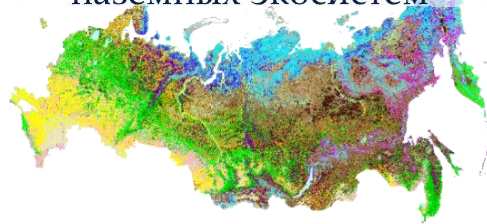


Оценка пространственной точности картографирования гарей и динамика пройденной огнём площади на территории России по данным глобальных продуктов ДЗЗ

Матвеев А. М., Барталев С. А., Егоров В. А.,
Сайгин И. А., Стыценко Ф. В., Шинкаренко С. С.

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



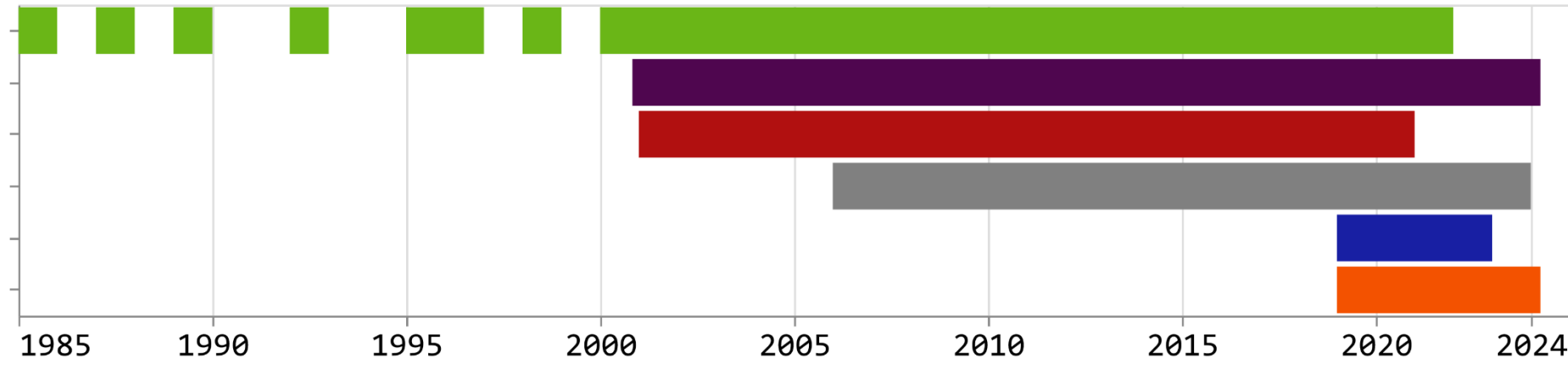
Использованные данные

Продукты ДЗЗ и валидационные выборки



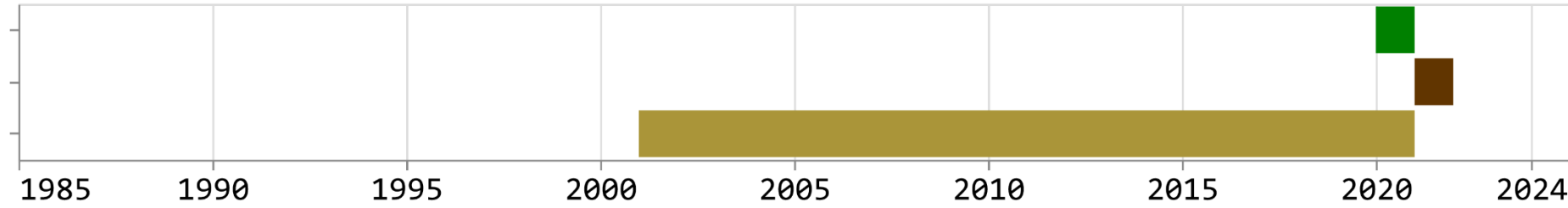
Продукты картографирования гарей

- GABAM (Landsat TM/ETM+/OLI)
- MCD64A1 C6 (MODIS)
- FireCCI51 (MODIS)
- ИКИ РАН, или SRBA (MODIS)
- FireCCIS311 (OLCI/SLSTR)
- CGLS BA v3.1 (NTC) (OLCI/SLSTR)



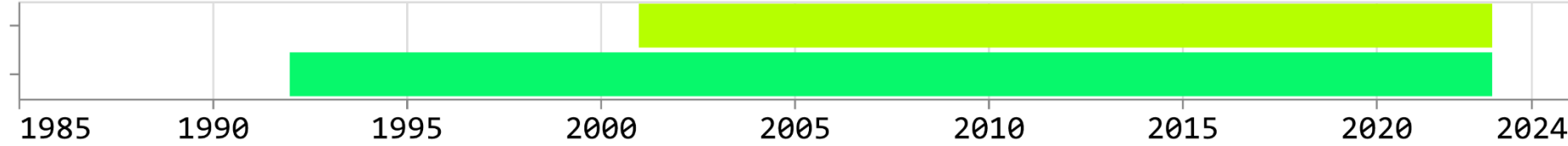
Валидационные выборки

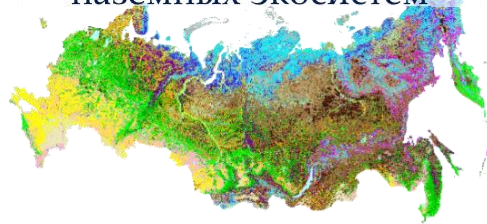
- [Glushkov et al., 2021]
- ИКИ РАН, леса Якутии
- ИКИ РАН, аридные ландшафты



Классификация растительного покрова

- ИКИ РАН v5.7
- ESA CCI LC 300m v2.1.1





Использованные данные Валидационные выборки

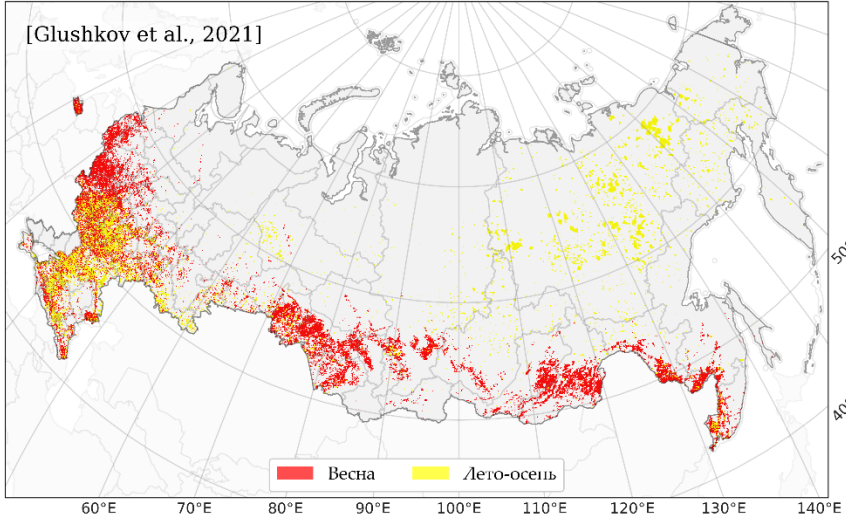


ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

¹ Glushkov I. et al. Spring fires in Russia: results from participatory burned area mapping with Sentinel-2 imagery. Environmental Research Letters, 2021, 16(12), 125005.

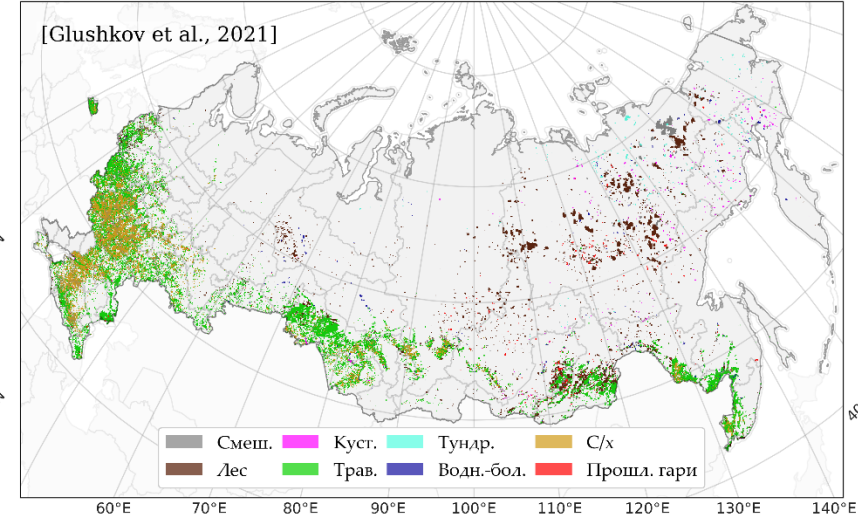
² Shinkarenko S.S. et al. A. An Analysis of the Dynamics of Areas Affected by Steppe Fires in Western Kazakhstan on the Basis of Earth Remote Sensing Data. Arid Ecosystems, 2023, 13(1), 29–38.

Россия, 2020 г., Sentinel-2, Сезоны



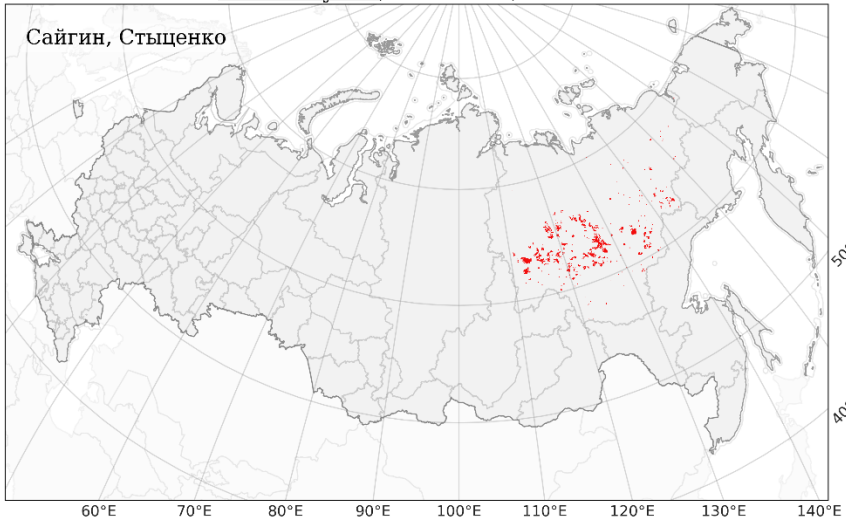
~260 тыс. км² (26 млн. га)

Россия, 2020 г., Sentinel-2, Растительность



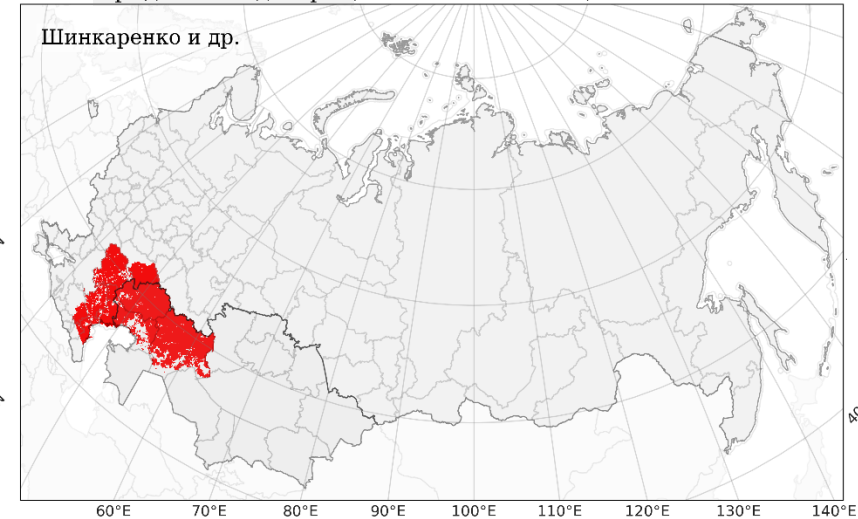
Пирогенный режим 2020 г.
и схему генерал. раст. покрова см. доп. слайды

Леса Якутии, Sentinel-2, 2021 г.

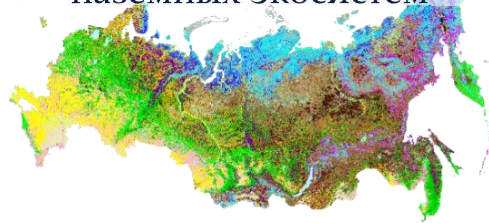


~70 тыс. км² (7 млн. га)

Аридные ландшафты, Landsat/Sentinel-2, 2001-2020 гг.

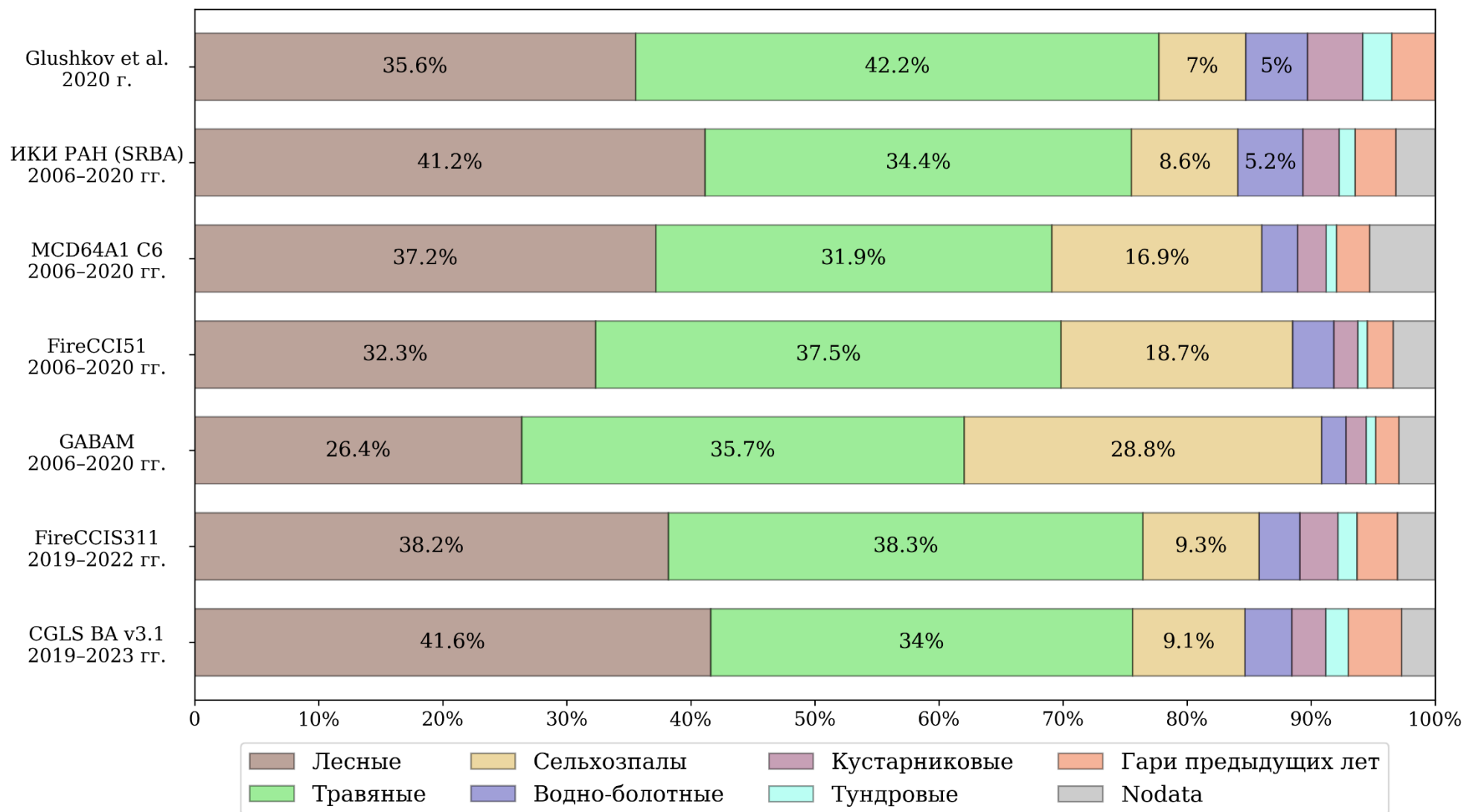


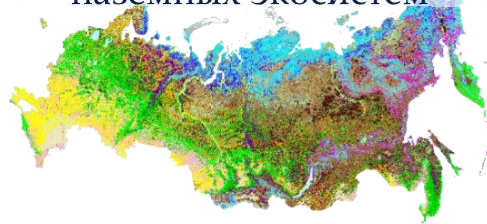
20 × ~50 тыс. км² (100 млн. га)



Усреднённая площадь гарей (S) на тер. России по типу растительного покрова

- $S_{\text{лесные}} \approx S_{\text{травяные}} \approx 100$ тыс. км² (10 млн. га) в год
- В 2010-ые гг. $S_{\text{сельхозпалы}}$ снизилась вдвое [Hall et al., 2024]



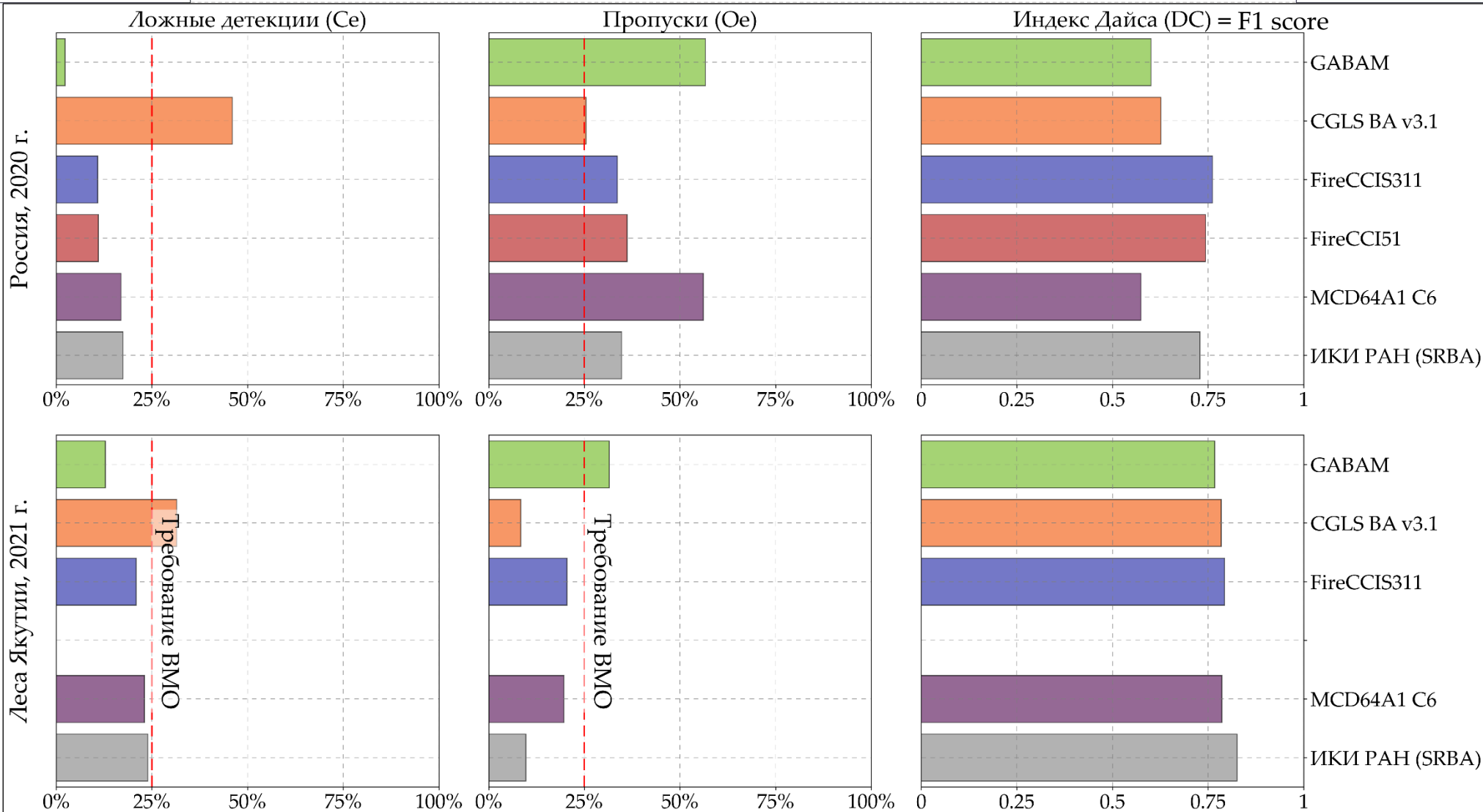


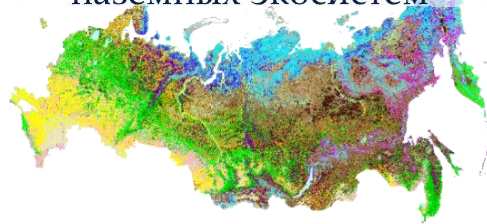
Валидация Лесные гари, год



ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

- $DC_{\text{ИКИ РАН}} \geq DC_{\text{др. продукты}}$
- Недооценка площади (*relB*): 0–55% (кроме CGLS BA v3.1)





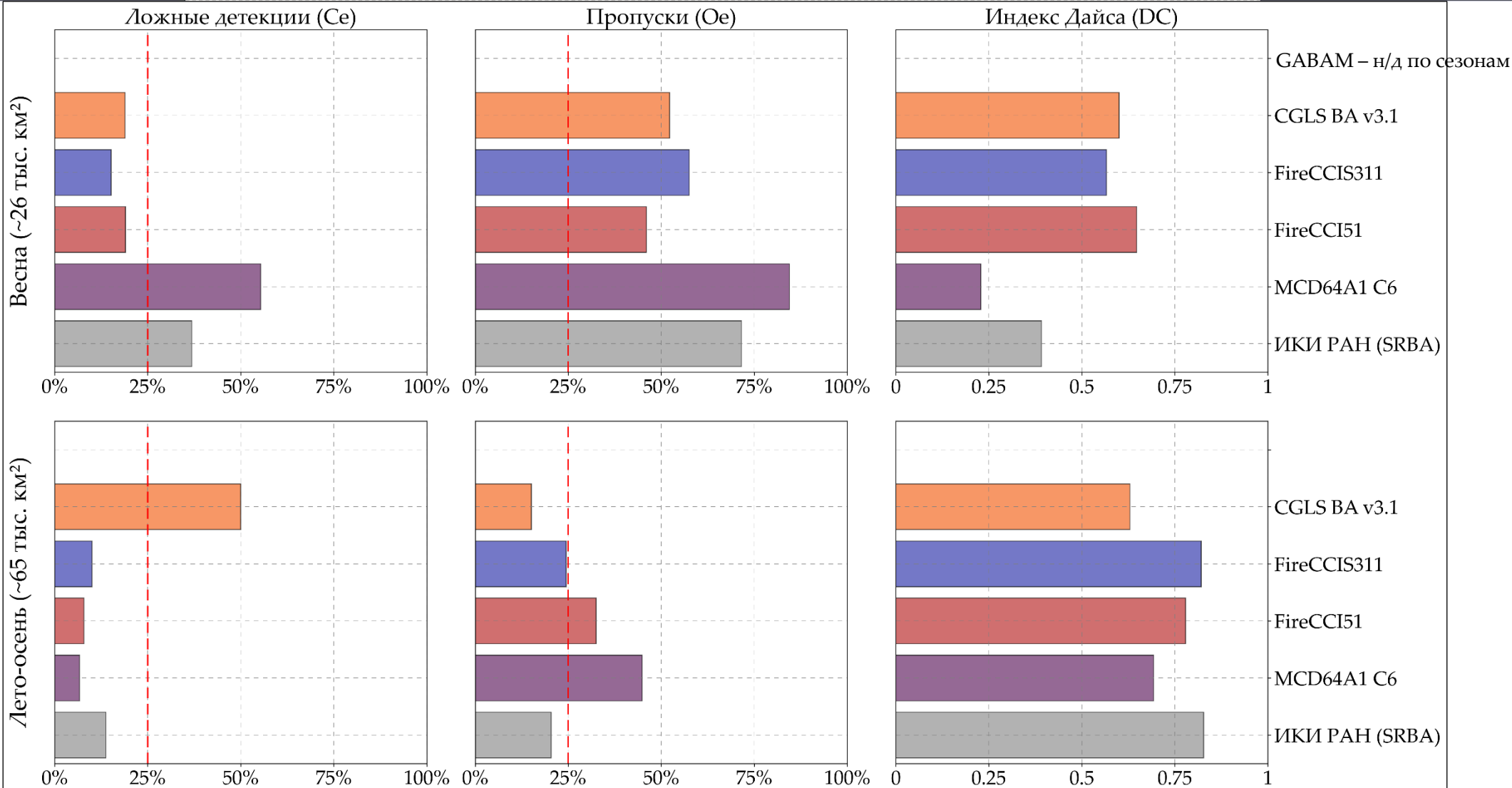
Валидация

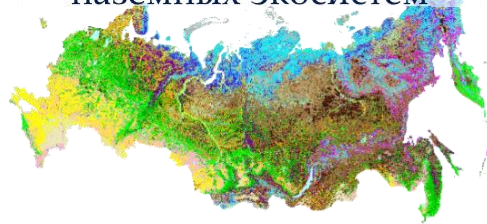
Лесные гари, сезоны (выборка Россия, 2020 г.)

- Весна: $DC_{ИКИ\ РАН} < DC_{др. продукты}$
- Лето-осень: $DC_{лето} \approx DC_{год}$



ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

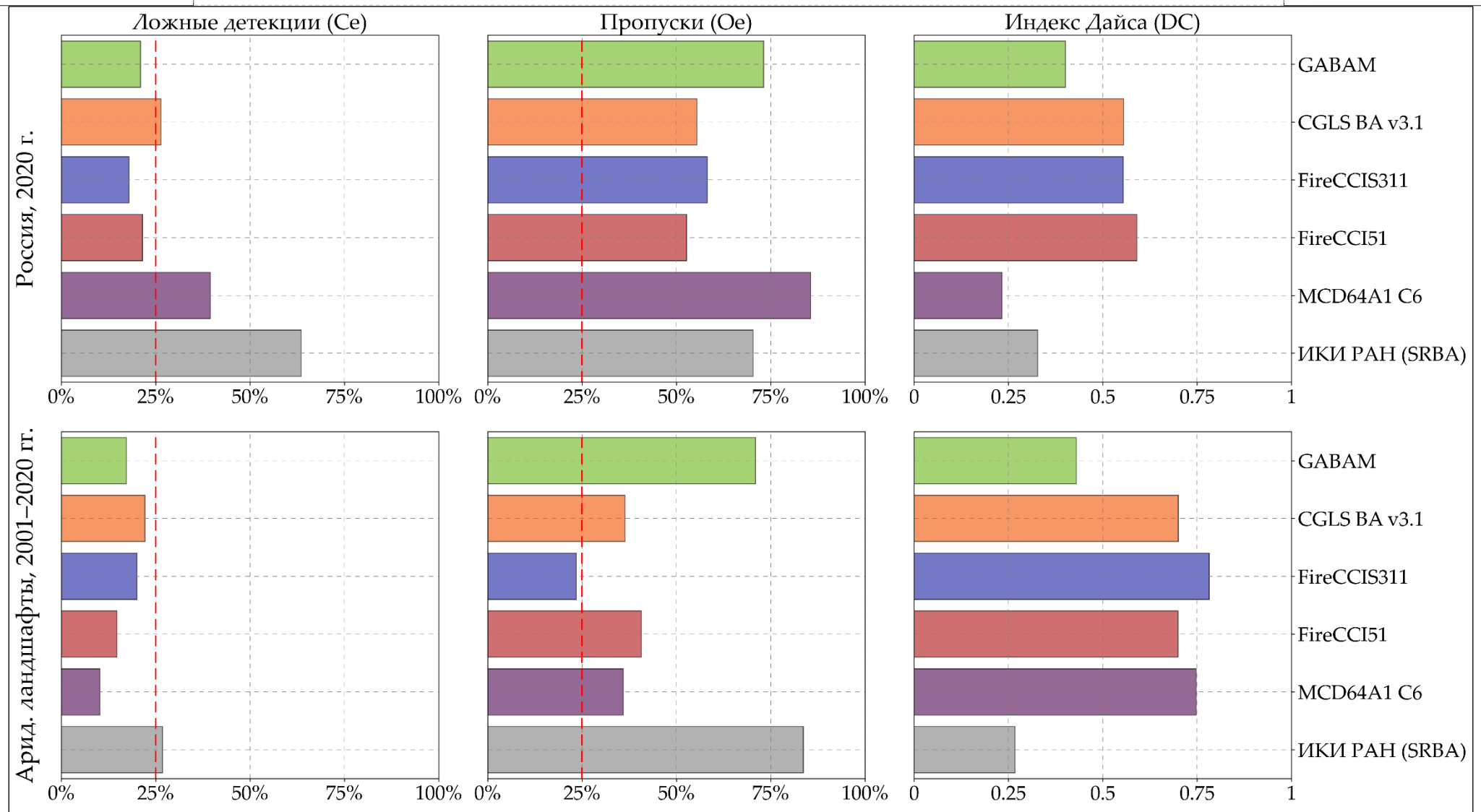




Валидация

Гари на травяных ландшафтах, год

- $DC_{\text{ИКИ РАН}} \ll DC_{\text{др. продукты}}$
- Недооценка площади ($relB$): -20–75%

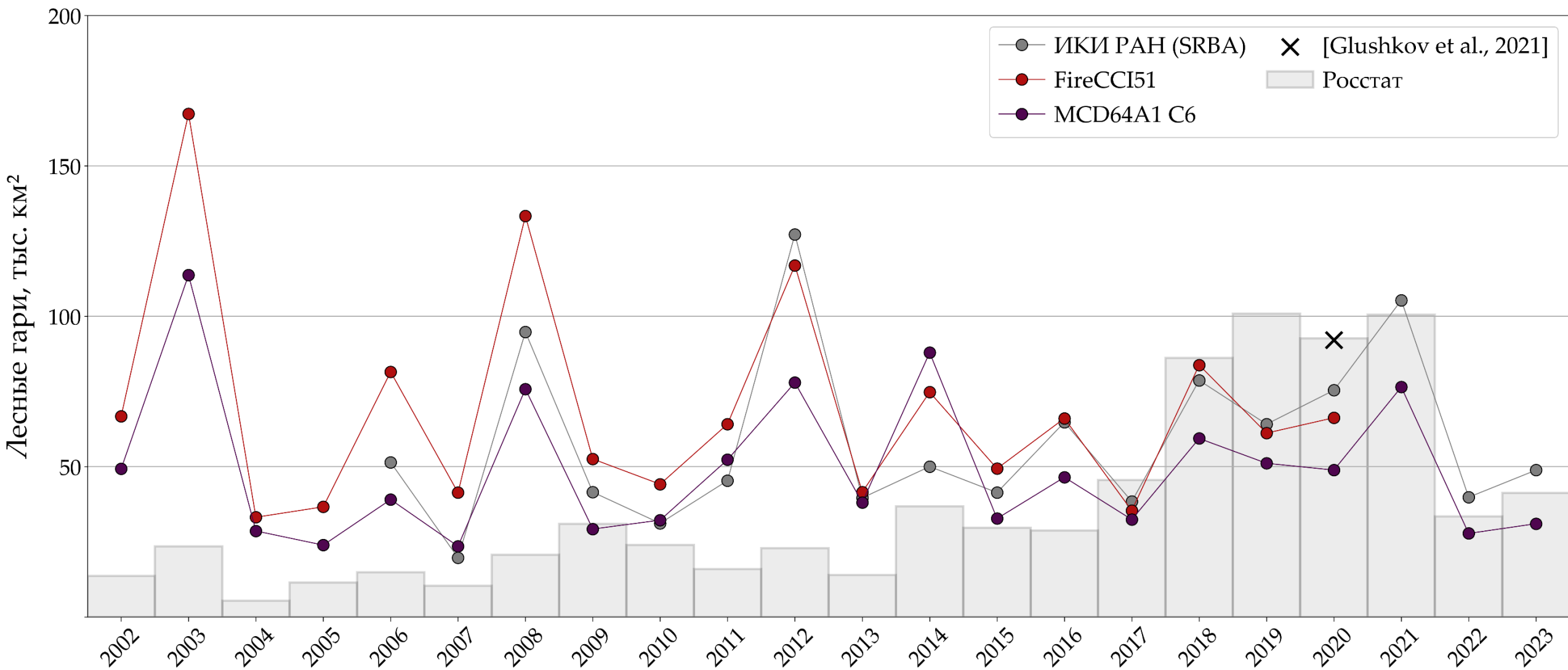




Динамика площади лесных гарей России

Сопоставление с официальной отчётностью

- Учтены лесные пожары лесного и нелесного фонда
- С середины 2010-ых гг. Росстат \approx продукты ДЗЗ

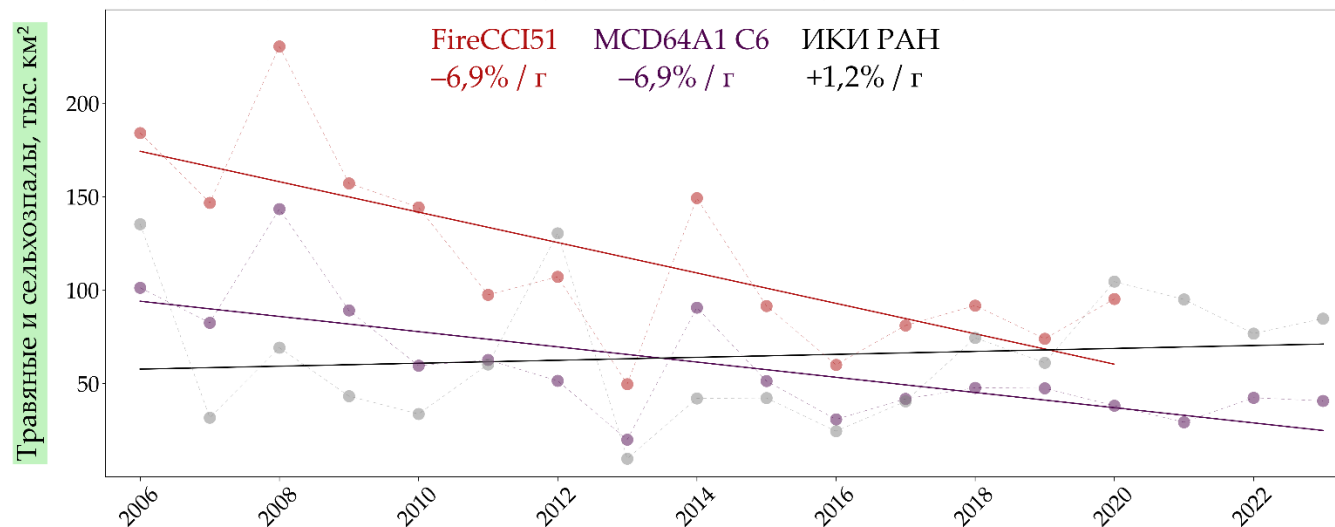
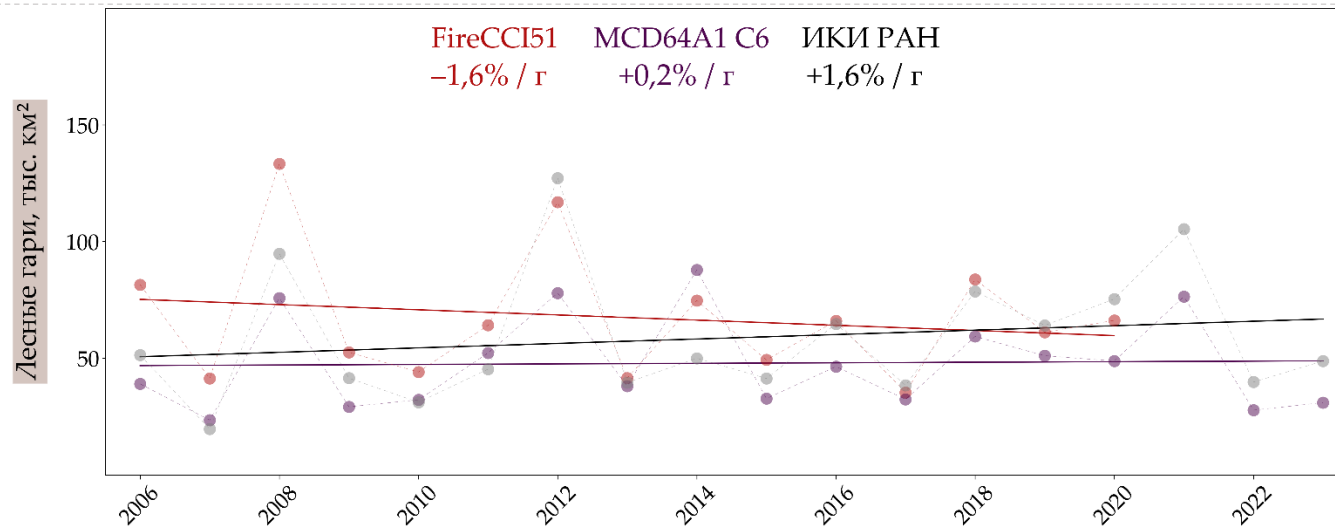


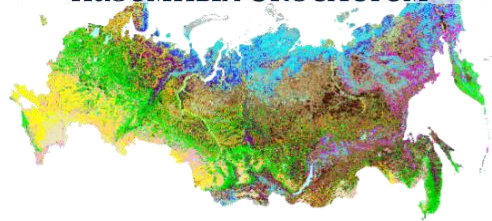


Тренды

Динамика изменения площади гарей

- **Лесные** гари: различный тренд у продуктов
- **Нелесные ландшафты**: площадь гарей сокращается

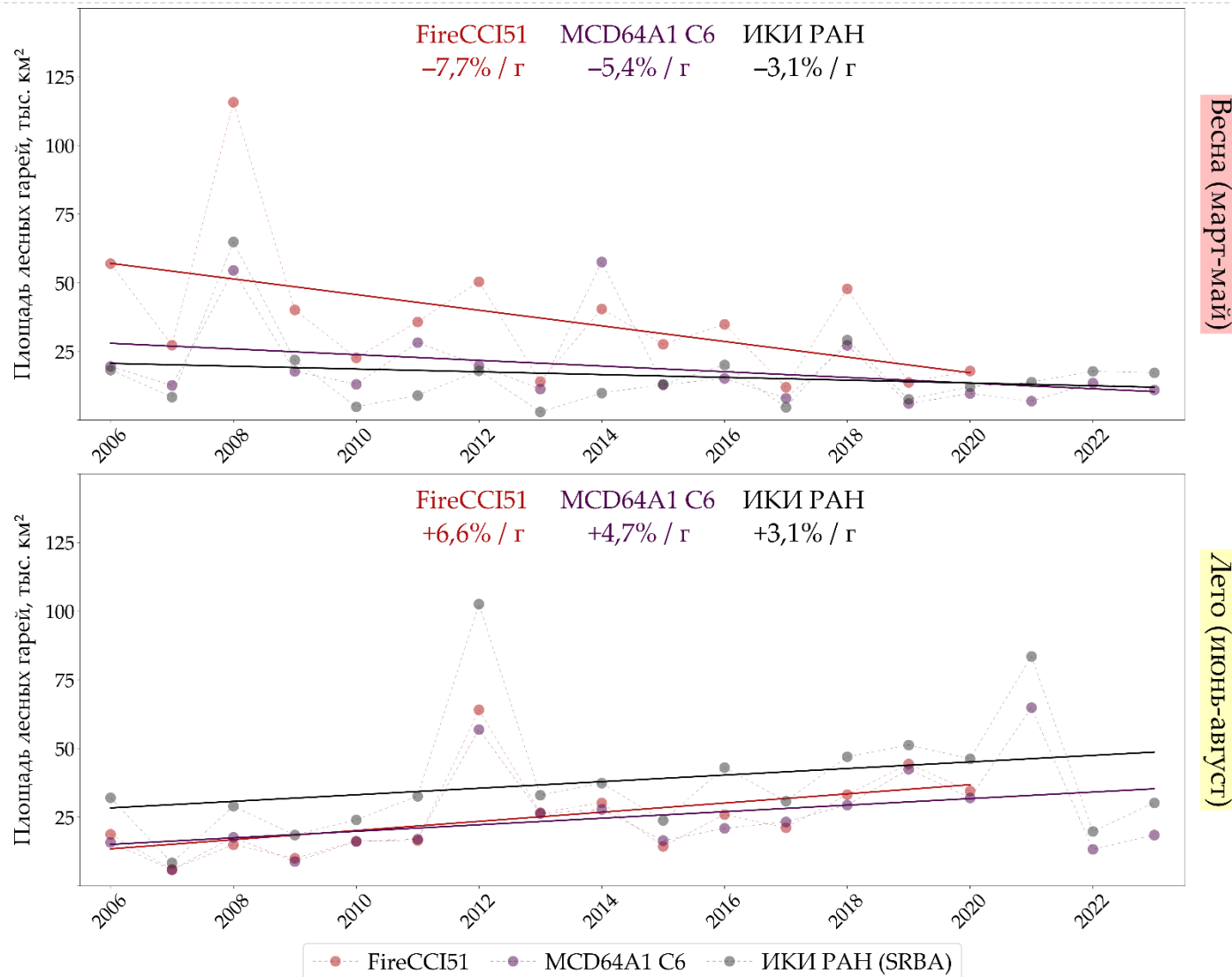




Тренды

Площадь **лесных** гарей по сезонам

- $S_{\text{весна}} \downarrow, S_{\text{лето}} \uparrow$
- Летальность: весна 0–20%, лето 55–75% [Барталев и др., 2017]





Глобальные продукты ДЗЗ

- Высокая **точность** выделения *лесных* гарей ($DC \approx 0,6-0,8$) и средняя — *травяных* ($DC \approx 0,25-0,7$)
- **Недооценка** площади гарей (лесные: 0–55%; травяные: –20–70%); соответствует глобальным исследованиям
- Низкая **точность** выделения сельхозпалов ($DC \leq 0,3$)

Продукт ИКИ РАН (SRBA)

- Высокая — *летние* лесные гари ($DC = 0,83$)
- Низкая — *весенние* лесные гари ($DC = 0,4$)
- Низкая — травяные гари ($DC = 0,3$)

Официальная отчётность

- Недооценка площади лесных гарей до середины 2010-ых гг., после — сопоставима с оценками продуктов ДЗЗ

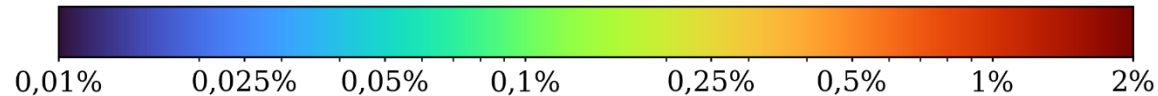
Тренды (2006–2023 гг.)

- Неизменная площадь лесных гарей (низколетальные *весенние* ↓, высоколетальные *летние* ↑)
- Значительное (–7% в год) снижение площади гарей травяных ландшафтов и сельхозпалов

Спасибо за внимание



Среднеголетняя доля пройденной огнём площади в ячейке 0,1°



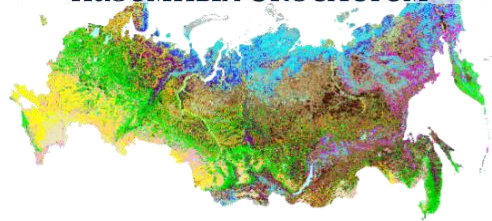


Финансирование



ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6) с использованием ресурсов Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг».



Глобальные продукты ДЗЗ фиксации гарей



ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

Продукт	Сенсор	Период наблюдений	Разрешение		Публикация	Ссылка на данные
			Простр.	Врем.		
ИКИ РАН (SRBA)	MODIS	2006–2023	231 м	День	[Барталев и др., 2012, п. 2.2]	—
CGLS BA v3.1	OLCI/SLSTR	2019 — наст. вр.	0,00298° (~333 м)	День	[Padilla et al., 2024]	https://globalland.vito.be/download/manifest/ba_300m_v3_monthly_netcdf/manifest_clms_global_ba_300m_v3_monthly_netcdf_latest.txt
FireCCI41	MERIS	2005–2011	0,00278° (~300 м)	День	[Chuvieco et al., 2016]	https://data.ceda.ac.uk/neodc/esacci/fire/data/burned_area/MERIS/pixel/v4.1/uncompressed
FireCCI51	MODIS	2001–2020	0,00225° (~250 м)	День	[Lizundia-Loiola et al., 2020]	https://data.ceda.ac.uk/neodc/esacci/fire/data/burned_area/MODIS/pixel/v5.1/compressed
FireCCILT11	AVHRR	1982–2018	0,05° (~5 км)	День	[Otón et al., 2021]	https://data.ceda.ac.uk/neodc/esacci/fire/data/burned_area/AVHRR-LTDR/pixel/v1.1/uncompressed
FireCCIS311	OLCI/SLSTR	2019–2022	0,00278° (~300 м)	День	[Lizundia-Loiola et al., 2022]	https://data.ceda.ac.uk/neodc/esacci/fire/data/burned_area/Sentinel3_SYN/pixel/v1.1
GABAM (GBA_30)	Landsat TM/ETM+/OLI	1985–2021	0,00025° (~30 м)	Год	[Long et al., 2019]	ftp://124.16.184.141/GABAM
MCD64A1 C6	MODIS	11.2000 — наст. вр.	463 м	День	[Giglio et al., 2018]	sftp://fuoco.geog.umd.edu логин: fire; пароль: burnt
GFED v4.1s	MODIS	2001–2016	0,25°	День	[van der Werf et al., 2017]	https://www.geo.vu.nl/~gwerf/GFED/GFED4/
GFED v4 500m	MODIS	2002–2020	463 м	Месяц	[van Wees et al., 2022]	https://doi.org/10.5281/zenodo.7229674
GFED v5 BA	MODIS	2002–2020	0,25°	Месяц	[Chen et al., 2023]	https://zenodo.org/records/7668424

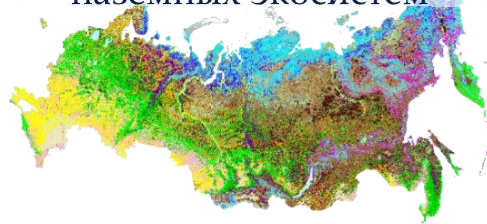


Методика

Оценка пространственной точности

- Обработка *растеризованных* данных по гранулам UTM
- Векторные выборки (Россия, 2020 г.; аридные ландшафты) растеризовывались до 20 и 30 м соответственно (`all_touched = True`)
- [Генерализация карт растительного покрова](#)
- Используются все детекции (все уровни confidence у FireCCI и QA у MCD64A1 C6)
- Россия, 2020 г. [Glushkov et al., 2021]:
 - Деление на весенний и летне-осенний период по 15.05.2020
 - Не учитывались 9 северных регионов в весенний период (см. [Glushkov et al., 2021, Supplements])
- Аридные ландшафты:
 - Учитывались гари только в границе выборки (комплексная административная граница)
 - Учёт растительности по карте ESA CCI LC 300m (т. к. выборка находится в т. ч. на территории Казахстана)
- Общая оценка: сумма значений [матриц перепутывания](#) по гранулам UTM

Ген. тип	Исходный тип раст. (ИКИ РАН)	Исходный тип раст. (ESA CCI LC 300m)
1. Леса	1. Темнохвойный лес	50. Tree cover, broadleaved, evergreen, closed to open (>15%)
	2. Светлохвойный лес	60-62. Tree cover, broadleaved, deciduous, closed to open (>15%)
	3. Лиственный лес	
	4. Смешанный лес с преобладанием хвойных	70-72. Tree cover, needleleaved, evergreen, closed to open (>15%)
	5. Смешанный лес	80-82. Tree cover, needleleaved, deciduous, closed to open (>15%)
	6. Смешанный лес с преобладанием лиственных	90. Tree cover, mixed leaf type (broadleaved and needleleaved)
	7. Хвойный листопадный лес	100. Mosaic tree and shrub (>50%) / herbaceous cover (<50%)
	8. Редины хвойные листопадные	151. Sparse tree (<15%)
2. Травяные	9. Луга	110. Mosaic herbaceous cover (>50%) / tree and shrub (<50%) 130. Grassland
	10. Степь	150. Sparse vegetation (tree, shrub, herbaceous cover) (<15%)
		153. Sparse herbaceous cover (<15%)
3. Сельхозугодья	18. Пахотные земли	10-12. Cropland, rainfed
		20. Cropland, irrigated or post-flooding
		30. Mosaic cropland (>50%) / natural vegetation (tree, shrub, herbaceous cover) (<50%)
		40. Mosaic natural vegetation (tree, shrub, herbaceous cover) (>50%) / cropland (<50%)
4. Водно-болотные	15. Болота	160. Tree cover, flooded, fresh, or brackish water 170. Tree cover, flooded, saline water
	16. Прибрежная растительность	180. Shrub or herbaceous cover, flooded, fresh/saline/brackish water
5. Кустарники	11. Хвойный кустарник	120-122. Shrubland
	23. Лиственный кустарник	152. Sparse shrub (<15%)
6. Тундры	12. Кустарничковая тундра	140. Lichens and mosses
	13. Травянистая тундра	
	14. Кустарниковая тундра	
7. Гари пред. лет	17. Гари	—
8. Н/д	0. Фон	0. No Data
	19. Вечные снега и льды	220. Permanent snow and ice
	20. Открытые грунты и выходы горных пород	200-202. Bare areas
	21. Водные объекты	210. Water bodies
	22. Урбанизированные территории	190. Urban areas



Методика и результаты матрица перепутывания



ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

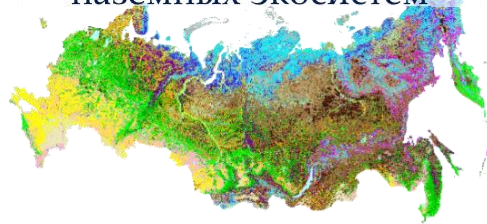
Метрика	Английское название	Формула
Ложные детекции, %	Commission error (C_e)	$C_e = \frac{A_{12}}{A_{1+}}$
Пропуски, %	Omission error (O_e)	$O_e = \frac{A_{21}}{A_{+1}}$
Систематическая ошибка, %	Relative bias (relB)	$relB = \frac{A_{12} - A_{21}}{A_{+1}}$
Индекс Дайса	Dice coefficient (DC)	$DC = \frac{2A_{11}}{2A_{11} + A_{12} + A_{21}}$

Параметр	Валид. гари	Валид. нет гарей	Валид. всего
Продукт, гари	A_{11}	A_{12}	A_{1+}
Продукт, нет гарей	A_{21}	A_{22}	A_{2+}
Продукт, всего	A_{+1}	A_{+2}	A_{u}

Продукт ИКИ РАН vs Россия, 2020 г.	Валид. гари	Валид., нет гарей	Валид. всего	Валид. гари	Валид., нет гарей	Валид. всего	Валид. гари	Валид., нет гарей	Валид. всего
Тип раст.	Лесные			Травяные			Сельхозпалы		
ИКИ РАН, гари	60	13	73	33	57	90	2	7	8
ИКИ РАН, нет гарей	32	7877	7909	78	1510	1588	18	845	862
ИКИ РАН, всего	92	7890	7982	111	1567	1678	19	851	870
Тип раст.	Водно-болотные			Кустарниковые			Тундровые		
ИКИ РАН, гари	8	2	11	9	2	11	4	1	5
ИКИ РАН, нет гарей	4	1285	1289	2	858	861	2	2186	2188
ИКИ РАН, всего	13	1287	1300	12	861	872	6	2187	2193

Тип раст.	Продукт	Ложн. дет., %			Пропуски, %			Сист. ошибка, %			Индекс Дайса		
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
Бореальные леса	MCD64A1 C6	17	23	—	56	20	—	-47	4,4	—	57	79	—
	FireCCI51	11	—	—	36	—	—	-28	—	—	74	—	—
	FireCCIS311	11	21	—	34	21	—	-26	0,5	—	76	79	—
	GABAM	2,3	13	—	57	32	—	-56	-22	—	60	77	—
	CGLS BA v3.1	46	32	—	25	8,4	—	38	34	—	63	78	—
	ИКИ РАН	18	24	—	35	9,7	—	-21	19	—	73	83	—
Травяные	MCD64A1 C6	40	—	10	86	—	36	-76	—	-29	23	—	75
	FireCCI51	22	—	15	53	—	41	-40	—	-31	59	—	70
	FireCCIS311	18	—	20	58	—	24	-49	—	-4,3	55	—	78
	GABAM	21	—	17	73	—	71	-66	—	-65	40	—	43
	CGLS BA v3.1	26	—	22	55	—	36	-39	—	-18	56	—	70
	ИКИ РАН	64	—	27	70	—	84	-19	—	-78	33	—	27
	FireCCI41	—	—	13	—	—	73	—	—	-69	—	—	42
	FireCCILT11	—	—	—	—	—	—	—	—	-32*	—	—	—
	MCD45A1 C5	—	—	15	—	—	59	—	—	-52	—	—	55
	CGLS BA v1.1	—	—	60	—	—	65	—	—	-13	—	—	38
Сельхозпалы	MCD64A1 C6	83	—	38	90	—	44	-42	—	-9,3	12	—	59
	FireCCI51	79	—	46	70	—	35	41	—	21	25	—	59
	FireCCIS311	70	—	55	68	—	35	6,8	—	44	31	—	54
	GABAM	79	—	43	75	—	61	20	—	-32	23	—	46
	CGLS BA v3.1	78	—	56	72	—	34	26	—	48	25	—	53
	ИКИ РАН	80	—	61	92	—	58	-58	—	6,9	12	—	40
	FireCCI41	—	—	43	—	—	58	—	—	-27	—	—	48
	FireCCILT11	—	—	—	—	—	—	—	—	15*	—	—	—
	MCD45A1 C5	—	—	49	—	—	49	—	—	0	—	—	51
	CGLS BA v1.1	—	—	88	—	—	47	—	—	346	—	—	19

(1) Россия, 2020 г. [Glushkov et al., 2021] (2) Леса Якутии (3) Аридные ландшафты



Результаты глобальных валидационных исследований

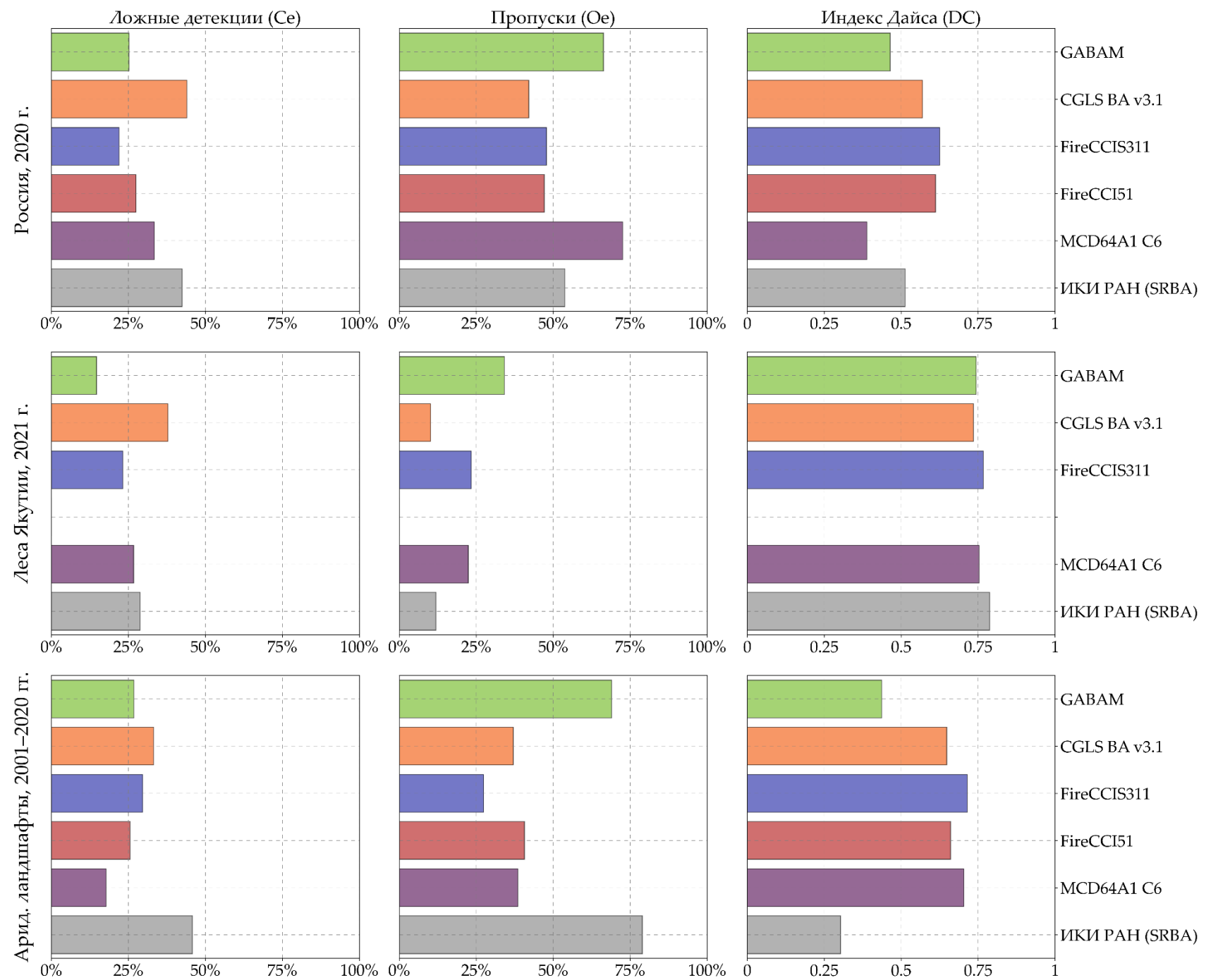


ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РАН

а	б	в	г
Boschetti et al., 2019	Franquesa et al., 2022	[Padilla, Ramo, 2024]	[Long et al., 2019]

Тип раст. покрова	Продукт	Ложн. дет., %				Пропуски, %				Сист. ошибка, %		Индекс Дайса		
		а	б	в	г	а	б	в	г	а	б	а	б	в
Бореальные леса (boreal forest)	MCD64A1 C6	23,9	20,4	20,4	—	27	27,8	27,4	—	-4	-9,3	—	75,7	75
	FireCCI51	—	23,2	—	—	—	18,8	—	—	—	5,7	—	79	—
	FireCCIS311	—	—	22	—	—	—	15,3	—	—	—	—	—	80
	GABAM	—	—	—	7,4	—	—	—	18,3	—	—	—	—	—
	CGLS BA v3.1	—	—	39,2	—	—	—	14,8	—	—	—	—	—	70,1
Сешанные леса (temperate forest)	MCD64A1 C6	55,7	19,6	17,2	—	94,5	62,1	60,2	—	-87,6	-52,9	—	51,5	53,2
	FireCCI51	—	22,3	—	—	—	51,7	—	—	—	-37,8	—	59,6	—
	FireCCIS311	—	—	18,8	—	—	—	39,1	—	—	—	—	—	69,1
	GABAM	—	—	—	8,7	—	—	—	34,3	—	—	—	—	—
	CGLS BA v3.1	—	—	96,8	—	—	—	36,9	—	—	—	—	—	6,5
Травяные (temperate savanna)	MCD64A1 C6	27,9	21,9	21,5	—	63,4	57,6	58	—	-49,2	-45,7	—	55	54,2
	FireCCI51	—	19,6	—	—	—	49,6	—	—	—	-37,3	—	62	—
	FireCCIS311	—	—	17,7	—	—	—	42,7	—	—	—	—	—	67,1
	GABAM	—	—	—	11,9	—	—	—	23,1	—	—	—	—	—
	CGLS BA v3.1	—	—	19,9	—	—	—	42,7	—	—	—	—	—	66,1

Все типы гарей



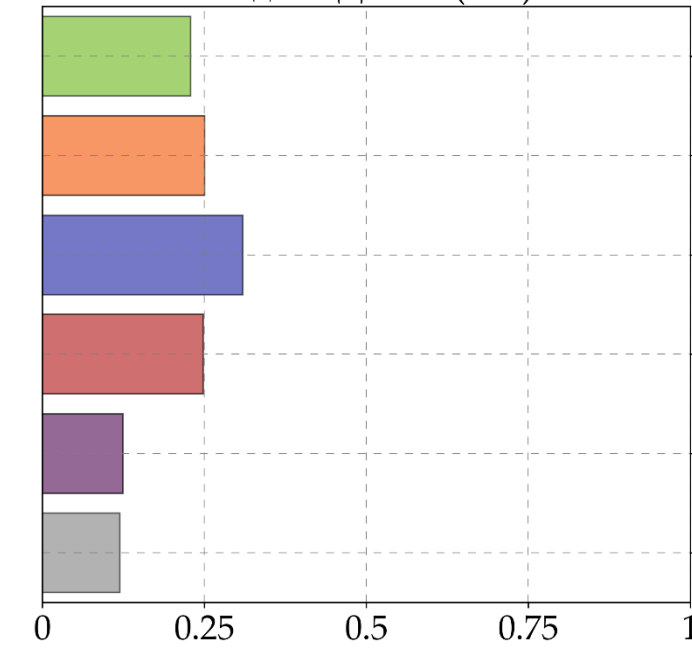
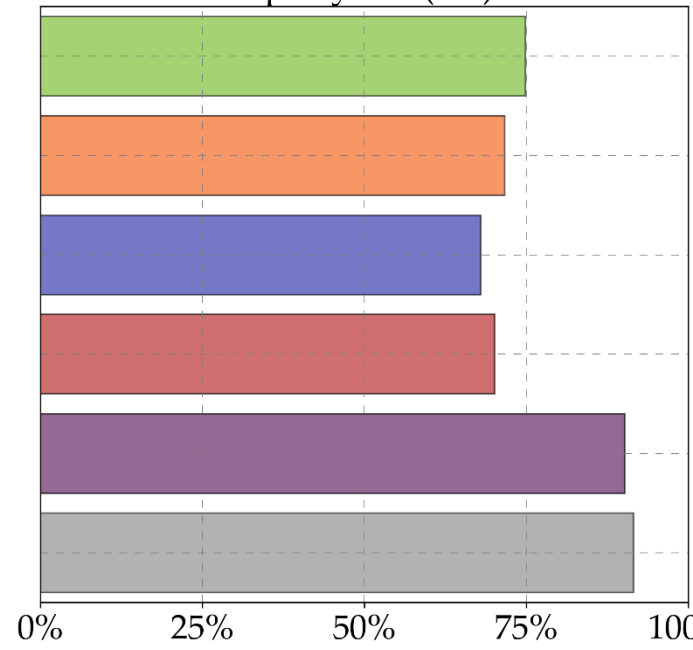
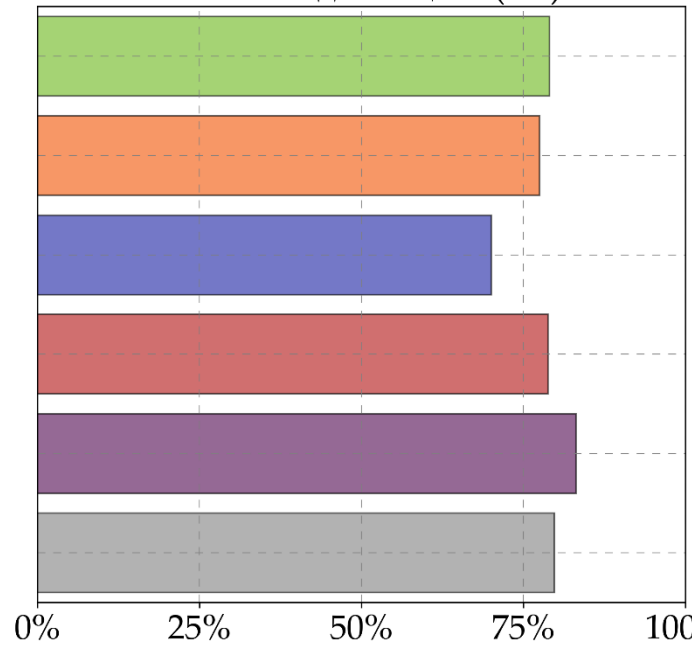
Сельхозпалы

Ложные детекции (Se)

Пропуски (Oe)

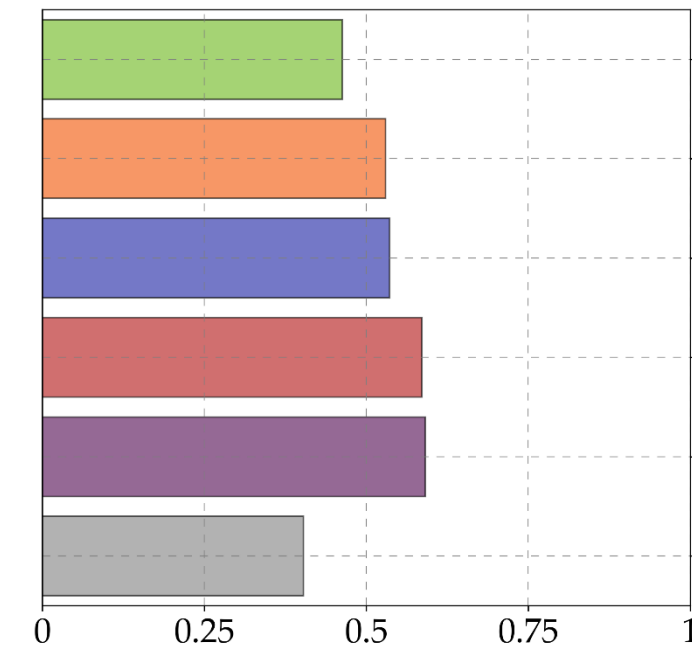
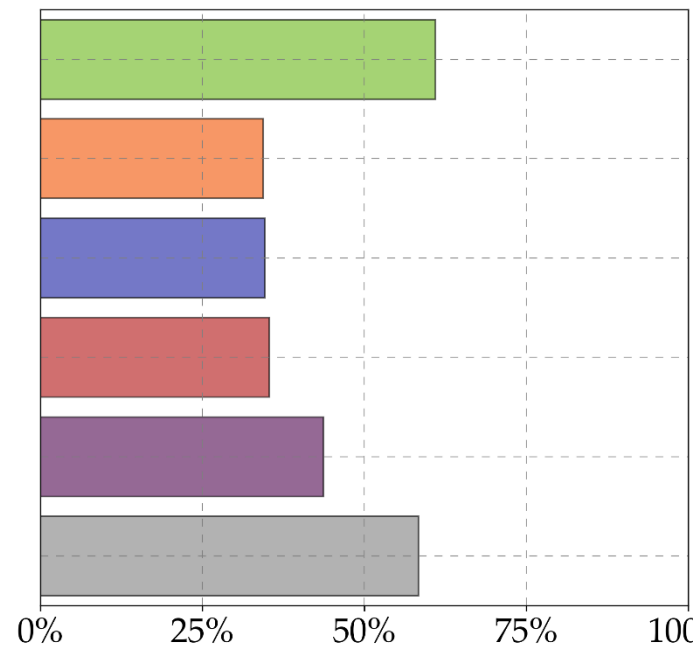
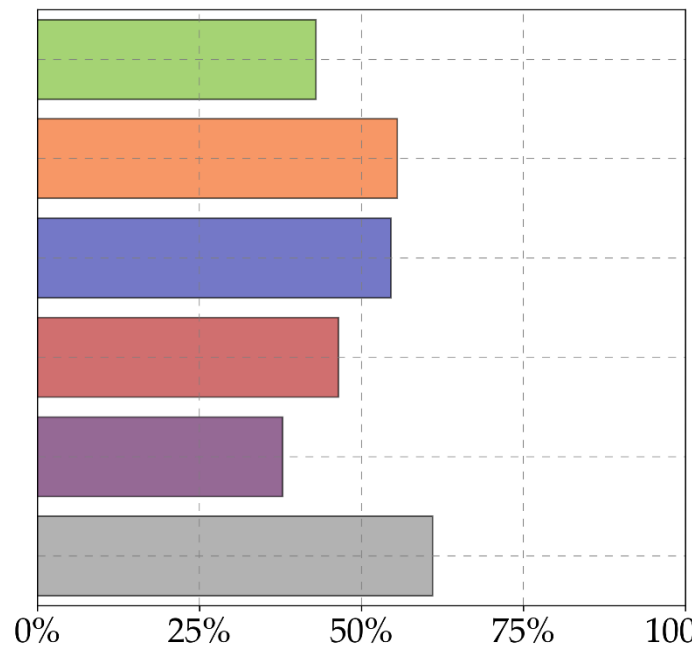
Индекс Дайса (DC)

Россия, 2020 г.



GABAM
CGLS BA v3.1
FireCCIS311
FireCCI51
MCD64A1 C6
ИКИ РАН (SRBA)

Арид. ландшафты, 2001–2020 гг.

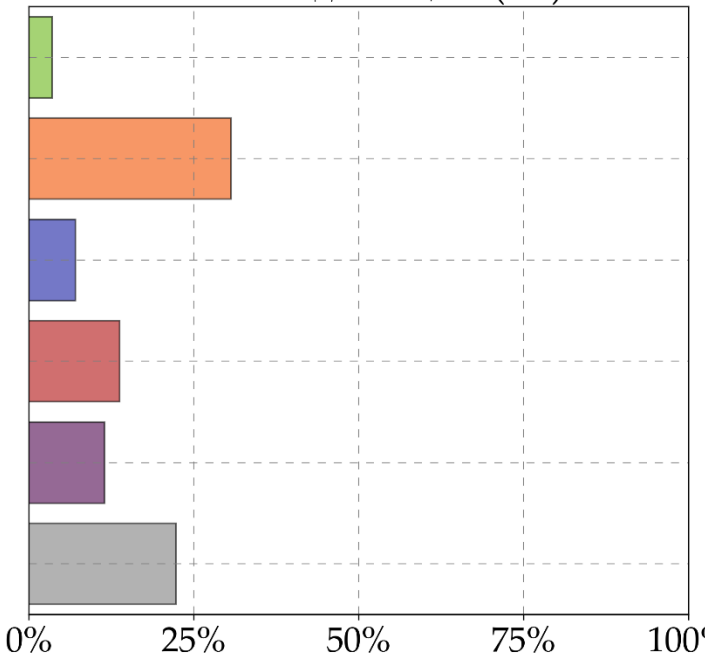


GABAM
CGLS BA v3.1
FireCCIS311
FireCCI51
MCD64A1 C6
ИКИ РАН (SRBA)

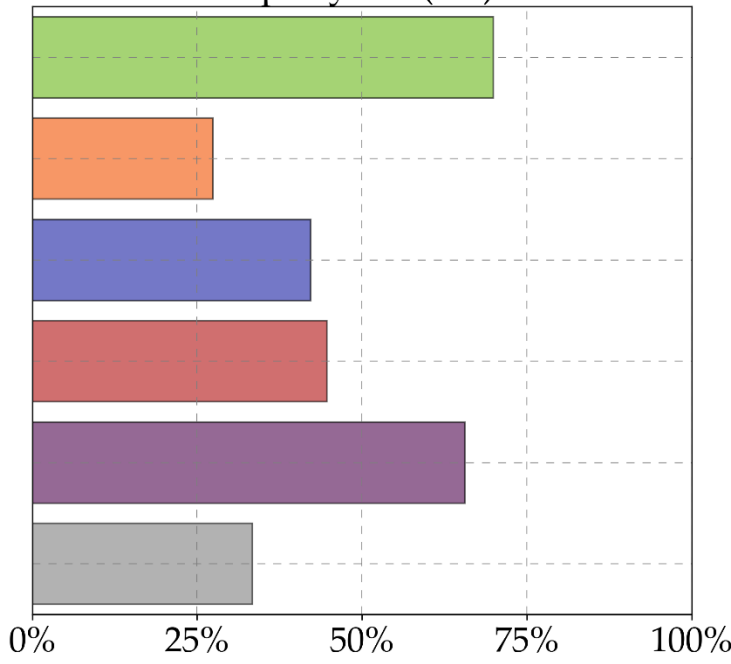
Гари на водно-болотных ландшафтах

Россия, 2020 г.

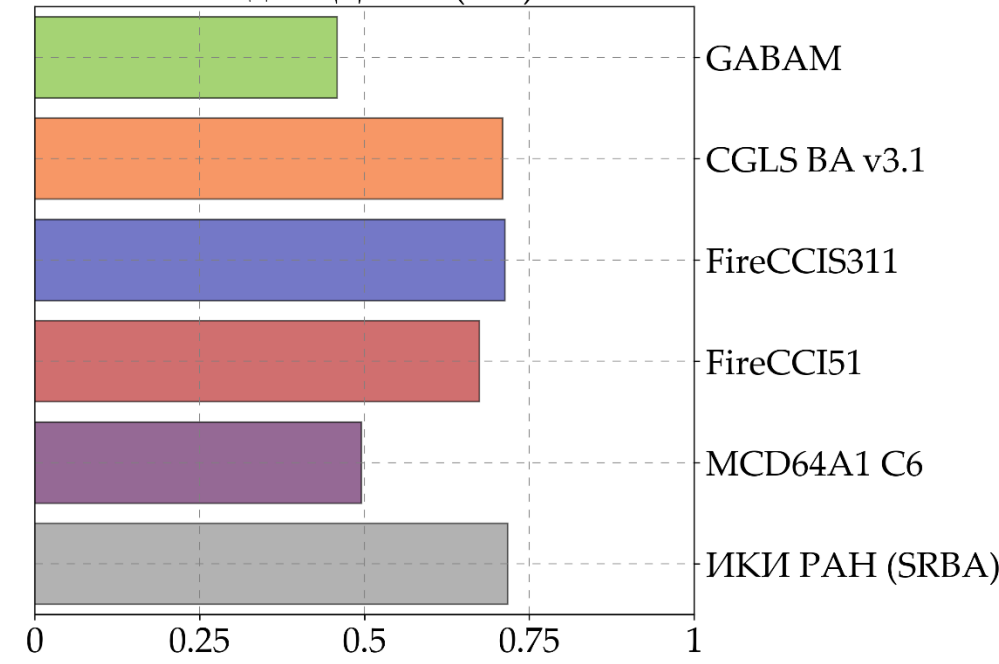
Ложные детекции (Se)



Пропуски (Oe)



Индекс Дайса (DC)

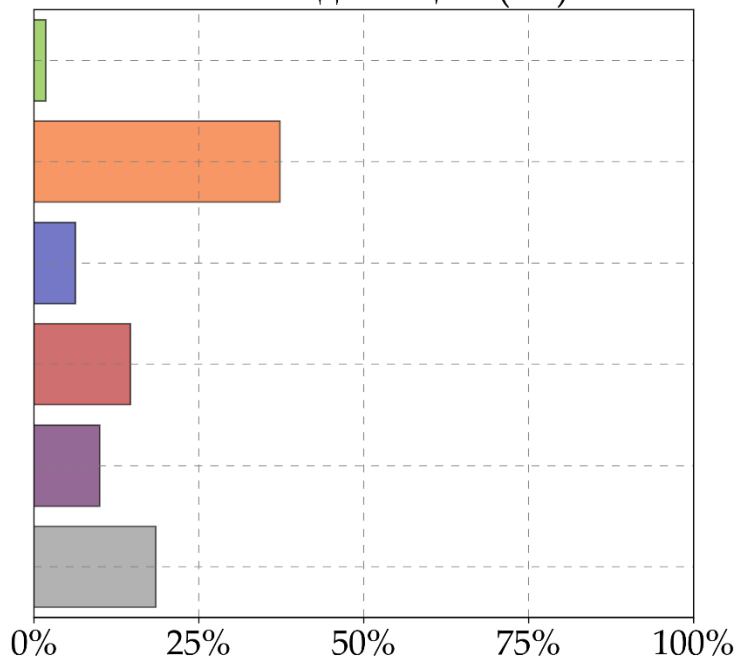


GABAM
CGLS BA v3.1
FireCCIS311
FireCCI51
MCD64A1 C6
ИКИ РАН (SRBA)

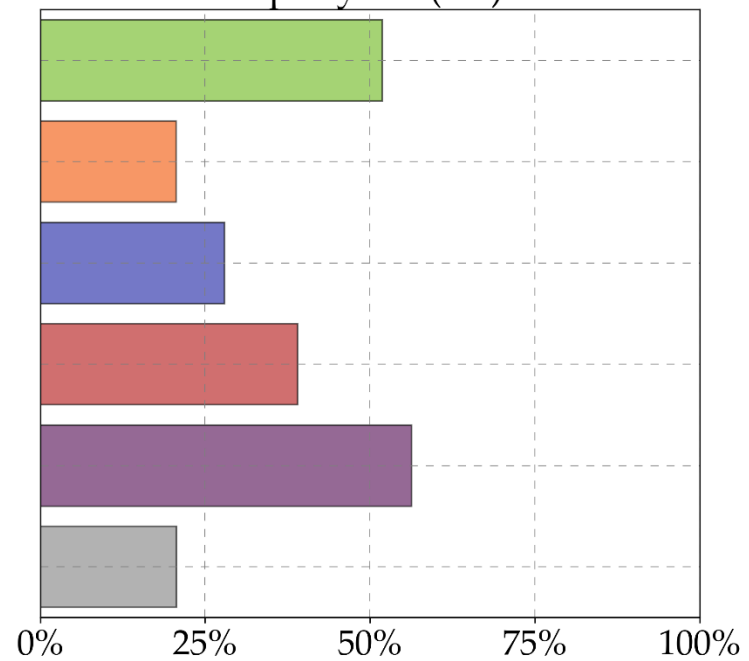
Россия, 2020 г.

Кустарниковые гари

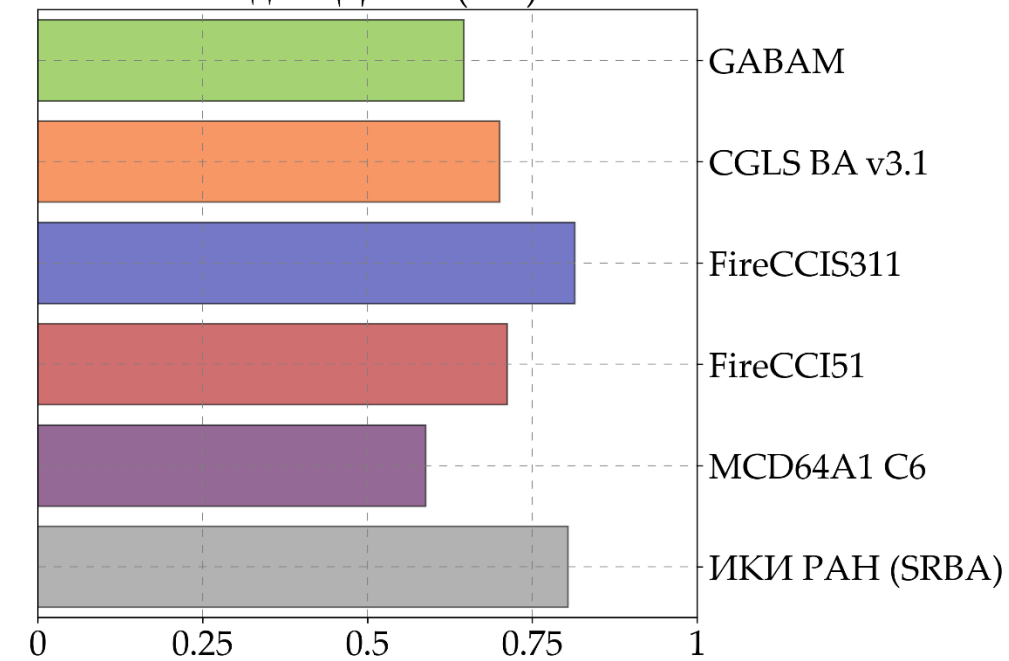
Ложные детекции (Se)



Пропуски (Oe)



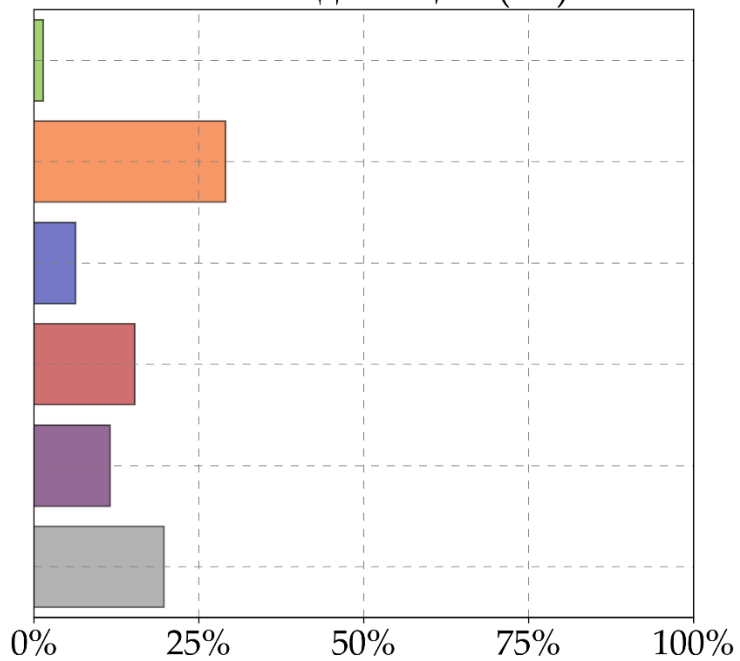
Индекс Дайса (DC)



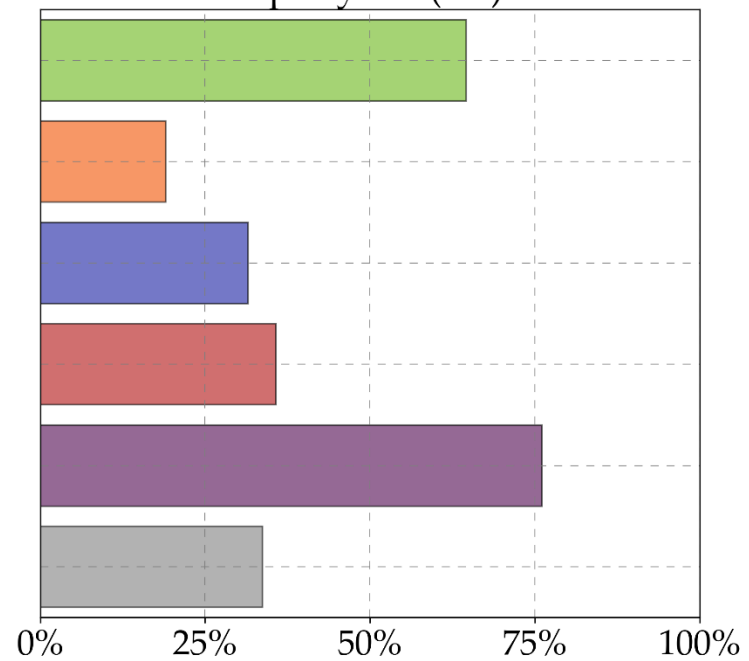
Россия, 2020 г.

Тундровые гари

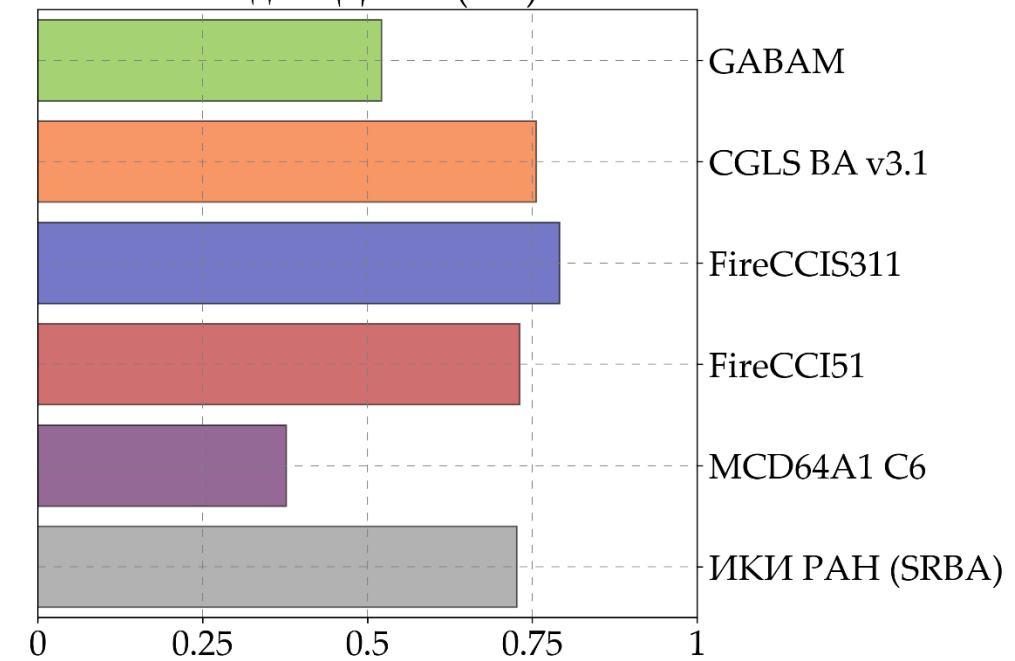
Ложные детекции (Se)



Пропуски (Oe)



Индекс Дайса (DC)



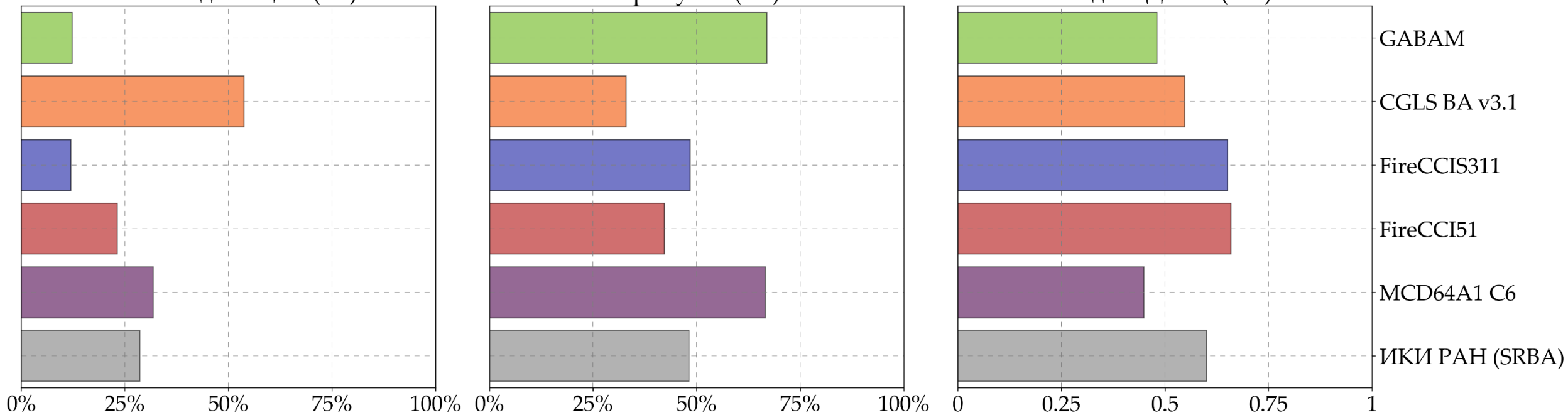
Россия, 2020 г.

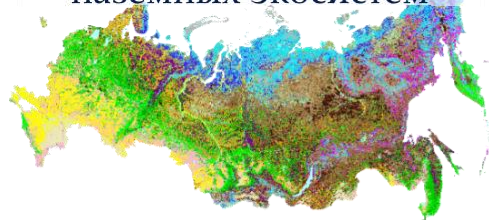
Гари предыдущих лет (возврат)

Ложные детекции (Se)

Пропуски (Oe)

Индекс Дайса (DC)

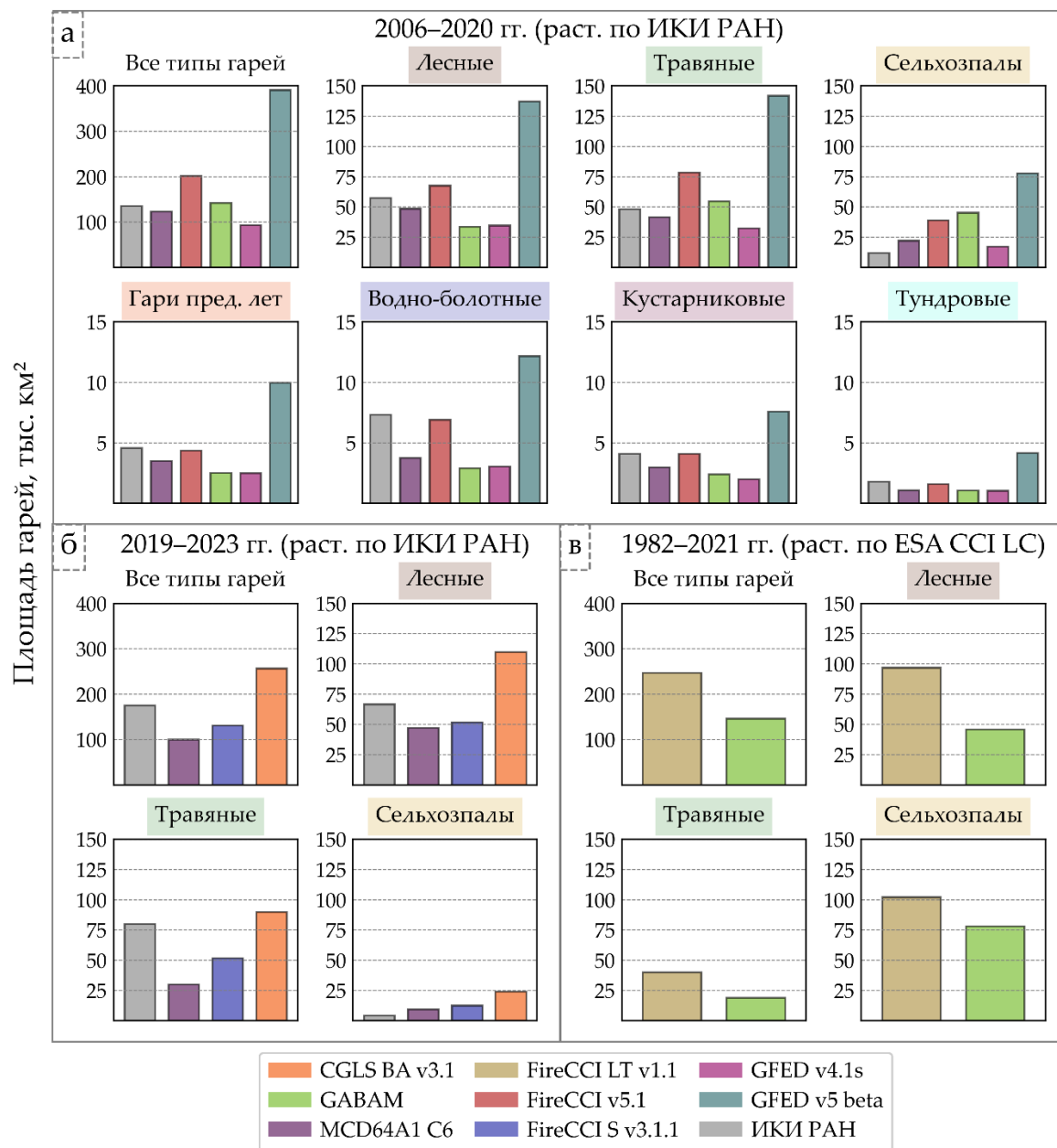


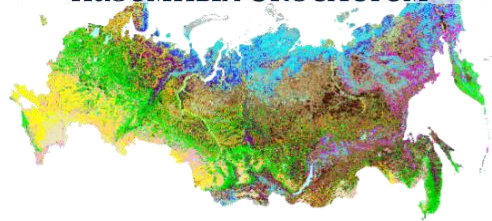


Пройденная огнём площадь по типу растительного покрова (ИКИ РАН)



ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН



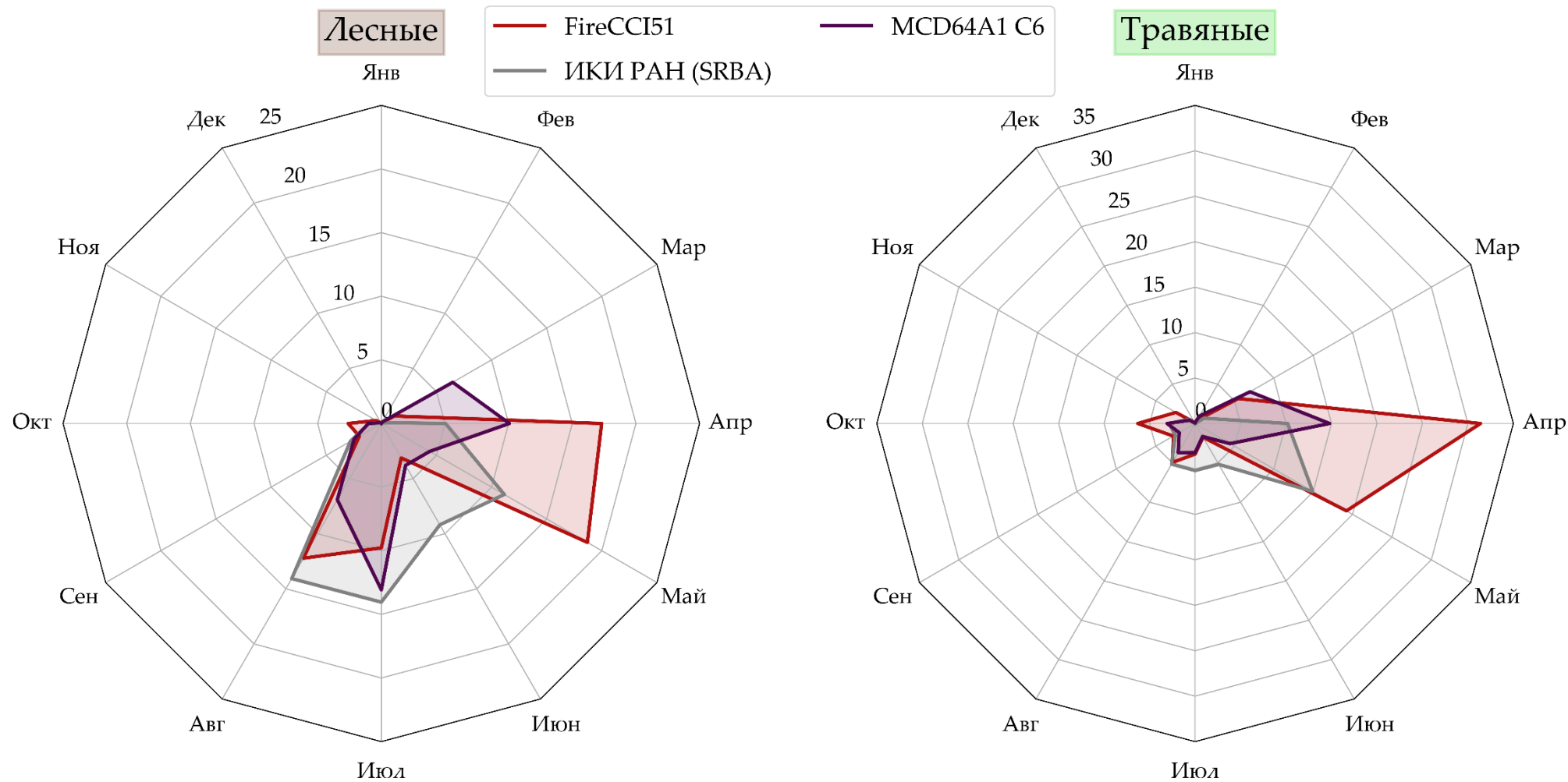


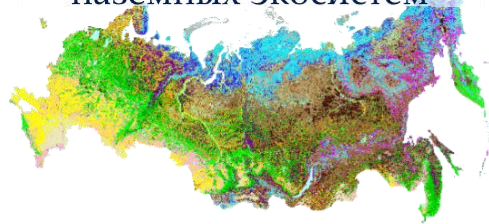
Динамика гарей по России

Среднееежемесячные данные: 2006–2020 гг.

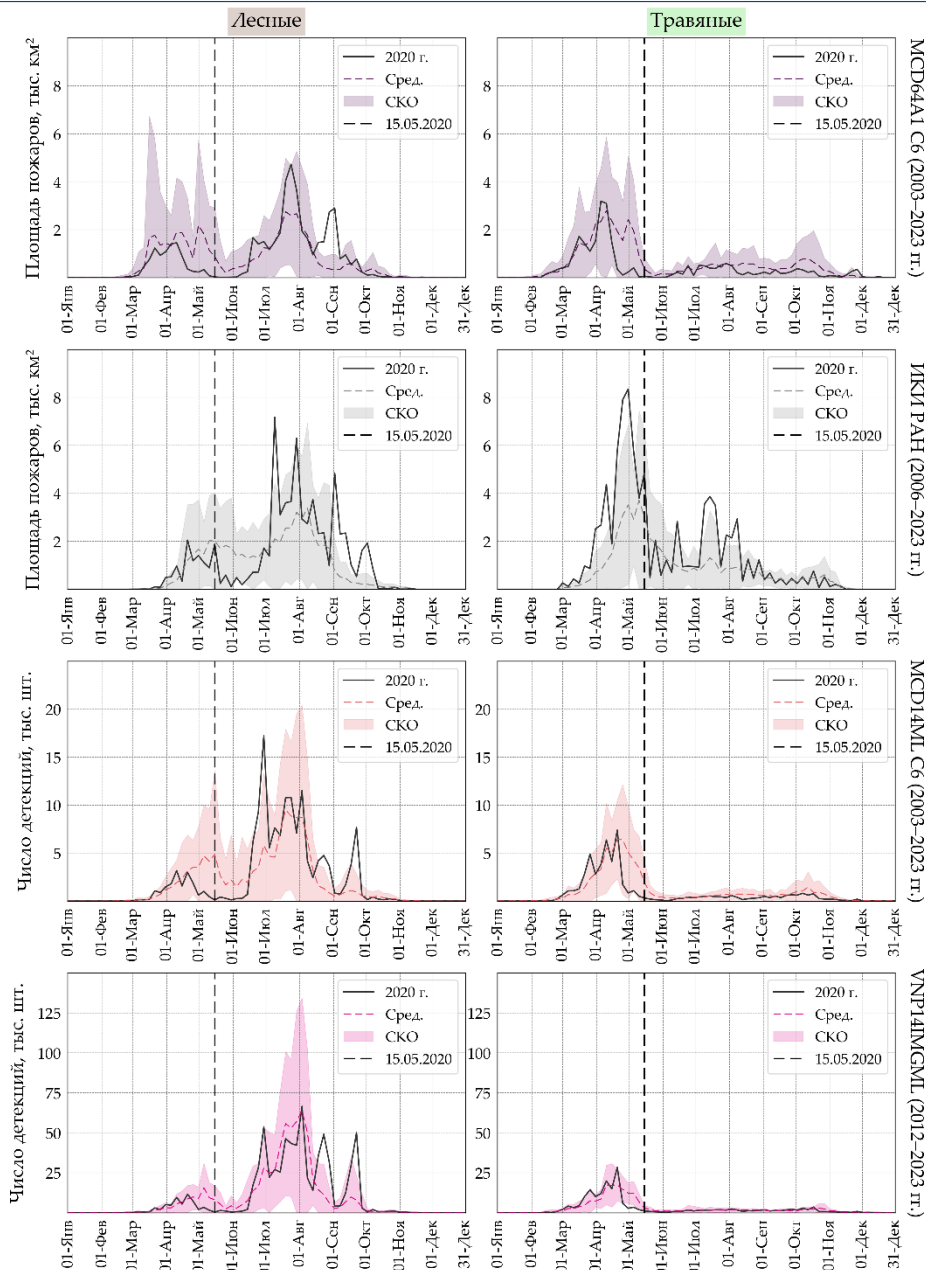
- FireCCI51: «весенний» продукт
- MCD64A1 C6: артефакты в марте

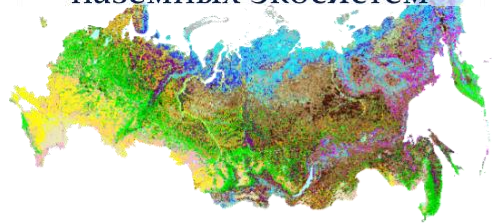
2006–2020 гг. (тыс. км²)





Репрезентативность пожарного сезона 2020 г.

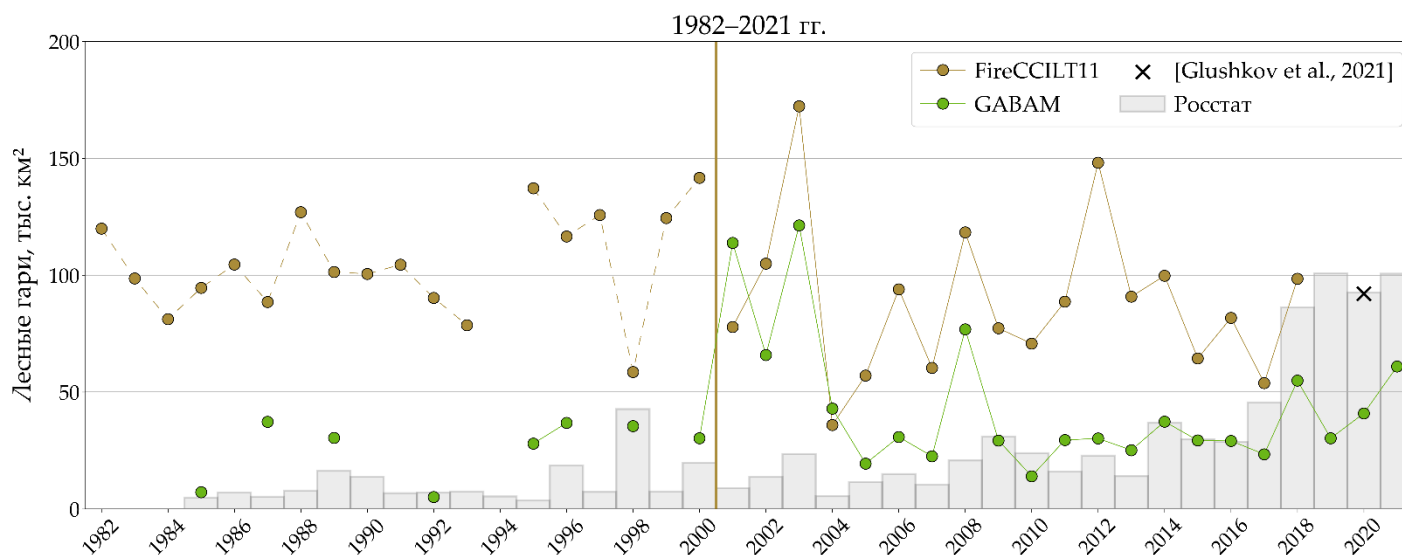
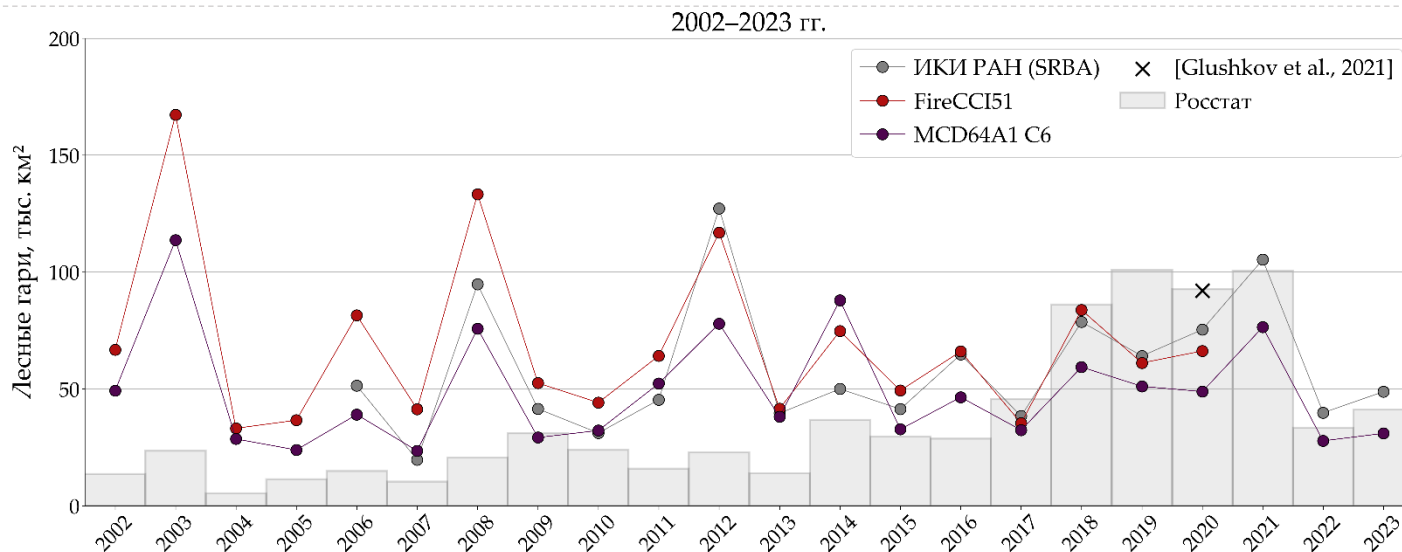




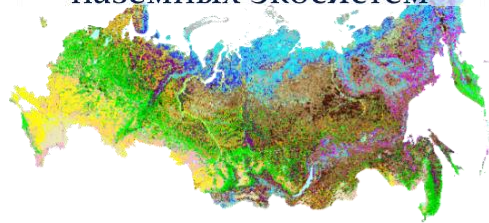
Динамика гарей по России

Сопоставление с официальной отчётностью

- Учтены лесные пожары лесного и нелесного фонда
 - С середины 2010-ых гг. Росстат \approx продукты ДЗЗ



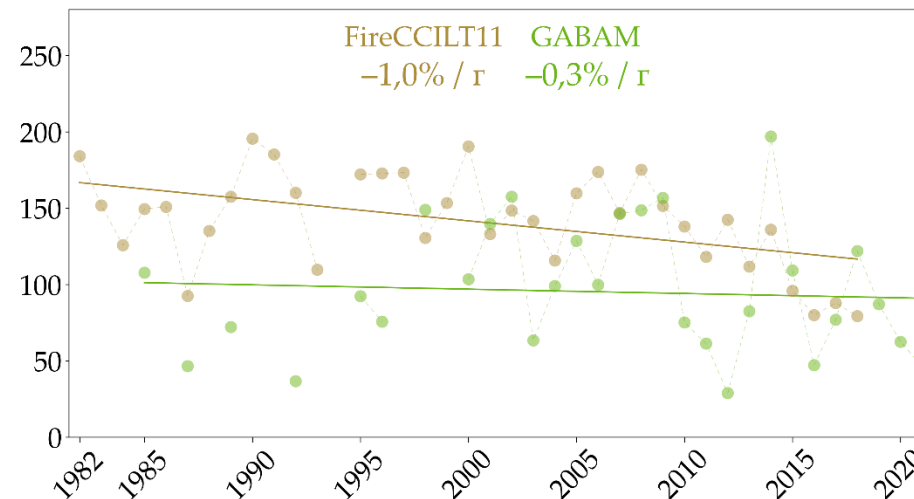
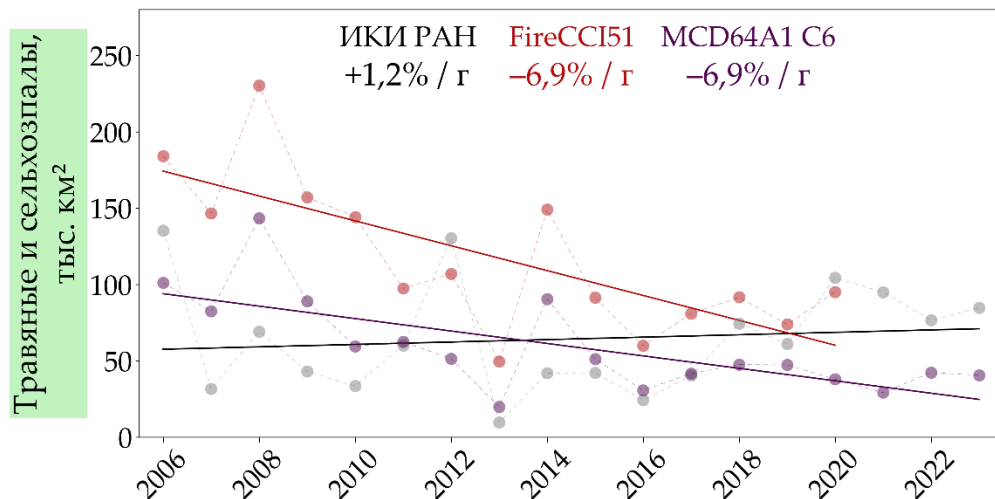
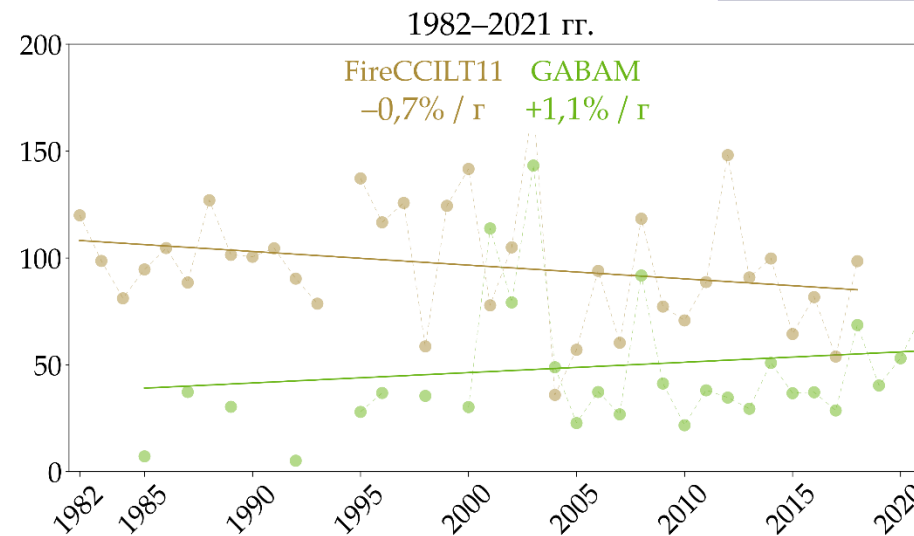
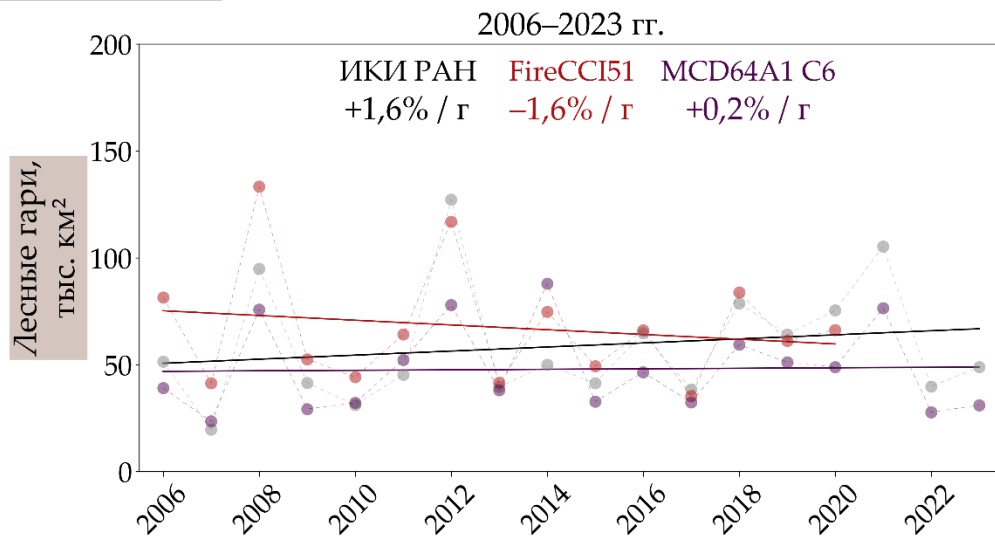
* Для FireCCILT11 до 2001 г. возможна значительная доля аномальных наблюдений [Giglio, Roy, 2022]



Тренды

Динамика изменения площади гарей

- **Лесные гари:** различный тренд у продуктов
- **Нелесной фонд:** площадь гарей сокращается

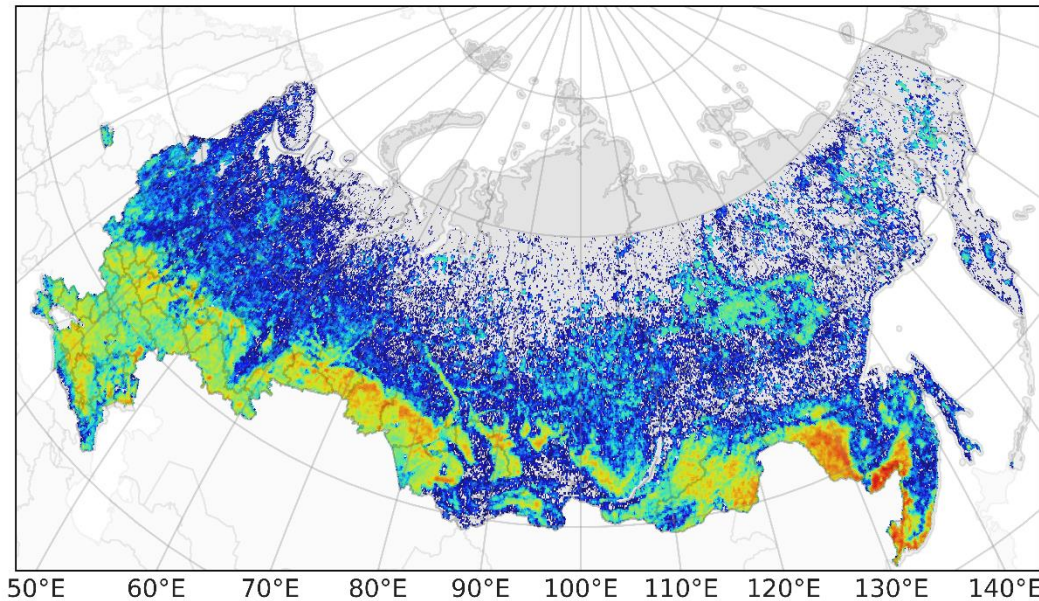


ИКИ РАН (SRBA) FireCCI51 MCD64A1 C6

FireCCILT11 GABAM

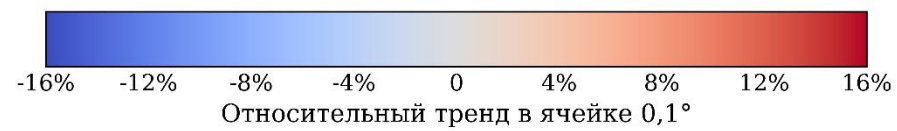
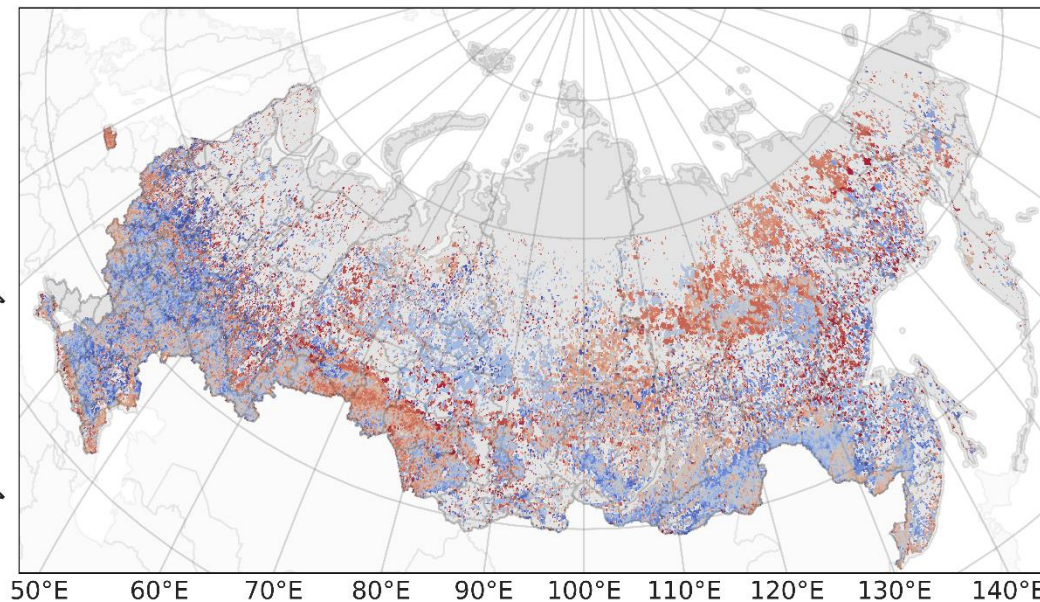
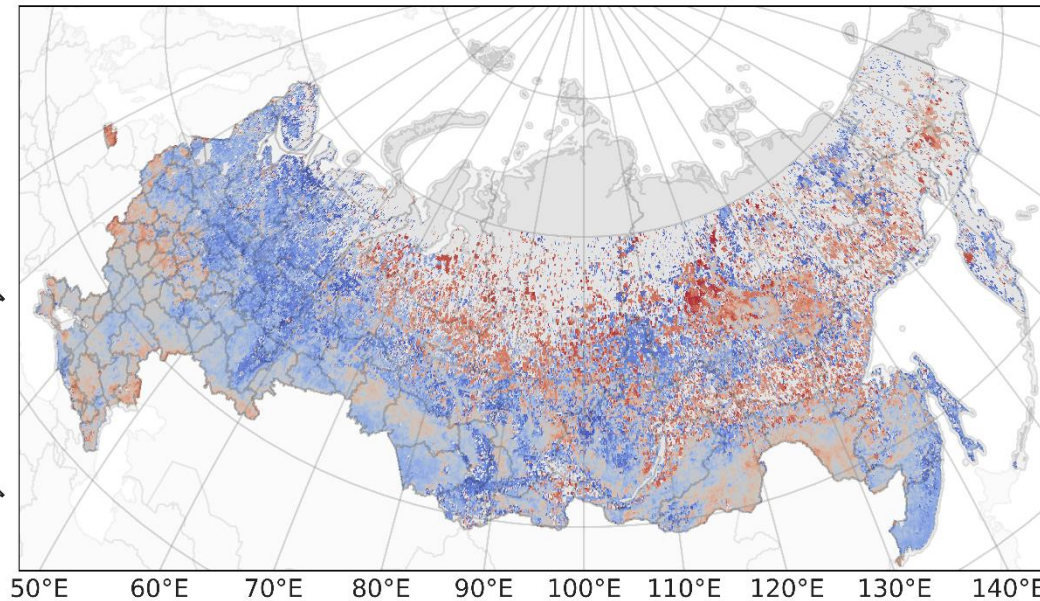
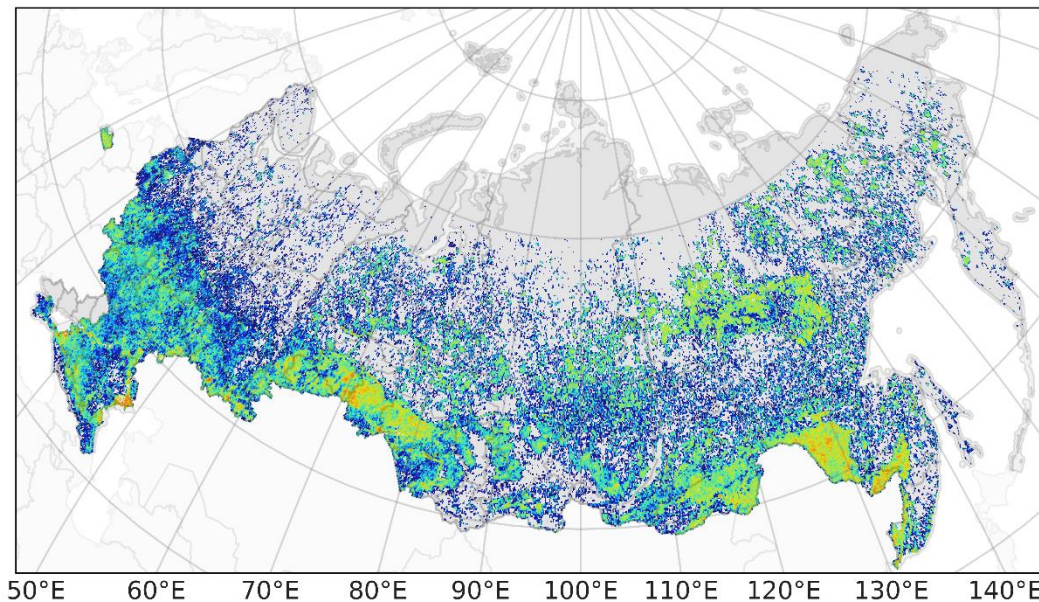
Среднегодовая площадь

FireCCI1.1 (AVHRR, 0.05°)
1982-2018 гг.



Относительный тренд

ИКИ РАН (MODIS, 230 м)
2006-2023 гг.

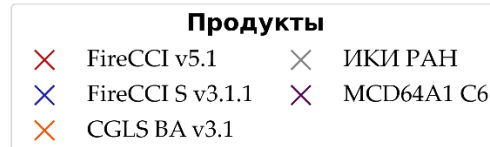
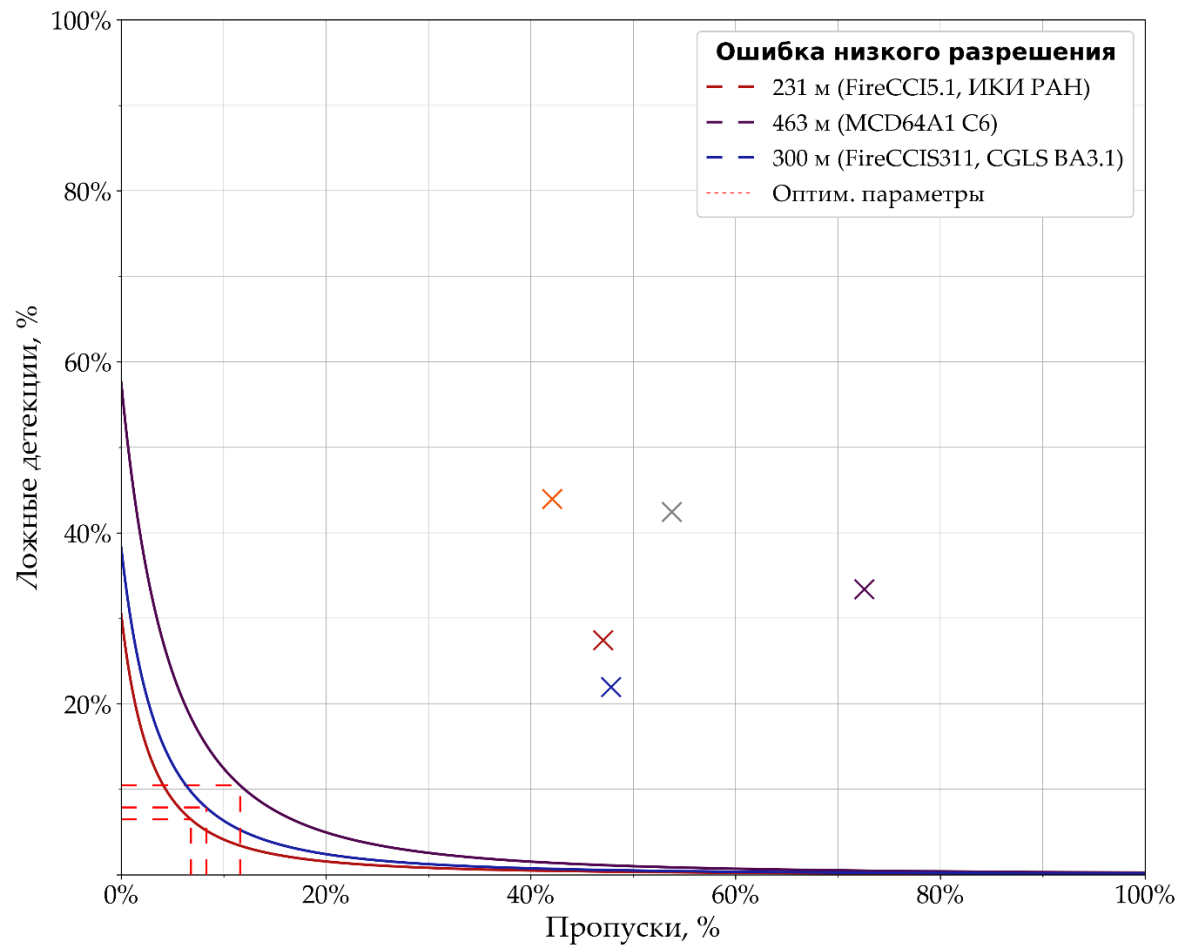


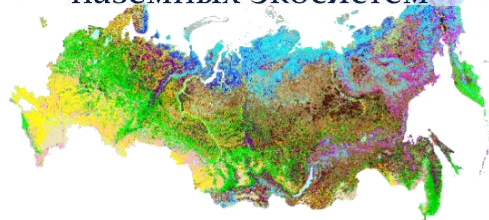


Обсуждение

Оценка low-resolution bias [Boshcietti et al., 2004]

Оценка вклада ошибки, вызванной исключительно низким простр. разрешением, по выборке Россия, 2020 г.

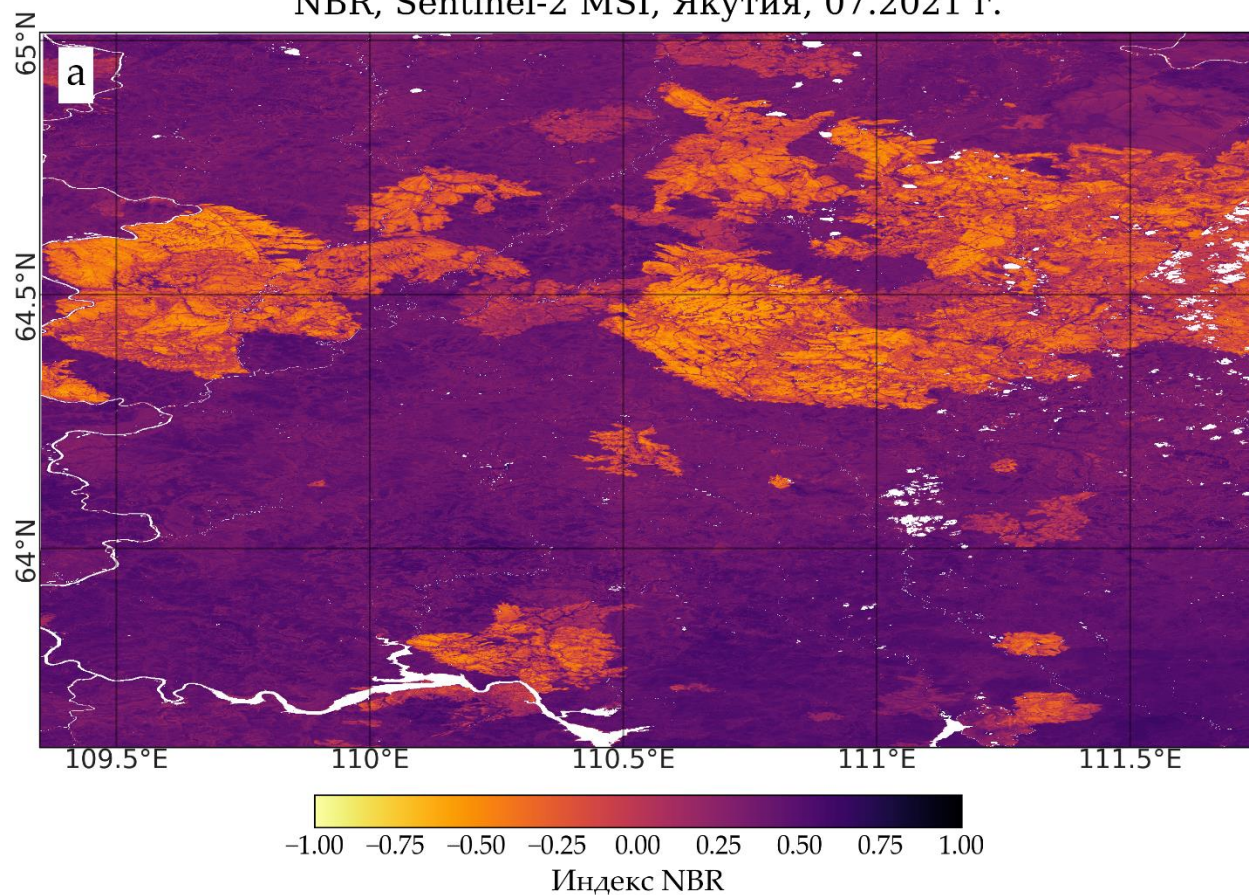




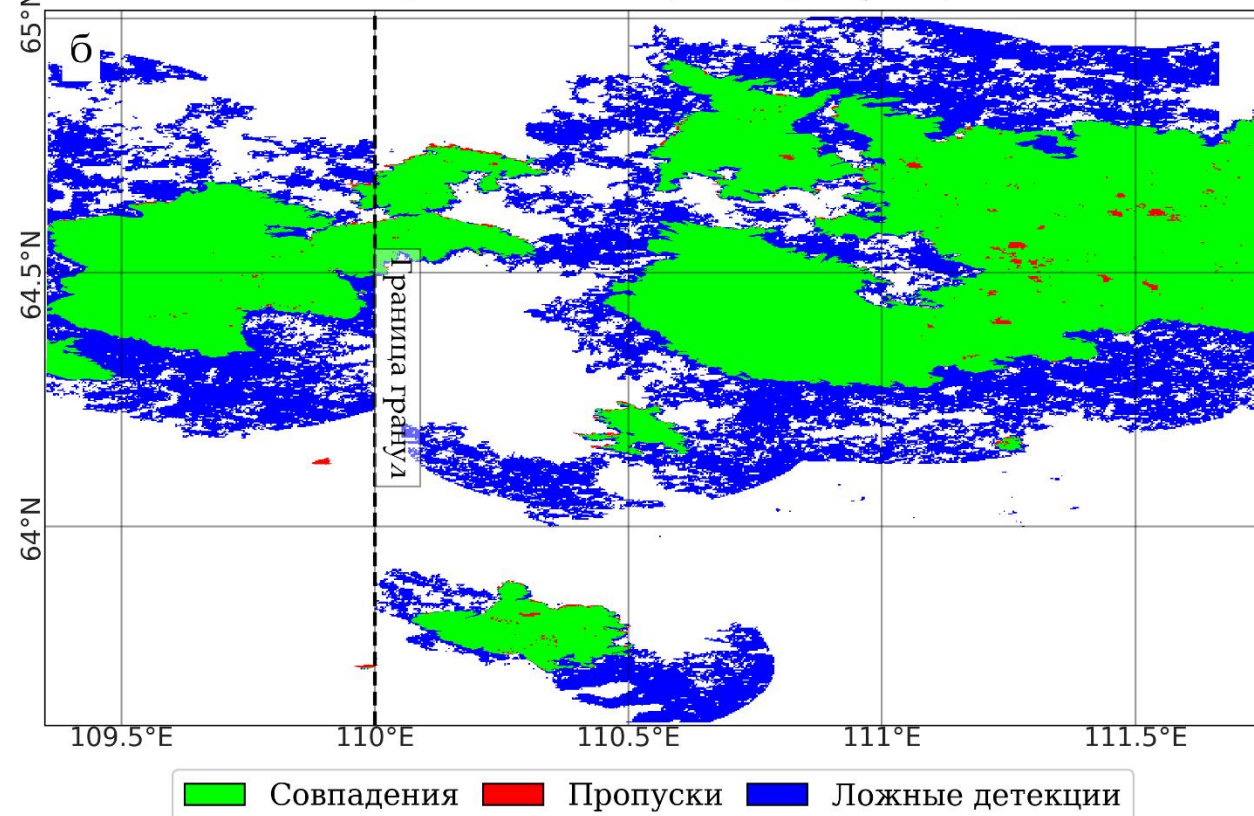
Обсуждение: артефакты продуктов Copernicus CGLS BA 300m v3.1

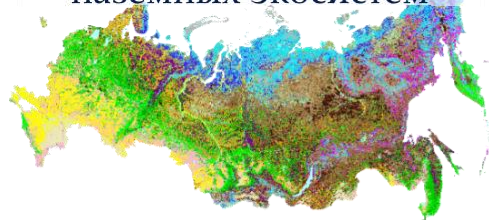
Облако из ложных детекций вокруг гари

NBR, Sentinel-2 MSI, Якутия, 07.2021 г.



CGLS BA v3.1 vs [Glushkov et al., 2021], Якутия, 05-12.2020 г.



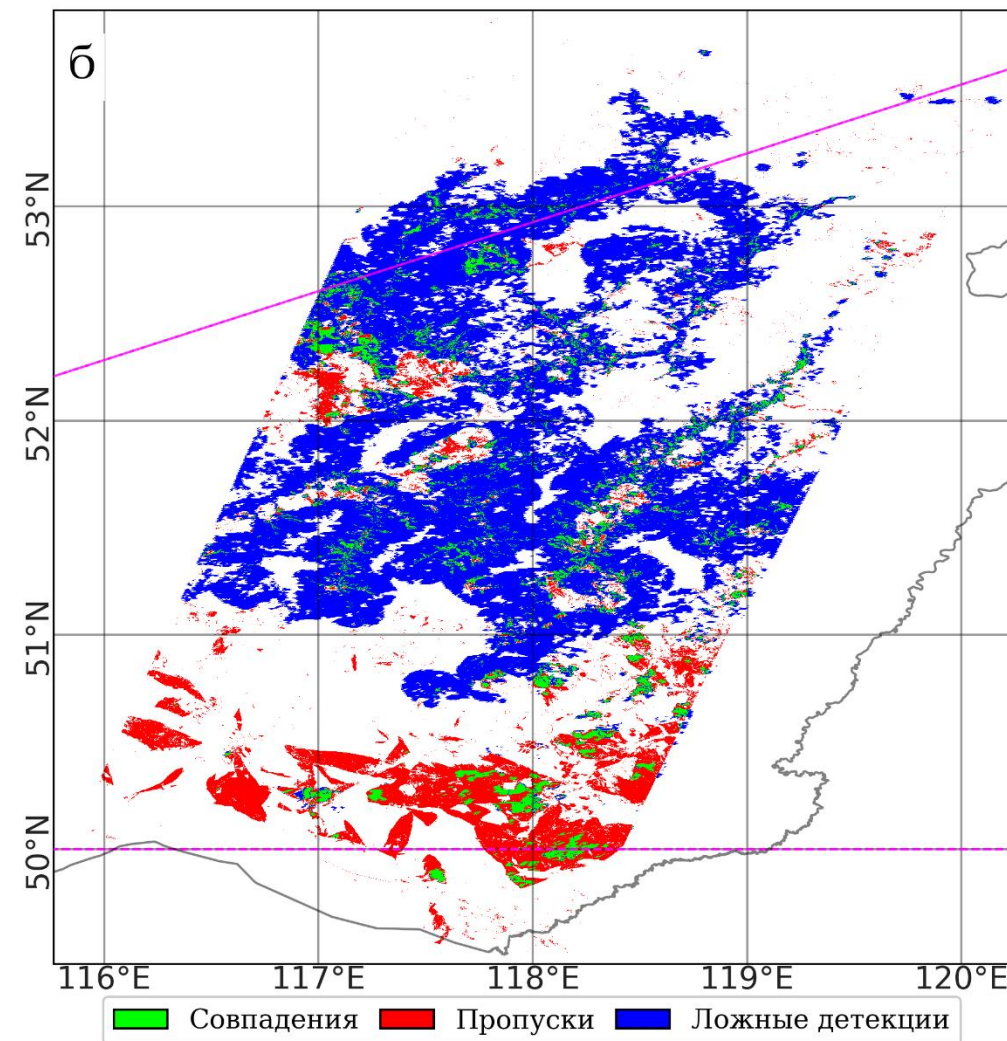
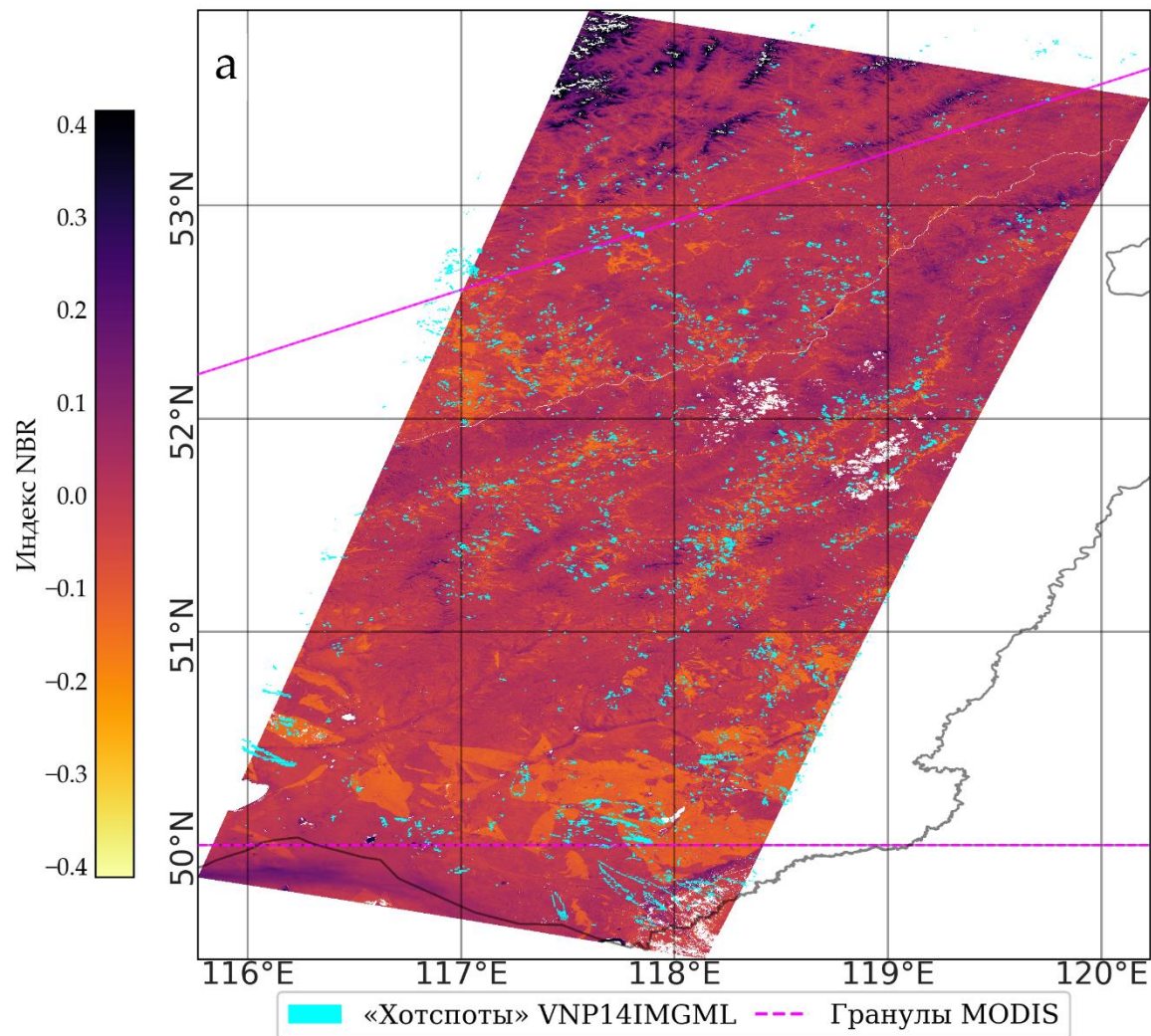


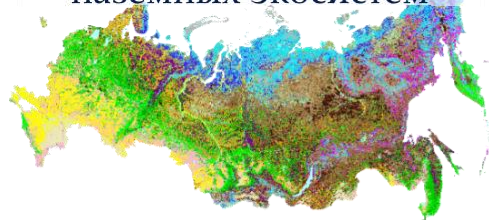
Обсуждение: артефакты продуктов MCD64A1 C6

Ложные детекции ранней весной в Забайкалье

NBR, Landsat-8 OLI, Забайкалье, 11.04.2014

MCD64A1 C6 vs NBR, Забайкалье, 01-04.2014 г.

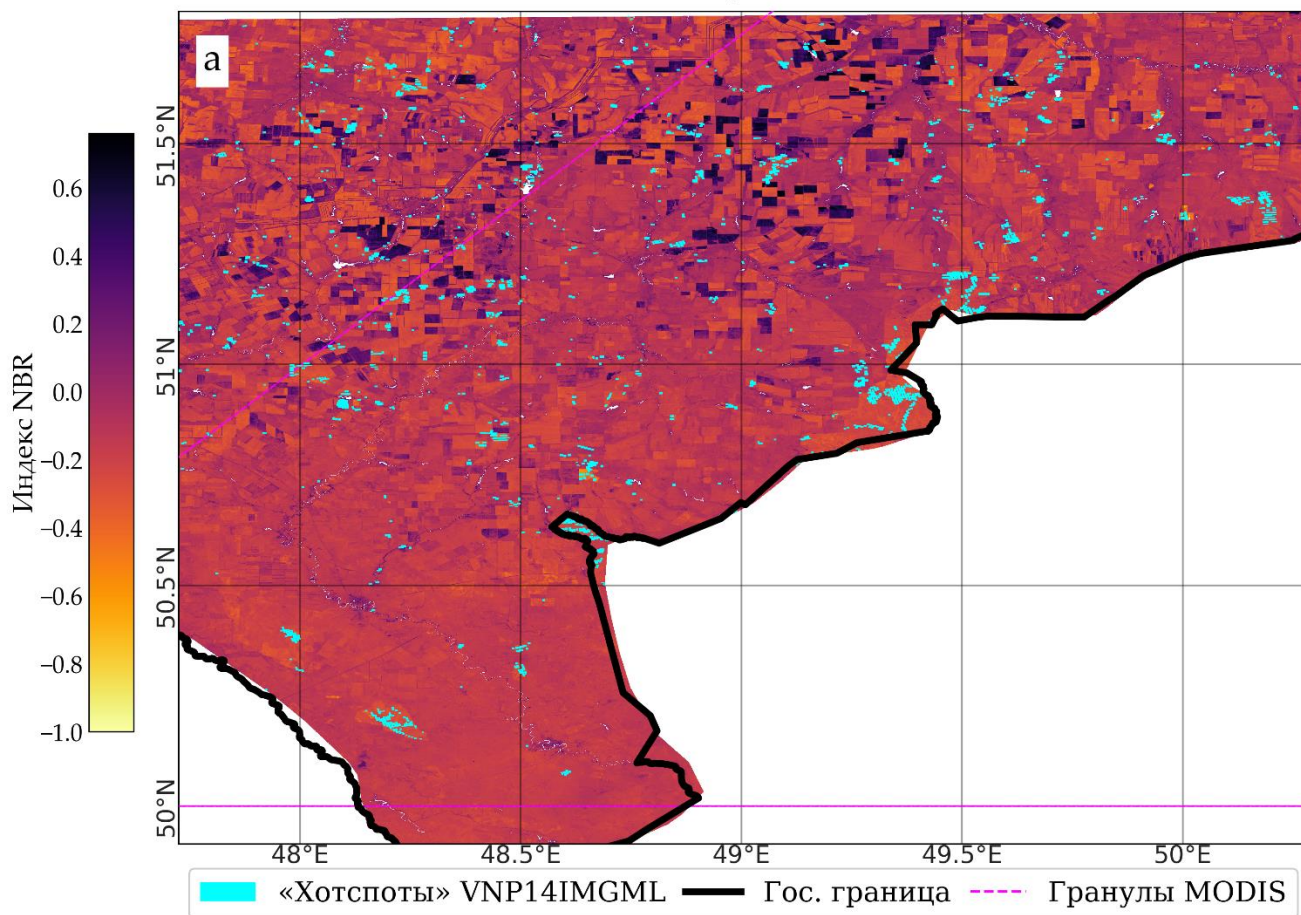




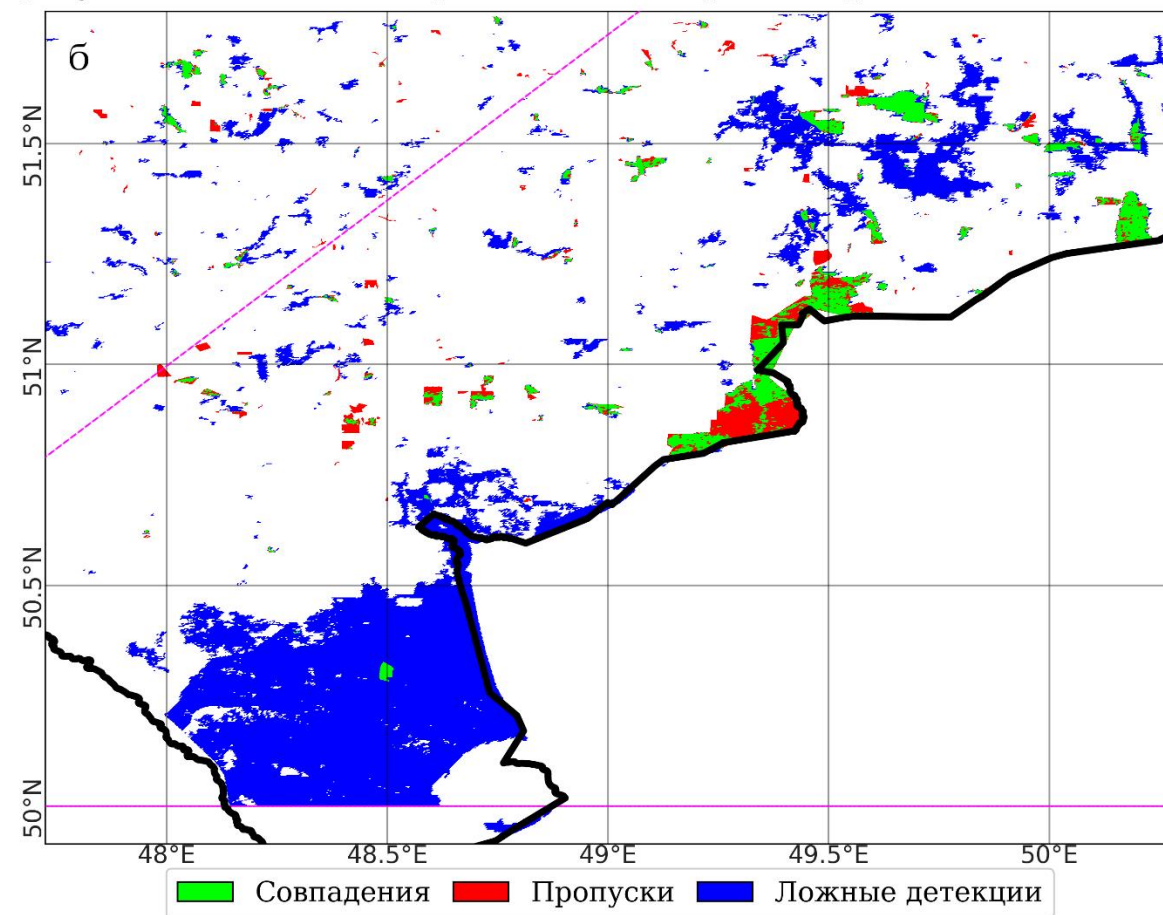
Обсуждение: артефакты продуктов ИКИ РАН (SRBA)

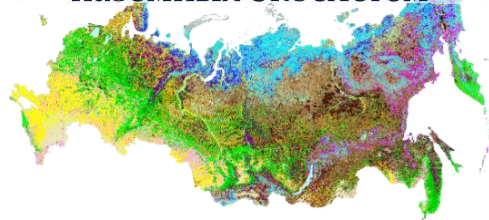
Артефакты в травяных гаях

NBR, Sentinel-2 MSI, Саратовская обл., 10.2020 г.



Продукт ИКИ РАН vs выборка ИКИ РАН (арид.), Саратовская обл., 2020 г.

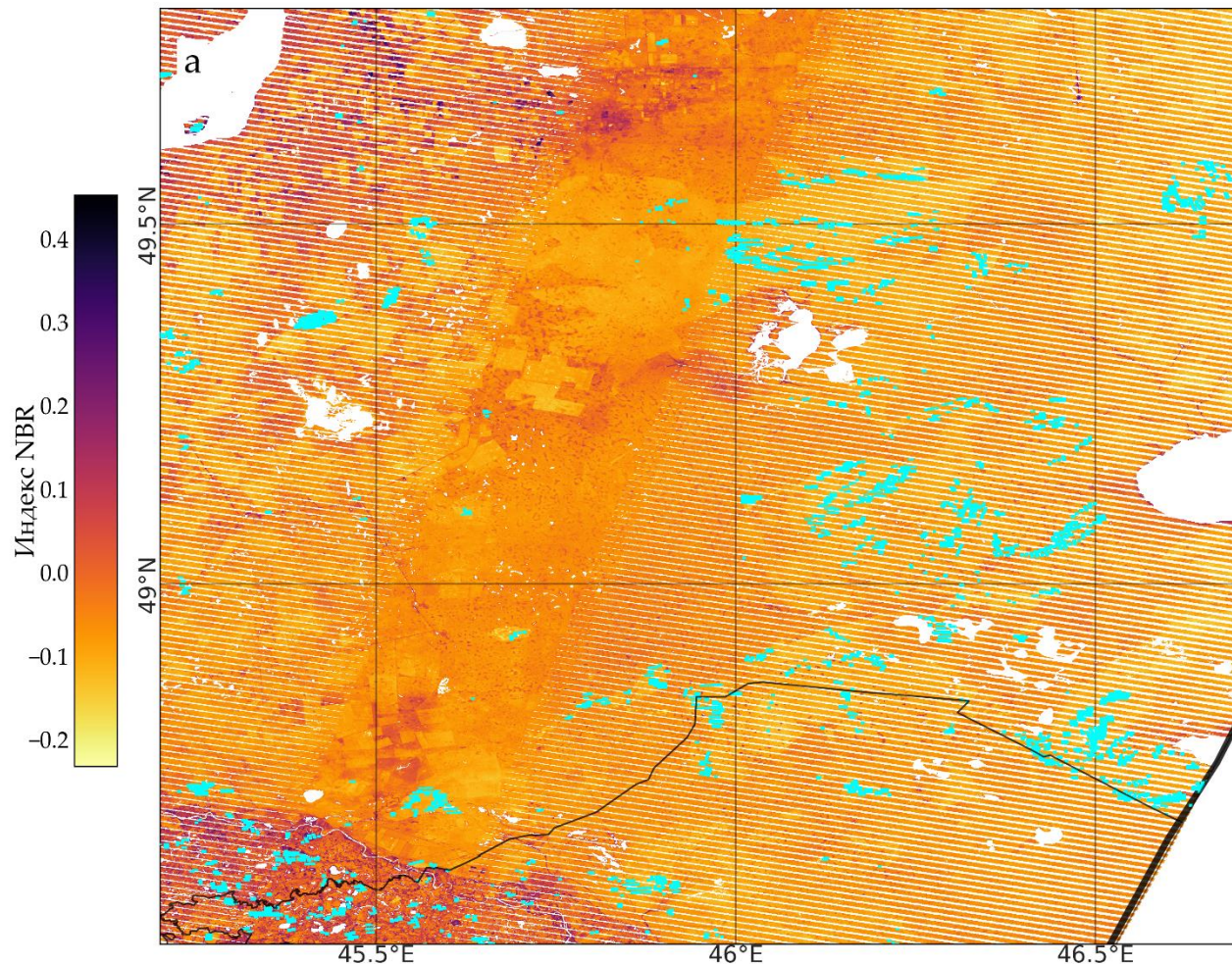




Обсуждение: артефакты продуктов GABAM

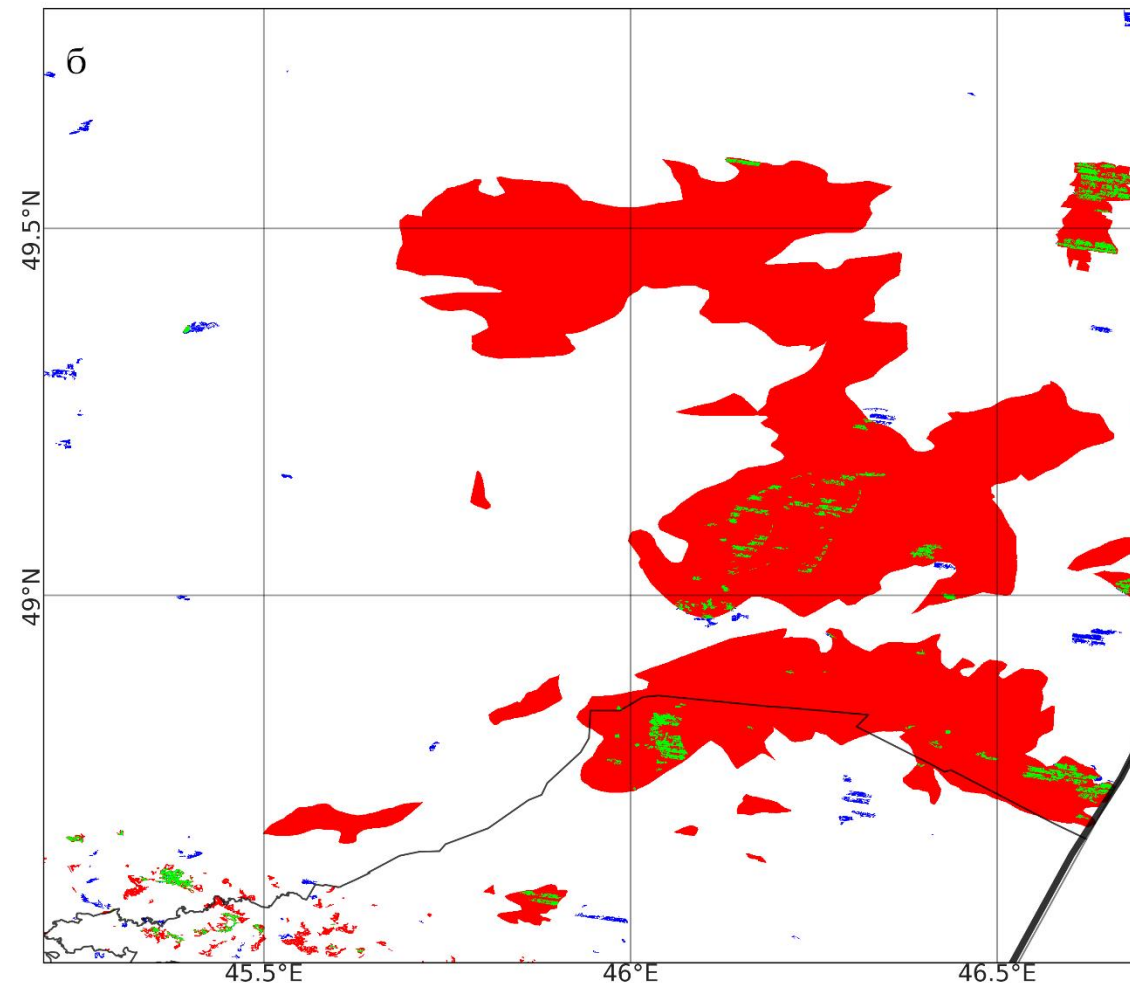
Пропуски и полосы Landsat 7 ETM+ после отказа SLC

NBR, Landsat-7 ETM+, Волгоградская обл., 10.2012 г.

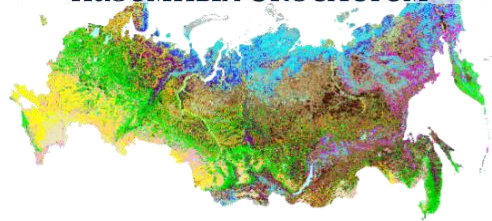


«Хотспоты» VNP14IMGML — Гос. граница

GABAM vs выборка ИКИ РАН (арид.), Волгоградская обл., 2012 г.



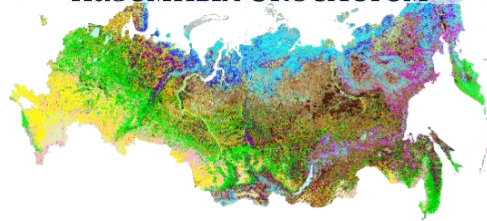
Совпадения — Пропуски — Ложные детекции



Список литературы

Продукты картографирования гарей

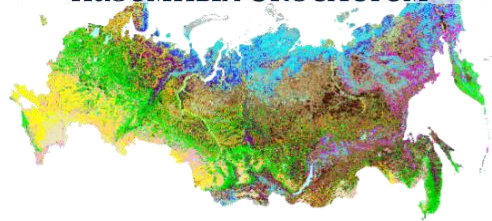
- **ИКИ РАН (SRBA)**: Барталев С. А., Егоров В. А., Ефремов В. Ю., Лупян Е. А., Стыценко Ф. В., Флитман Е. В. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2012. Т. 9. № 2. С. 9–26.
- **CGLS BA v3.1**: Padilla M., Ramo R., Sierra S. Copernicus Global Land operations – “Vegetation and Energy” – “CGLOPS-1”. – Burned Area Collection 300M, version 3.1. – Algorithm theoretical basis document. Issue I2.10. 2024. Copernicus. 53 p. <https://land.copernicus.eu/en/technical-library/algorithm-theoretical-basis-document-burnt-area-version-3.1/>.
- **FireCCI41**: Chuvieco E., Yue C., Heil A. et al. A new global burned area product for climate assessment of fire impacts // Global Ecology and Biogeography. 2016. V. 25(5). P. 619–629. DOI: 10.1111/geb.12440.
- **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.
- **FireCCILT11**: Otón G., Lizundia-Loiola J., Pettinari M. L., Chuvieco E. Development of a consistent global long-term burned area product (1982–2018) based on AVHRR-LTDR data // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. 2021. V. 103. Article 102473. DOI: 10.1016/j.jag.2021.102473.



Список литературы

Продукты картографирования гарей

- **GABAM**: Long T., Zhang Z., He G. et al. 30 m Resolution Global Annual Burned Area Mapping Based on Landsat Images and Google Earth Engine // Remote Sensing. 2019. V. 11(5). Article 489. DOI: 10.3390/rs11050489.
- **MCD64A1 C6**: Giglio L., Boschetti L., Roy D. P. et al. 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.
- **GFED v4.1s**: van der Werf, G. R., Randerson J. T., Giglio L. et al. Global fire emissions estimates during 1997–2016 // Earth System Science Data. 2017. V. 9(2). P. 697–720. DOI: 10.5194/essd-9-697-2017.
- **GFED v4 500m**: van Wees D., van der Werf G. R., Randerson J. T. et al. Global biomass burning fuel consumption and emissions at 500 m spatial resolution based on the Global Fire Emissions Database (GFED) // Geoscientific Model Development. 2022. V. 15(22). P. 8411–8437. DOI: 10.5194/gmd-15-8411-2022.
- **GFED BA v5**: Chen Y., Hall J., van Wees D. et al. Multi-decadal trends and variability in burned area from the fifth version of the Global Fire Emissions Database (GFED5) // Earth System Science Data. 2023. V. 15(11). P. 5227–5259. DOI: 10.5194/essd-15-5227-2023.



Список литературы

Валидационные выборки и карты растительности



ИНСТИТУТ
КОСМИЧЕСКИХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
РАН

- **Россия, 2020 г.:**

- 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(12), Article 125005. DOI: 10.1088/1748-9326/ac3287.

- **Аридные ландшафты:**

- 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.
- Шинкаренко С. С., Дорошенко В. В., Берденгалиева А. Н. Динамика площади гарей в зональных ландшафтах юго-востока европейской части России // Известия Российской Академии Наук. Серия Географическая. 2022. Т. 86. № 1. С. 122–133. DOI: 10.31857/S2587556622010113.
- Shinkarenko S. S., Berdengalieva A. N., Doroshenko V. V., Naichuk Ya. A. An Analysis of the Dynamics of Areas Affected by Steppe Fires in Western Kazakhstan on the Basis of Earth Remote Sensing Data // Arid Ecosystems. 2023. V. 13(1). P. 29–38. DOI: 10.1134/S2079096123010122.

- **Карты растительности:**

- 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.
- Santoro M., Kirches G., Wevers J., Boettcher M., Brockmann C., Lamarche C., Defourny P., Land Cover CCI – Product User Guide, version 1.1, 2017, 52 p., https://climate.esa.int/media/documents/ESACCI-LC-Ph2-PUGv3_1.1.pdf.



Список литературы

Фиксация гарей по ДЗЗ: обзорные статьи

- Chuvieco E., Mouillot F., van der Werf G. R et al. Historical background and current developments for mapping burned area from satellite Earth observation // Remote Sensing of Environment. 2019. V. 225. P. 45–64. DOI: 10.1016/j.rse.2019.02.013.
- Heil A., Pettinari M. L. ESA Climate Change Initiative – Fire_cci. D1.1 User Requirements Document (URD), version 7.2. 2021. 66 p. <https://climate.esa.int/en/projects/fire/key-documents/>.
- Kurbanov E., Vorobev O., Lezhnin S. et al. Remote Sensing of Forest Burnt Area, Burn Severity, and Post-Fire Recovery: A Review // Remote Sensing. 2022. V. 14(19). Article 4714. DOI: 10.3390/rs14194714.
- Pereira J. M. C., Sa A. C. L., Sousa A. M. O. et al. Spectral characterisation and discrimination of burnt areas // Remote Sensing of Large Wildfires in the European Mediterranean Basin. Berlin, Heidelberg: Springer. 1999. P. 123–138. DOI: 10.1007/978-3-642-60164-4.
- Szpakowski D. M., Jensen J. L. R. A review of the applications of remote sensing in fire ecology // Remote Sensing. 2019. V. 11(22). Article 2638. DOI: 10.3390/rs11222638.



Список литературы

Глобальные валидационные исследования

- Boschetti L., Roy D. P., Giglio L. et al. Global validation of the collection 6 MODIS burned area product // Remote Sensing of Environment. 2019. V. 235. Article 111490. DOI: 10.1016/j.rse.2019.111490.
- 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. 2021. V. 252. Article 112115. DOI: 10.1016/j.rse.2020.112115.
- Franquesa M., Vanderhoof M. K., Stavrakoudis D. et al. Development of a standard database of reference sites for validating global burned area products // Earth System Science Data. V. 12(4). 2020. P. 3229–3246. DOI: 10.5194/essd-12-3229-2020.
- Franquesa M., Lizundia-Loiola J., Stehman S. V., Chuvieco E. Using long temporal reference units to assess the spatial accuracy of global satellite-derived burned area products // Remote Sensing of Environment. 2022. V. 269. Article 112823. DOI: 10.1016/j.rse.2021.112823.
- Padilla M., Stehman S. V., Ramo R. et al. Comparing the accuracies of remote sensing global burned area products using stratified random sampling and estimation // Remote Sensing of Environment. 2015. V. 160. P. 114–121. DOI: 10.1016/j.rse.2015.01.005.
- Padilla M., Wheeler J., Tansey K. ESA Climate Change Initiative – Fire_cci. D4.1.1 Product Validation Report (PVR), version 2.1. 55 p. https://climate.esa.int/media/documents/Fire_cci_D4.1.1_PVR_v2.1.pdf.
- Padilla M., Ramo R. Copernicus Global Land operations – “Vegetation and Energy” – “CGLOPS-1”. – Burned Area Collection 300M, version 3.1. – Quality assessment report. Issue I1.10. 2024. Copernicus. 61 p. <https://land.copernicus.eu/en/technical-library/quality-assessment-report-burnt-area-version-3.1/>.



Список литературы Другие источники

- Барталев С. А., Стыценко Ф. В., Хвостиков С. А., Лупян Е. А. Методология мониторинга и прогнозирования пирогенной гибели лесов на основе данных спутниковых наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14. № 6. С. 176–193. DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-6-176-193.
- 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(3–4). P. 280–292. DOI: 10.1016/j.rse.2004.02.015.
- Boschetti L., Roy D. P., Justice C. O. International Global Burned Area Satellite Product Validation Protocol Part I-production and standardization of validation reference data (to be followed by part II – accuracy reporting). 2010. Committee on Earth Observation Satellites, Maryland, USA. <https://lpvs.gsfc.nasa.gov/PDF/BurnedAreaValidationProtocol.pdf>.
- GCOS 2022. The 2022 GCOS ECVs Requirements (CGOS – 245). 2022. World Meteorological Organization (WMO), Geneva, Switzerland. 261 p. https://oceanrep.geomar.de/id/eprint/57694/1/GCOS-245_2022_GCOS_ECVs_Requirements.pdf.
- Giglio L., Roy D. P. Assessment of satellite orbit-drift artifacts in the long-term AVHRR FireCCI11 global burned area data set // Science of Remote Sensing. 2022. V. 5. Article 100044. DOI: 10.1016/j.srs.2022.100044.
- Hall J. V., Argueta F., Zubkova M. et al. GloCAB: global cropland burned area from mid-2002 to 2020 // Earth System Science Data. 2024. V. 16(2). P. 867–885. DOI: 10.5194/essd-16-867-2024.