

Сегментация вырубок, гарей и ветровалов по разновременным спутниковым снимкам Sentinel-2 с применением различных архитектур сверточных нейронных сетей

Подопригорова Н.С. (1), Шихов А.Н. (2), Тарасов А.В. (2), Канев А.И. (1)

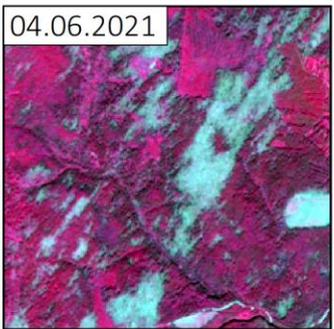
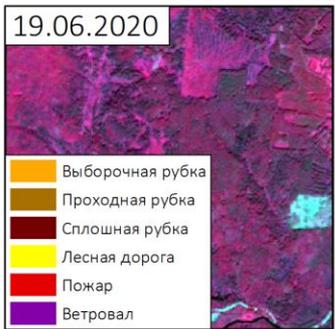
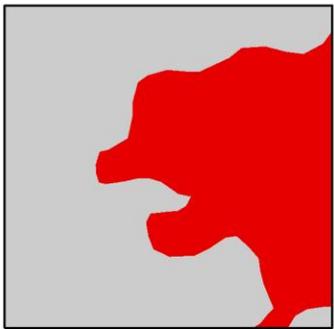
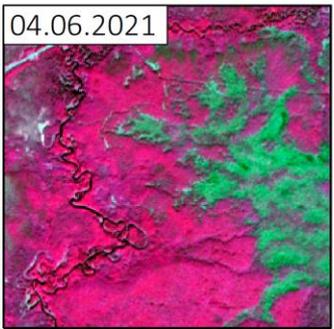
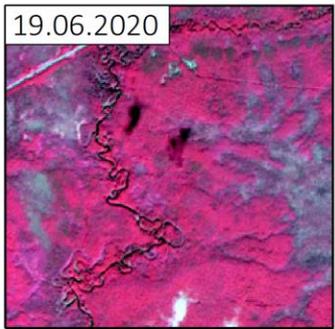
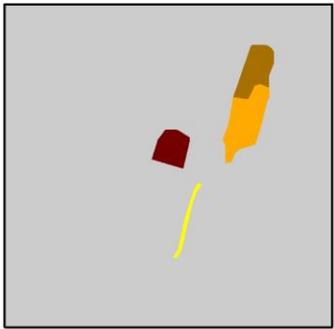
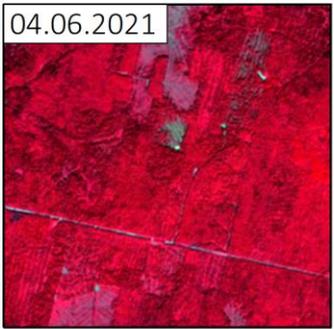
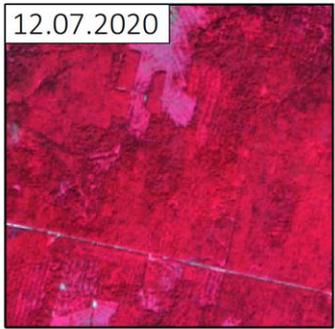
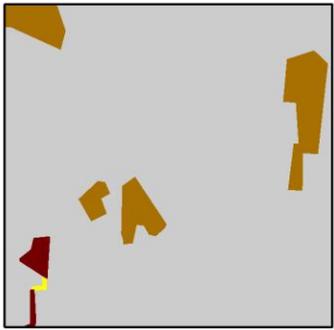
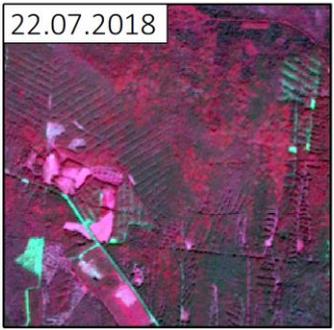
(1) МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

(2) Пермский государственный национально-исследовательский университет, Пермь, Россия

Исследование выполнено при поддержке РФФ, проект № 22-27-20018

Актуальность и цель исследования

- Преимущества сверточных нейронных сетей как метода распознавания повреждений лесного покрова описаны во множестве работ и внедрены в ряде систем дистанционного мониторинга. В большинстве работ для сегментации снимков использовались СНС архитектуры U-net или ее модификации
- Цели исследования
- (1) с применением ранее созданных) обучающих и проверочных наборов данных выполнить сопоставление точности сегментации вырубок разных типов, гарей и ветровалов с помощью нескольких модификаций СНС архитектуры U-net;
- (2) оценить факторы, влияющие на точность распознавания нарушений лесного покрова, в частности тип нарушения (для вырубок), степень повреждения насаждения, породный состав.

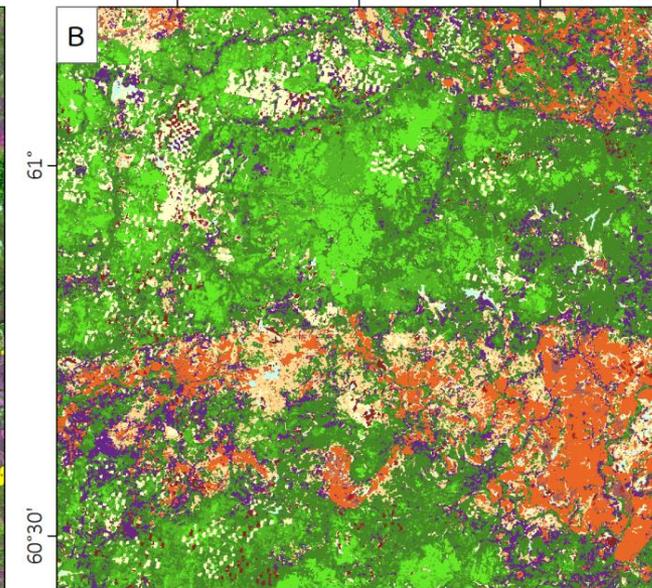
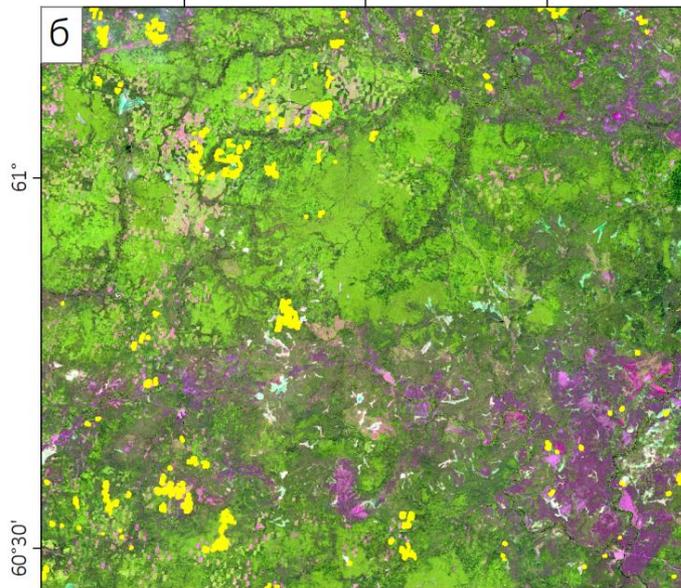
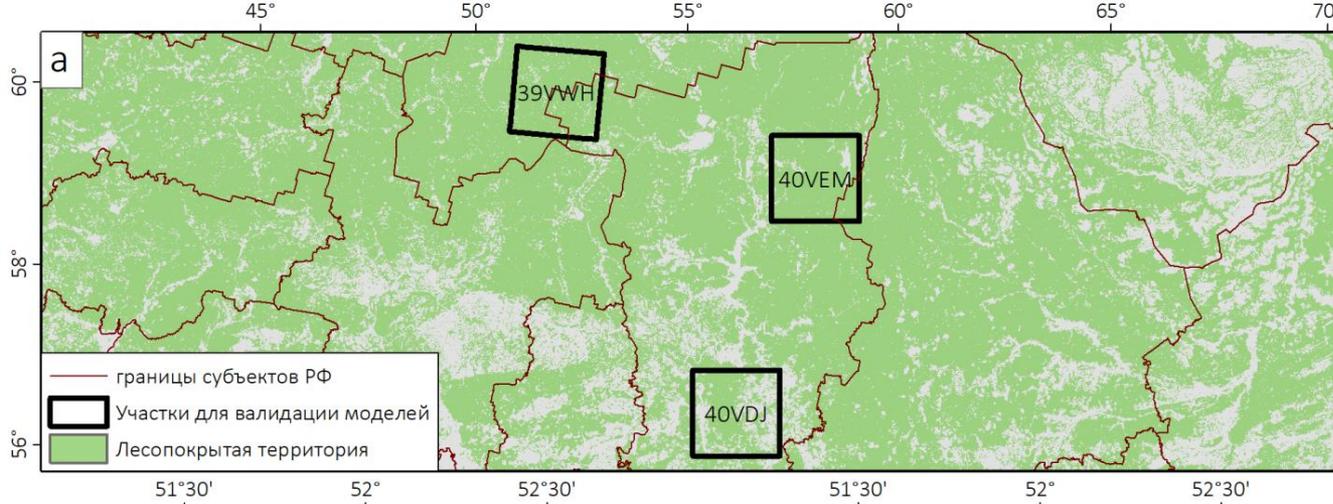


-  Выборочная рубка
-  Проходная рубка
-  Сплошная рубка
-  Лесная дорога
-  Пожар
-  Ветровал

- Примеры размеченных данных о нарушениях лесного покрова для обучения СНС
- Всего использовано 6463 объекта: сплошные рубки (1937), проходные рубки (1559), выборочные рубки (393), лесные дороги (316), гари (1138) и ветровалы (1448).

Характеристики сцен Sentinel-2 для валидации

Зона разграфки Sentinel-2	Даты снимков	Характеристики лесов по Барталеву и др. (2016)		Количество объектов, суммарная и средняя площадь (га) вырубок и ветровалов в проверочном наборе
		Доля лесопокрытой площади, %	Преобладающие типы леса (доля от общей площади, %)	
T39VWH	28.02.2021, 13.07.2021, 10.03.2021, 13.06.2021	93,8	светлохвойные леса (37,7); темнохвойные леса (18,4)	вырубки: 689/6857/9,9 ветровалы: 691/1114/1,6
T40VEM	26.03.2021, 04.06.2021, 19.03.2022, 18.08.2022	92,1	лиственные леса (34,7) темнохвойные леса (32,3)	вырубки: 557/5410/9,7 ветровалы: 88/209/2,4
T40VDJ	26.03.2021, 29.06.2021, 09.02.2021, 16.08.2021	60.9	лиственные леса (60,3) смешанные леса с преобладанием лиственных (22,3)	вырубки: 550/2428/4,4 ветровалы: 0/0/-



Ячейки глобальной разграфки Sentinel-2, выбранные для валидации результатов распознавания нарушений лесного покрова (а), снимок Sentinel-2 на ячейку Т39VWH за 13.07.2021 г. (б) и результаты классификации типов растительного покрова по данному снимку (в) *Классификация выполнена методом Random Forest в ESA SNAP*

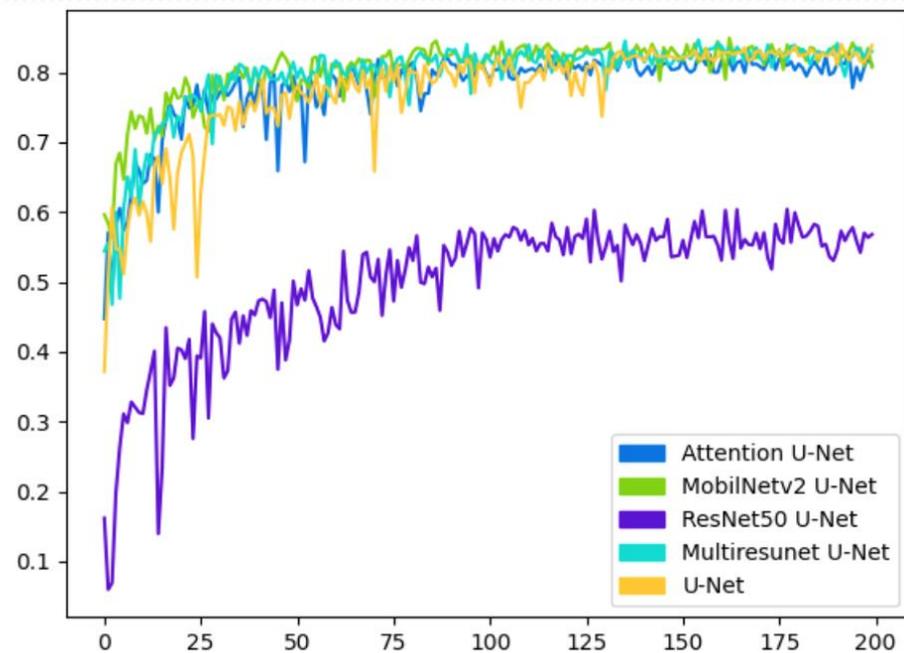
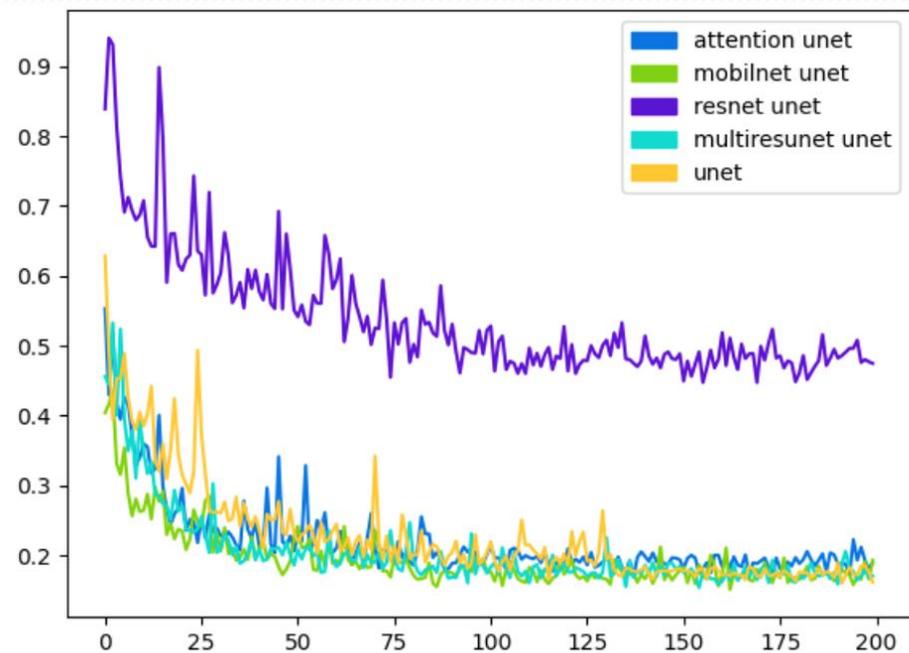
Характеристика лесных насаждений и особенностей лесопользования на тестовых сценах

Тестовый участок	Характеристики насаждений		Характеристики проверочного набора (число и средняя площадь объектов)		
	Доля лесопокрытой площади, %	Преобладающие типы леса (доля от общей площади сцены, %)	Сплошные рубки	Выборочные, проходные рубки, дороги)	Ветровалы
T39VWH	95,9	смешанные с преобладанием хвойных (30,6); смешанные с преобладанием лиственных (17,0); темнохвойные (14,1); сосновые (10,4)	179/ 10,3	378/9,4	88/2,4
T40VEM	92,6	смешанные с преобладанием хвойных (32,6); темнохвойные (23,2); смешанные с преобладанием лиственных (14,9); лиственные (14,0)	385/ 11,7	304/7,8	691/1,6
T40VDJ	70.9	смешанные с преобладанием лиственных (29,7); смешанные с преобладанием хвойных (15,7); лиственные (12,1); лесовосстановление на полях и вырубках (12,0)	352/ 3.3	198/6.4	1/13.1

Характеристики обучения сетей

- **Признаки:**
- Исходные спектральные каналы разновременных снимков: $B4_{old}$, $B8_{old}$, $B4_{new}$, $B8_{new}$, $B11_{old}$, $B11_{new}$, $B12_{old}$, $B12_{new}$.
- Разности, вычисленные по разновременным снимкам: $B4_{old} - B4_{new}$, $B4_{new} - B4_{old}$, $B8_{old} - B8_{new}$, $B8_{new} - B8_{old}$, $B12_{old} - B12_{new}$, $B12_{new} - B12_{old}$, $B11_{old} - B11_{new}$, $B11_{new} - B11_{old}$.
- **Архитектуры:** U-net и ее модификации MultiRes U-Net, Attention U-net, ResNet50 U-net, MobilNetv2 U-Net
- **Гиперпараметры:** количество эпох в обучении – 200, коэффициент обучения Lr (определяющий, с какой скоростью меняется функция потерь) – $1e^{-3}$, размер подвыборки для обучения (batch size) – 8.
- **Функция потерь:** коэффициент Дайса (Dice loss)

Функции потерь (а) и коэффициент Дайса (б)
на проверочном наборе данных
(по оси X показано число эпох при обучении)



Общая оценка точности распознавания нарушений
лесного покрова по снимкам Sentinel-2 на независимом
наборе данных (приведены значения F-меры)

Тестовый участок	T40VDJ			T39VWH			T40VEM			Среднее
Модель/ сезон	Зи-ма	Лето	Пере- ходные	Зи- ма	Лето	Пере- ходные	Зи- ма	Лето	Пере- ходные	
U-net	0.66	0.33	0.33	0.78	0.79	0.60	0.51	0.73	0.58	0.59
Attention U- Net	0.47	0.24	0.30	0.75	0.56	0.59	0.34	0.35	0.56	0.46
MobilNetv2 U- Net	0.48	0.27	0.29	0.79	0.69	0.61	0.51	0.67	0.45	0.53
Среднее по сезону	0.54	0.28	0.31	0.77	0.68	0.60	0.45	0.58	0.53	
Среднее по сцене	0.37			0.68			0.52			

Соотношение метрик Precision и Recall в зависимости от сезона съемки и для разных тестовых участков

Сезон съемки	Зима		Лето		Переходные	
Модель	Precision	Recall	Precision	Recall	Precision	Recall
U-net	0.62	0.68	0.84	0.53	0.59	0.52
Attention U-Net	0.43	0.65	0.51	0.38	0.62	0.48
MobilNetv2 U-Net	0.53	0.58	0.52	0.33	0.59	0.47
Тестовый участок	T40VDJ		T39VWH		T40VEM	
Модель	Precision	Recall	Precision	Recall	Precision	Recall
U-net	0.70	0.39	0.57	0.63	0.69	0.60
Attention U-Net	0.55	0.29	0.44	0.61	0.67	0.55
MobilNetv2 U-Net	0.42	0.27	0.59	0.50	0.57	0.53

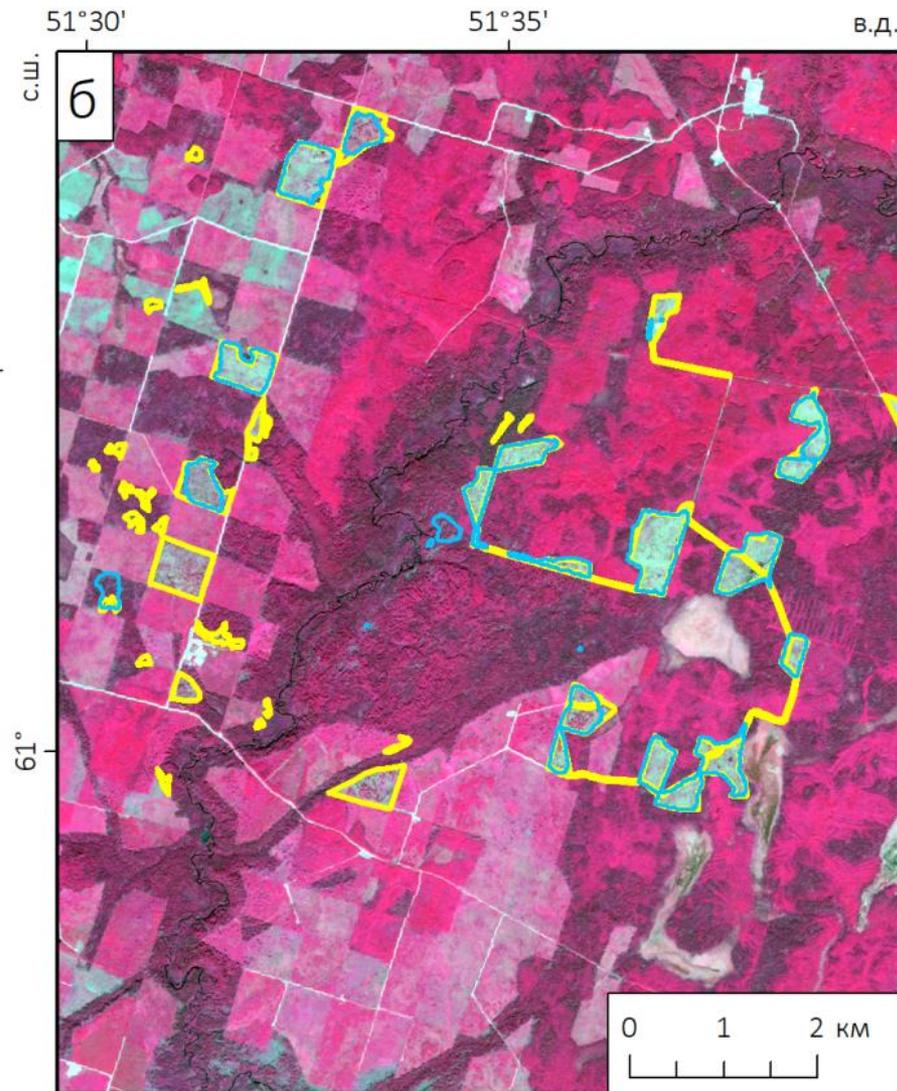
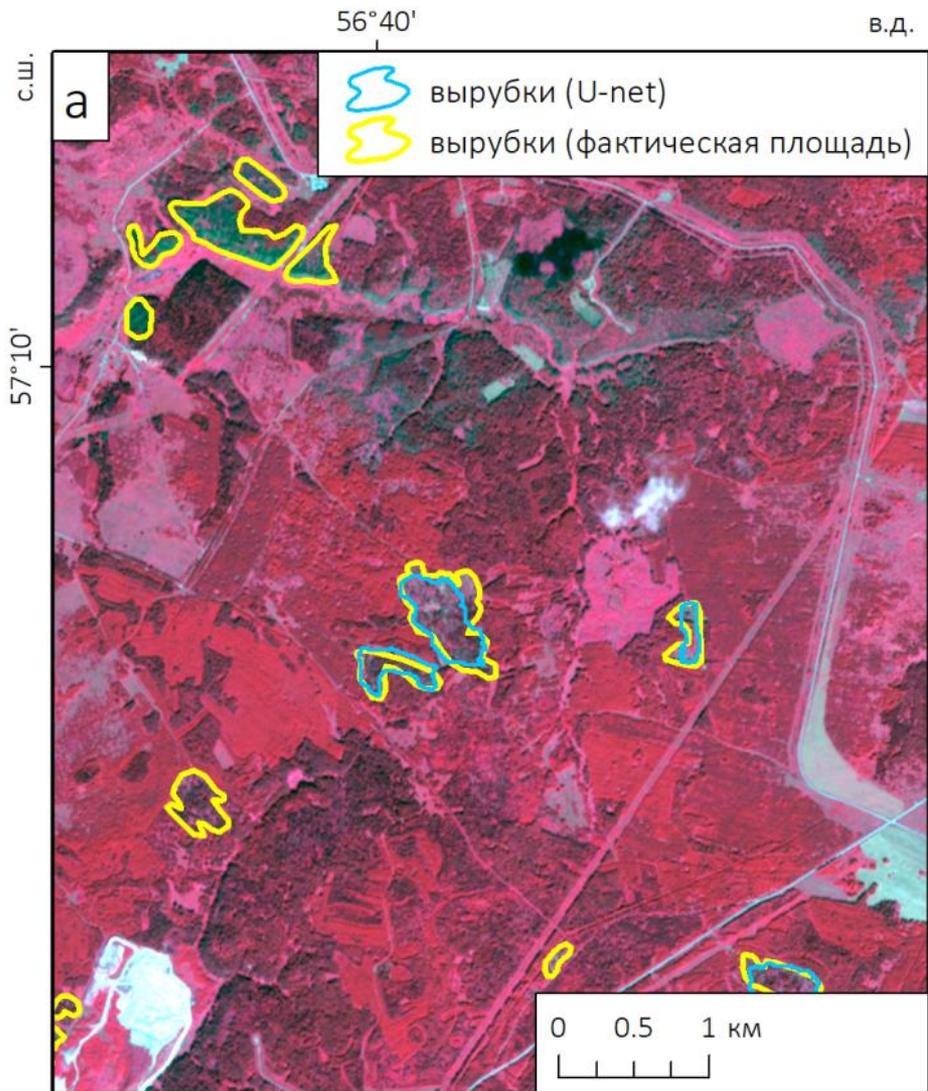
Соотношение метрик Precision и Recall (точность и полнота) показывает, что в большинстве случаев модели занижают площадь нарушений лесного покрова. Наиболее существенное занижение выявлено по снимкам летнего сезона

Точность распознавания нарушений лесного покрова по модели U-net в лесах разного породного состава (выделены максимальные значения F-меры для каждой сцены)

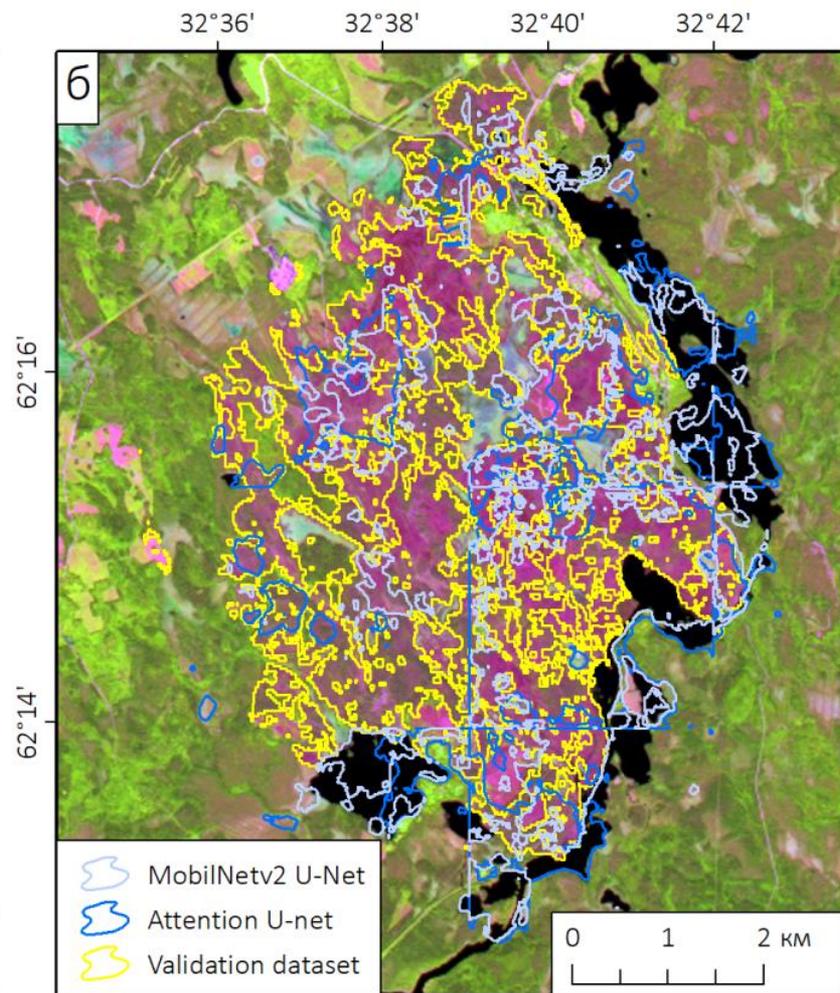
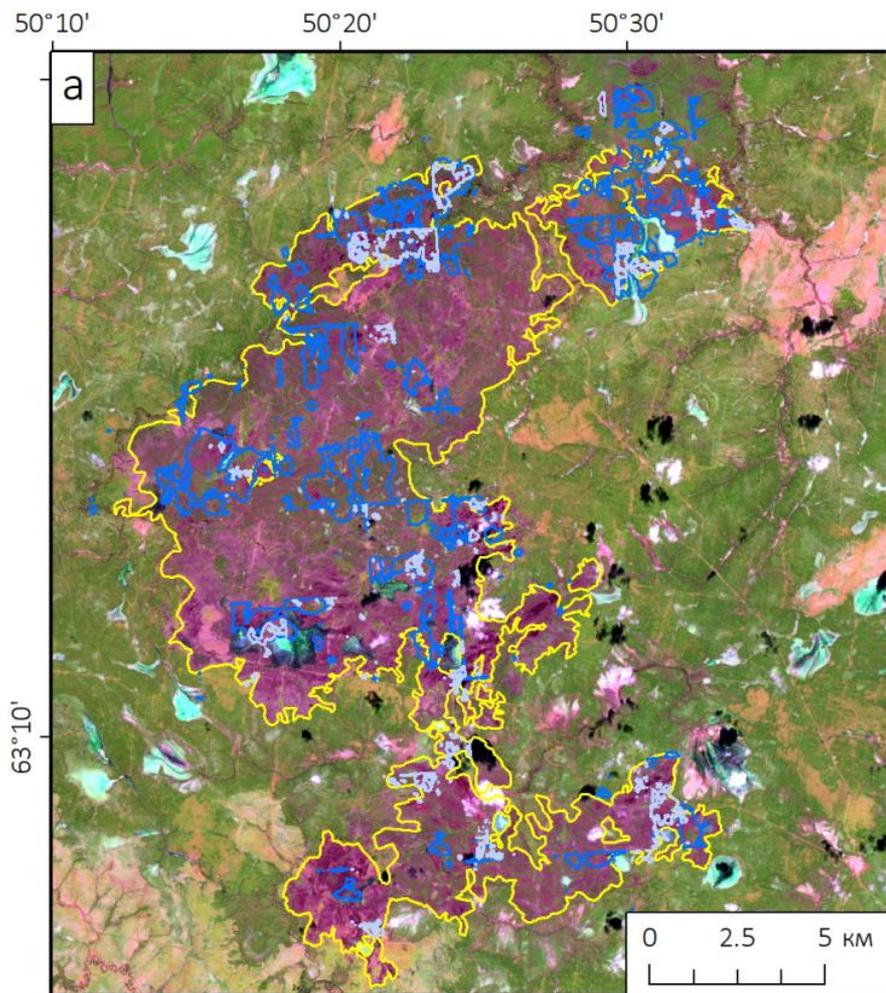
Сцена	Тип леса	Precision	Recall	F-мера
T39VWH	Темнохвойные	0.97	0.26	0.40
	Сосновые	0.72	0.73	0.72
	Смешанные с преобладанием хвойных	0.90	0.26	0.40
	Смешанные с преобладанием лиственных	0.85	0.26	0.40
	Лиственные и участки лесовосстановления	0.74	0.12	0.21
T40VEM	Темнохвойные	0.97	0.54	0.70
	Сосновые	0.69	0.70	0.69
	Смешанные с преобладанием хвойных	0.96	0.52	0.67
	Смешанные с преобладанием лиственных	0.97	0.34	0.50
	Лиственные и участки лесовосстановления	0.99	0.28	0.43
T40VDJ	Темнохвойные	0.57	0.17	0.26
	Сосновые	0.65	0.19	0.30
	Смешанные с преобладанием хвойных	0.45	0.16	0.23
	Смешанные с преобладанием лиственных	0.59	0.41	0.48
	Лиственные и участки лесовосстановления	0.94	0.34	0.50

Примеры результатов распознавания вырубок

- а) сцена T40VDJ, пара снимков 29.06.2021 – 16.08.2022;
б) – сцена T39VWH, пара снимков 13.07.2021 – 13.06.2022



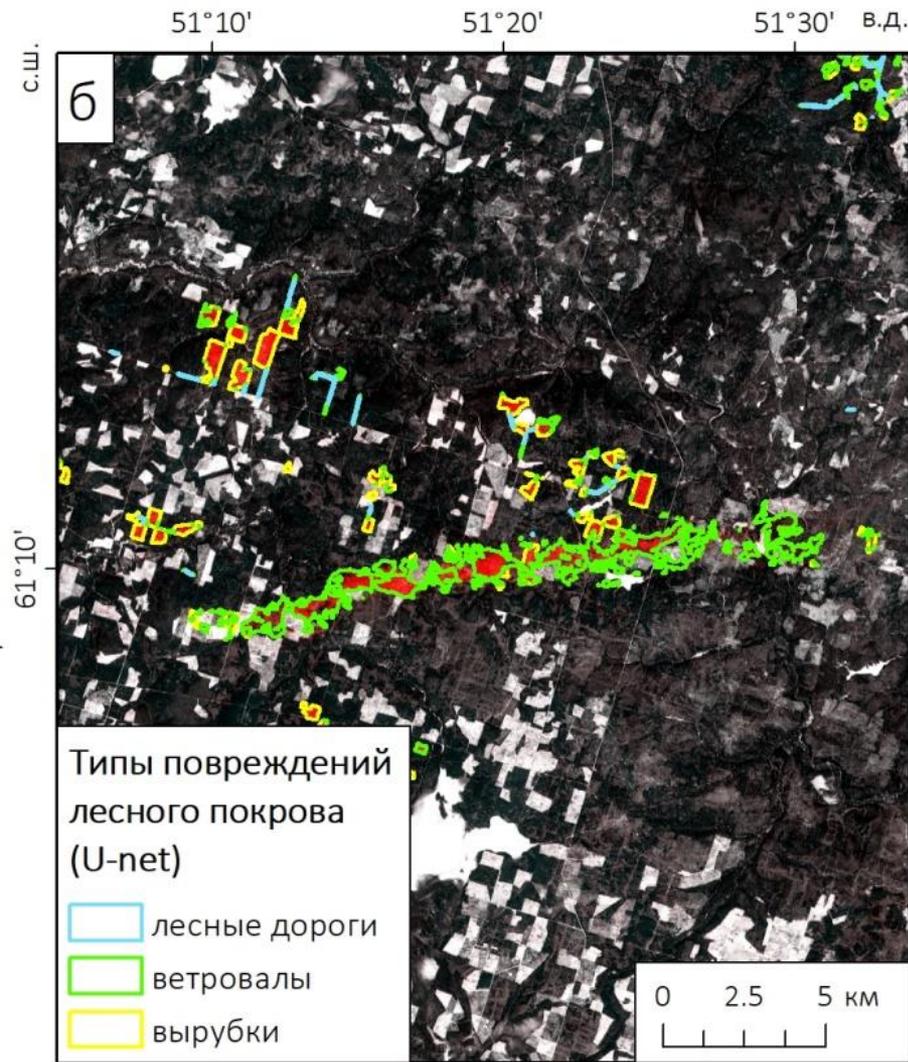
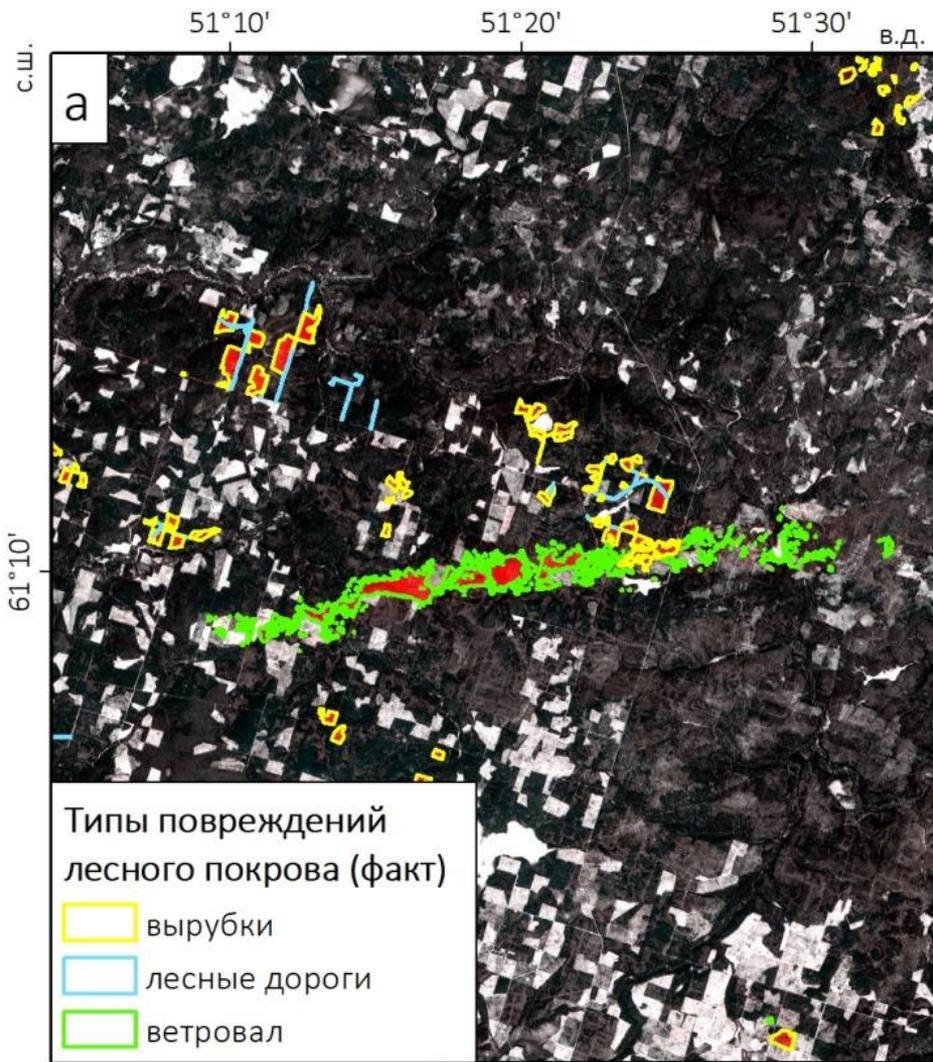
Сегментация лесных гарей по снимкам Sentinel-2 с помощью моделей машинного обучения Attention U-Net и MobilNetv2 U-Net



Оценка точности распознавания для разных типов нарушений лесного покрова

ID сцены	Даты снимков	Тип нарушения	Число объектов	Площадь (га)	TP (га)	Точность производителя
T39VWH	13.07.2021 – 13.06.2022	сплошная рубка	283	3527,2	2636,0	0,75
		Выборочная/проходная рубка	159	1484,0	938,1	0,63
		лесная дорога	65	266,9	126,0	0,47
T39VWH	28.02.2021 - 10.03.2022	сплошная рубка	350	4060,7	3600,8	0,89
T39VWH		выборочная/проходная рубка	177	1615,9	1268,9	0,79
T39VWH		лесная дорога	88	373,6	237,5	0,64
T39VWH		ветровал	689	1114,1	821,4	0,74

Результаты тестовой мультиклассовой сегментации г) сцена 39VWH, пара снимков 28.02.2021 – 10.03.2022



Результаты тестовой мультиклассовой сегментации

Зона	Класс	Дата 1	Дата 2	Precision	Recall	F
Т39VWH	ветровал	28.02.2021	13.07.2021	0.40	0.57	0.47
	вырубка	28.02.2021	13.07.2021	0.05	0.69	0.09
	лесная дорога	28.02.2021	13.07.2021	0.00	0.00	0.00
	лесная дорога	28.02.2021	10.03.2022	0.46	0.25	0.32
	ветровал	28.02.2021	10.03.2022	0.19	0.64	0.29
	вырубка	28.02.2021	10.03.2022	0.82	0.72	0.77

Заключение

- Модификации архитектуры U-net (Attention U-Net и MobilNetv2 U-Net) не обеспечили повышение точности распознавания на независимых данных. Наиболее высокая точность (среднее значение F-меры 0,59) получена по базовой модели U-net.
- Показатели точности сопоставимы с результатами, опубликованными ранее для лесной зоны Восточной Европы (Isaienkov et al., 2021; Тарасов и др., 2021). Основным фактором, определяющим точность распознавания нарушений лесного покрова, являются их площадь и тип. Точность растет по мере увеличения доли сплошных рубок. Существенные различия также выявлены между снимками разных сезонов, причем максимальна точность распознавания по зимним парам снимков.
- Породный состав лесов оказывает менее существенное влияние, хотя для двух из трех тестовых участков максимальная точность отмечена в темнохвойных лесах, а минимальная – в лиственных.
- Точность распознавания гарей, которая оценивалась на примере 14 крупных лесных пожаров 2021-2022 гг., оказалась неудовлетворительной, что вероятно обусловлено разной степенью повреждения лесного покрова на гарях.

Публикации

- Канев А.И., Тарасов А.В., Шихов А.Н., Подопригорова Н.С., Сафонов Ф.А. Распознавание вырубок и ветровалов по спутниковым снимкам Sentinel-2 с применением свёрточной нейронной сети U-net и факторы, влияющие на его точность. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2023. Т. 20. № 3. С. 136-151. URL: <http://jr.rse.cosmos.ru/article.aspx?id=2670>
- Подопригорова Н.С., Тарасов А.В., Шихов А.Н., Канев А.И. Сравнительная оценка различных архитектур сверточных нейронных сетей для семантической сегментации нарушений лесного покрова по разновременным спутниковым снимкам // исследование Земли из Космоса, 2023 (в печати)

An aerial photograph of a dense green forest. In the foreground, several tall, thin trees with long, feathery, light-colored seed heads (likely grasses or reeds) stand out against the dark green canopy. The rest of the image is a vast, textured expanse of green foliage.

Спасибо за внимание

*Андрей Шихов,
Пермский государственный университет
e-mail: and3131@inbox.ru
URL: <http://accident.perm.ru/>*