные пиксели)

Совпадения

- Совпадения
- Площ. валид. выборки

Ложные детекции

- Ложные части гарей (граничные пиксели)
- Ложные части гарей
- Ложные гари (артефакты)



Доля относительно площади валидационной выборки

Пропуски

- Пропущ. гари (полностью)
- Пропущ. части гарей
- Пропущ. части гарей (граничные пиксели)

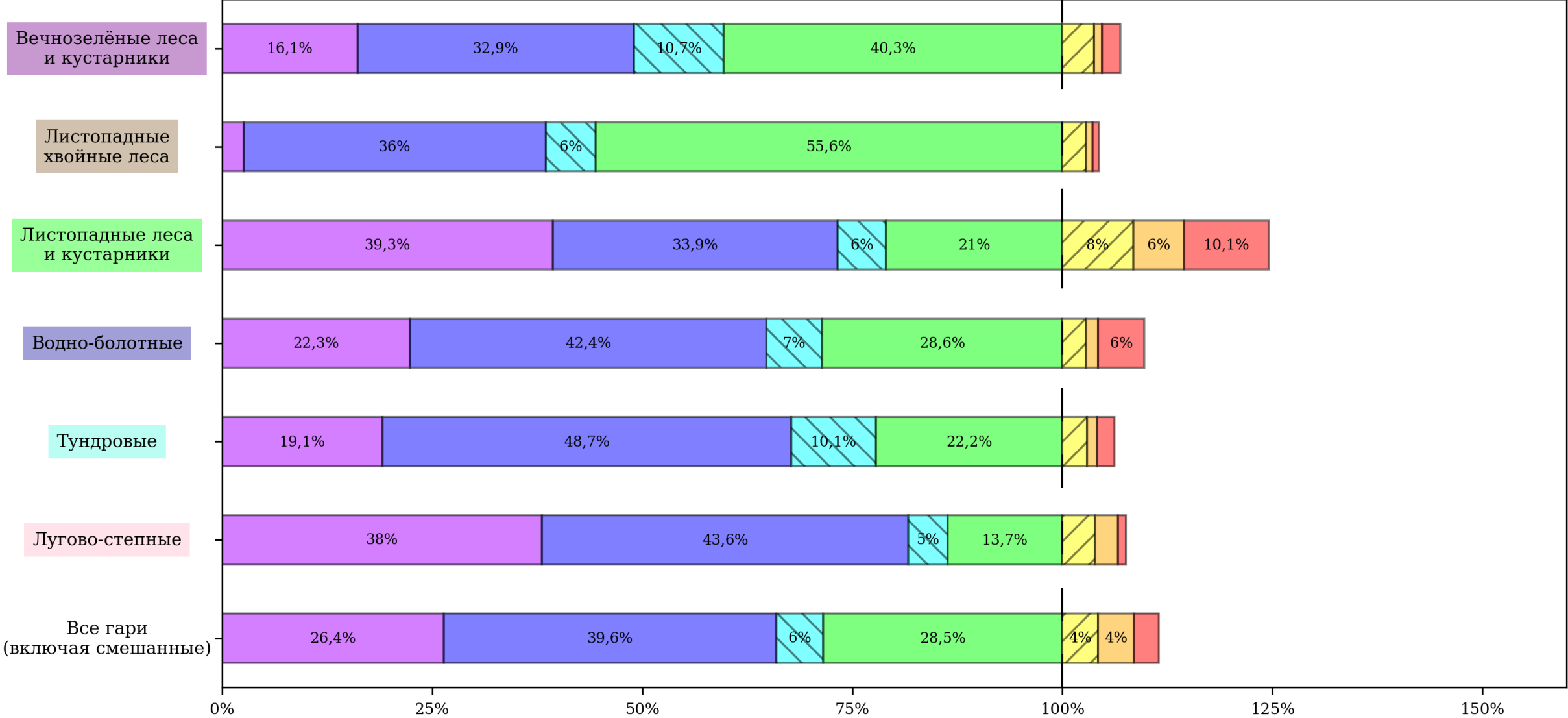
Совпадения

- Совпадения
- Площ. валид. выборки

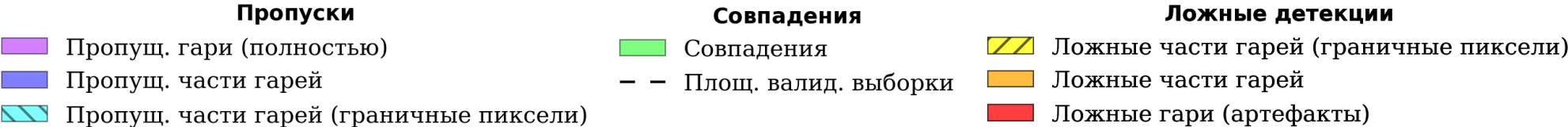
Ложные детекции

- Ложные части гарей (граничные пиксели)
- Ложные части гарей
- Ложные гари (артефакты)

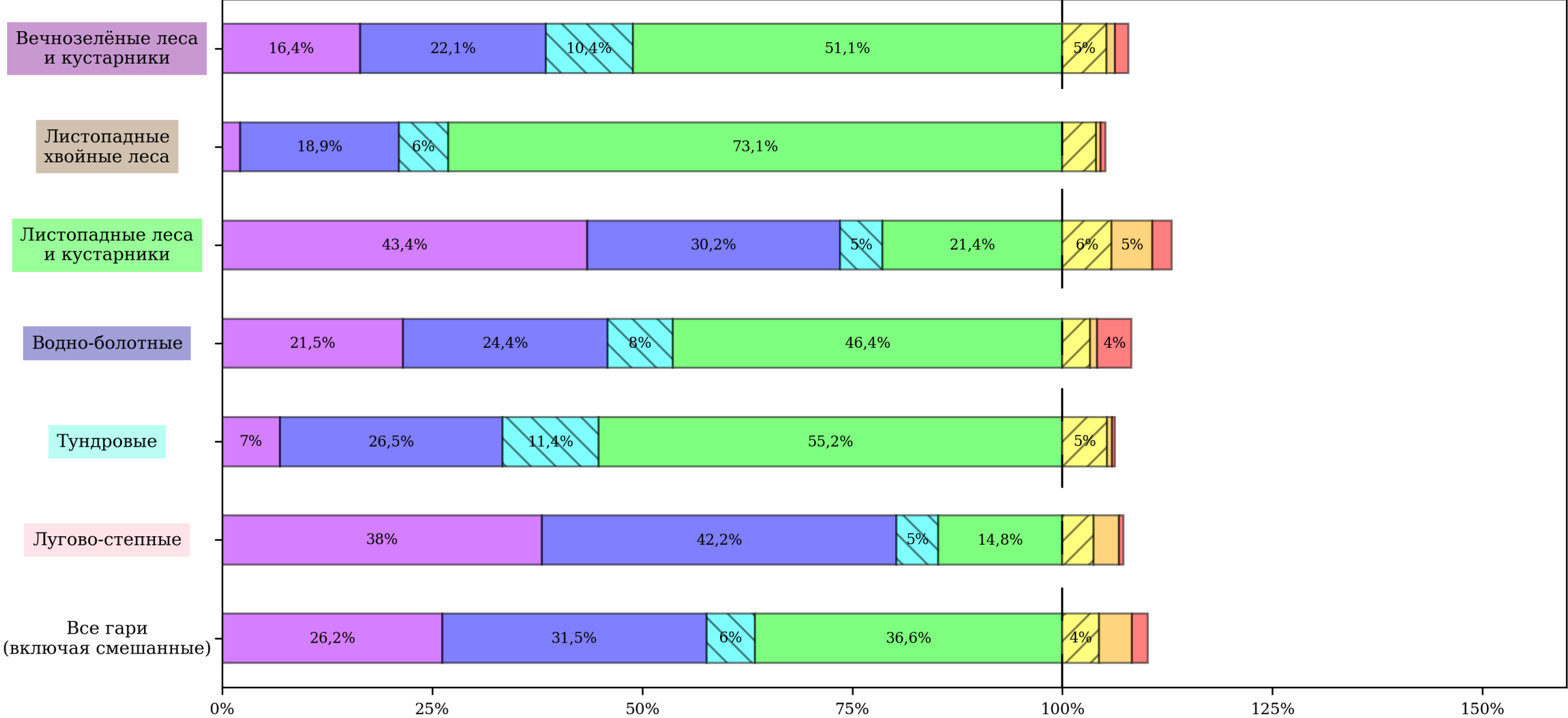
MCD64A1 C6 vs [Glushkov et al., 2021]: Детальная характеристика точности



Доля относительно площади валидационной выборки



VNP64A1 C2 vs [Glushkov et al., 2021]: Детальная характеристика точности



Доля относительно площади валидационной выборки

Пропуски

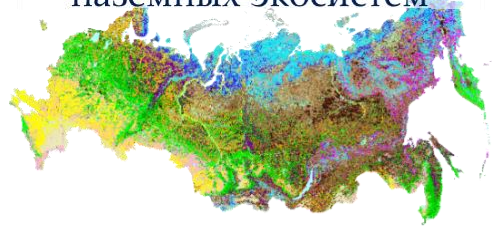
- Пропущ. гари (полностью)
- Пропущ. части гарей
- Пропущ. части гарей (граничные пиксели)

Совпадения

- Совпадения
- Площ. валид. выборки

Ложные детекции

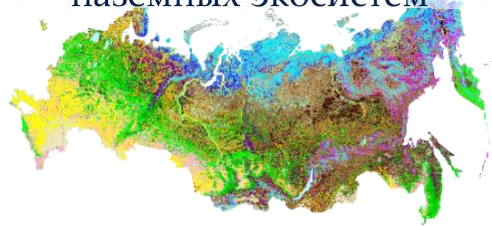
- Ложные части гарей (граничные пиксели)
- Ложные части гарей
- Ложные гари (артефакты)



Список литературы

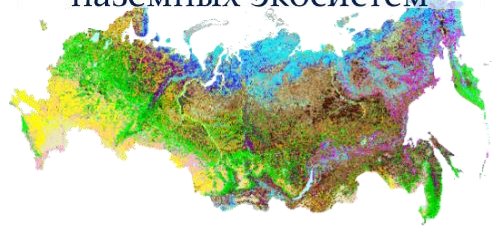
Продукты гарей и активного горения

- **ИКИ РАН (SRBA):** Барталев С. А., Егоров В. А., Ефремов В. Ю., Лупян Е. А., Стыщенко 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.
- **FireCCI51:** Lizundia-Loiola, J., Otón, G., Ramo, R., Chuvieco, E. A spatio-temporal active-fire clustering approach for global burned area mapping at 250 m from MODIS data // Remote Sensing of Environment. 2020. V. 236. Article 111493. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111493.
- **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.
- **MCD64A1 C6:** Giglio, L., Boschetti, L., Roy, D. P., Humber, M. L., Justice, C. O. The Collection 6 MODIS burned area mapping algorithm and product // Remote Sensing of Environment. 2018. V. 217. P. 72–85. DOI: 10.1016/j.rse.2018.08.005.
- **VNP64A1 C2:** Giglio L., Hall J. V., Humber M., Argueta F., Boschetti L., Roy D. P. Collection 2 VIIRS Burned Area Product User's Guide. Version 1.1. 2024. 32 p. [https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/archive/Document Archive/Science Data Product Documentation/VIIRS_C2_BA_User_Guide_1.1.pdf](https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/archive/Document%20Archive/Science%20Data%20Product%20Documentation/VIIRS_C2_BA_User_Guide_1.1.pdf).

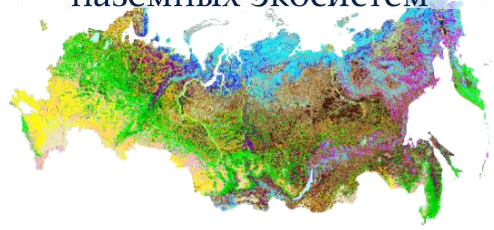


Список литературы

- Барталев С.А., Беляев А.И., Егоров В.А., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Коршунов Н.А., Котельников Р.В., Лупян Е.А. Валидация результатов выявления и оценки площадей, поврежденных пожарами лесов по данным спутникового мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса. 2005. Т. 2. В. 2. С. 343–353.
- Барталев С. А., Лупян Е. А., Стыценко Ф. В., Панова О. Ю., Ефремов В. Ю. Экспресс-картографирование повреждений лесов России пожарами по спутниковым данным Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. Т. 11. № 1. С. 9–20.
- 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. ISBN: 978-5-00015-006-1.
- Матвеев А. М., Барталев С. А., Егоров В. А., Сайгин И. А., Стыценко Ф. В., Шинкаренко С. С. Оценка пространственной точности картографирования гарей и динамика пройденной огнём площади на территории России по данным глобальных продуктов ДЗЗ // Материалы 22-й Международной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». С. 193. Москва, ИКИ РАН, 11–15 ноября 2024 г. DOI: 10.21046/22DZZconf-2024a.
- 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.
- Стыценко Ф. В., Барталев С. А., Иванова А. А. и др. Возможности оценки площадей лесных пожаров в регионах России на основе данных спутникового детектирования активного горения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2016. Т. 13. № 6. С. 189–298. DOI: 10.21046/2070-7401-2016-13-6-289-298.



- Boschetti L., Flasse S. P., Brivio P. A. Analysis of the conflict between omission and commission in low spatial resolution dichotomic thematic products: The Pareto Boundary // Remote Sensing of Environment. 2004. V. 91. Issue 3–4. P. 280–292. DOI: 10.1016/j.rse.2004.02.015.
- 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.
- Franquesa M., Stehman S. V., Chuvieco E. Assessment and characterization of sources of error impacting the accuracy of global burned area products // Remote Sensing of Environment. V. 280. 2022. Article 113214. DOI: 10.1016/j.rse.2022.113214.
- 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. Issue 12. Article 125005. DOI: 10.1088/1748-9326/ac3287.
- Kolden C. A., Lutz J. A., Key C. H. et al. Mapped versus actual burned area within wildfire perimeters: Characterizing the unburned // Forest Ecology and Management. 2012. V. 286. P. 38–47. DOI: 10.1016/j.foreco.2012.08.020.
- Oliva P., Martín P., Chuvieco E. Burned area mapping with MERIS postfire image // International Journal of Remote Sensing. V. 32. Issue 15. P. 4175–4201. DOI: 10.1080/01431161.2010.489062.
- Oliva P., Schroeder W. Assessment of VIIRS 375m active fire detection product for direct burned area mapping // Remote Sensing of Environment. V. 160. 2015. P. 144–155. DOI: 10.1016/j.rse.2015.01.010.



Список литературы

- Pickens A. H., Hansen M. C., Hancher M., Stehman S. V., Tyukavina A., Potapov P., Marroquin B., Sherani Z. 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.
- Sparks A. M., Boschetti L., Smith A. M. S., Tinkham W. T., Lannom K. O., Newingham B. A. An accuracy assessment of the MTBS burned area product for shrub–steppe fires in the northern Great Basin, United States // International Journal of Wildland Fire. 2015. V. 24. P. 70–78. DOI: 10.1071/WF14131.
- Zhu C., Kobayashi H., Kanaya Y., Saito M. Size-dependent validation of MODIS MCD64A1 burned area over six vegetation types in boreal Eurasia: Large underestimation in croplands // Nature Scientific Reports. 2017. V. 7. Issue 1. Article 4181. DOI: 10.1038/s41598-017-03739-0.