

Спутниковый мониторинг нарушения природной среды золотодобывающими предприятиями Магаданской области

Илюшина П.Г. (1), Макарьева О.М. (2), Шихов А.Н. (3)

(1) МГУ имени М.В. Ломоносова Географический факультет, Москва, Россия

(2) Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия

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

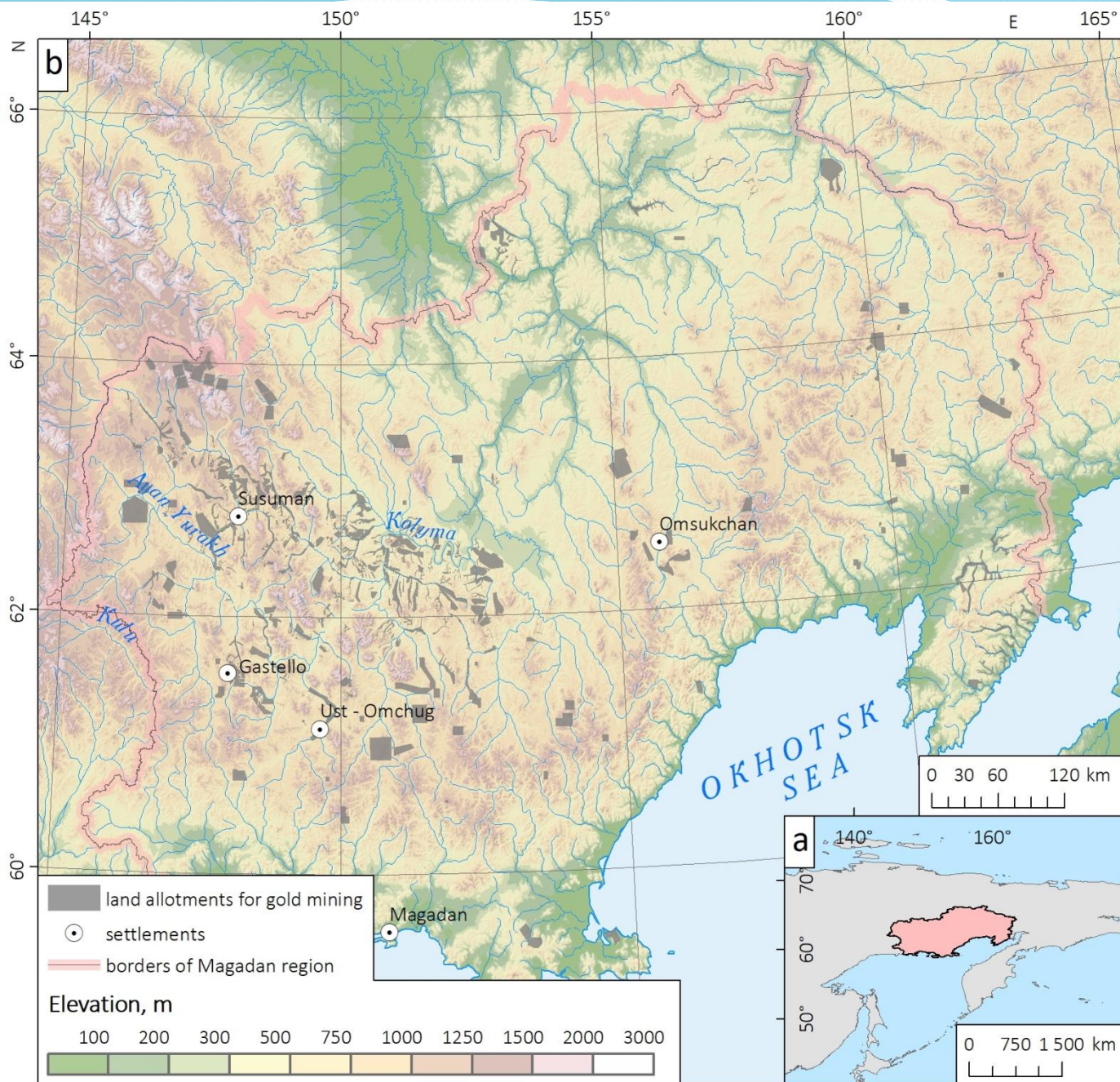
Исследование выполнено при поддержке проекта СПбГУ № 95413735

Актуальность

- Магаданская область занимает второе место в России по добыче золота и первое место по добыче россыпного золота. Объем добычи россыпного золота вырос на 25% за последние 10 лет.
- Добыча россыпного золота сопровождается масштабным нарушением пойменных земель, загрязнением воды взвешенными веществами и другими негативными эффектами.
- Для Магаданской области ранее не проводилась оценка масштабов нарушения земель, в отличие от более южных регионов

Цель исследования

- По спутниковым данным Landsat и Sentinel-2 выполнить оценку площади нарушения земель при золотодобыче в Магаданской области и ее изменений в XXI веке, а также восстановления растительности на землях, нарушенных в предыдущие годы, оценить мутность воды по спутниковым данным

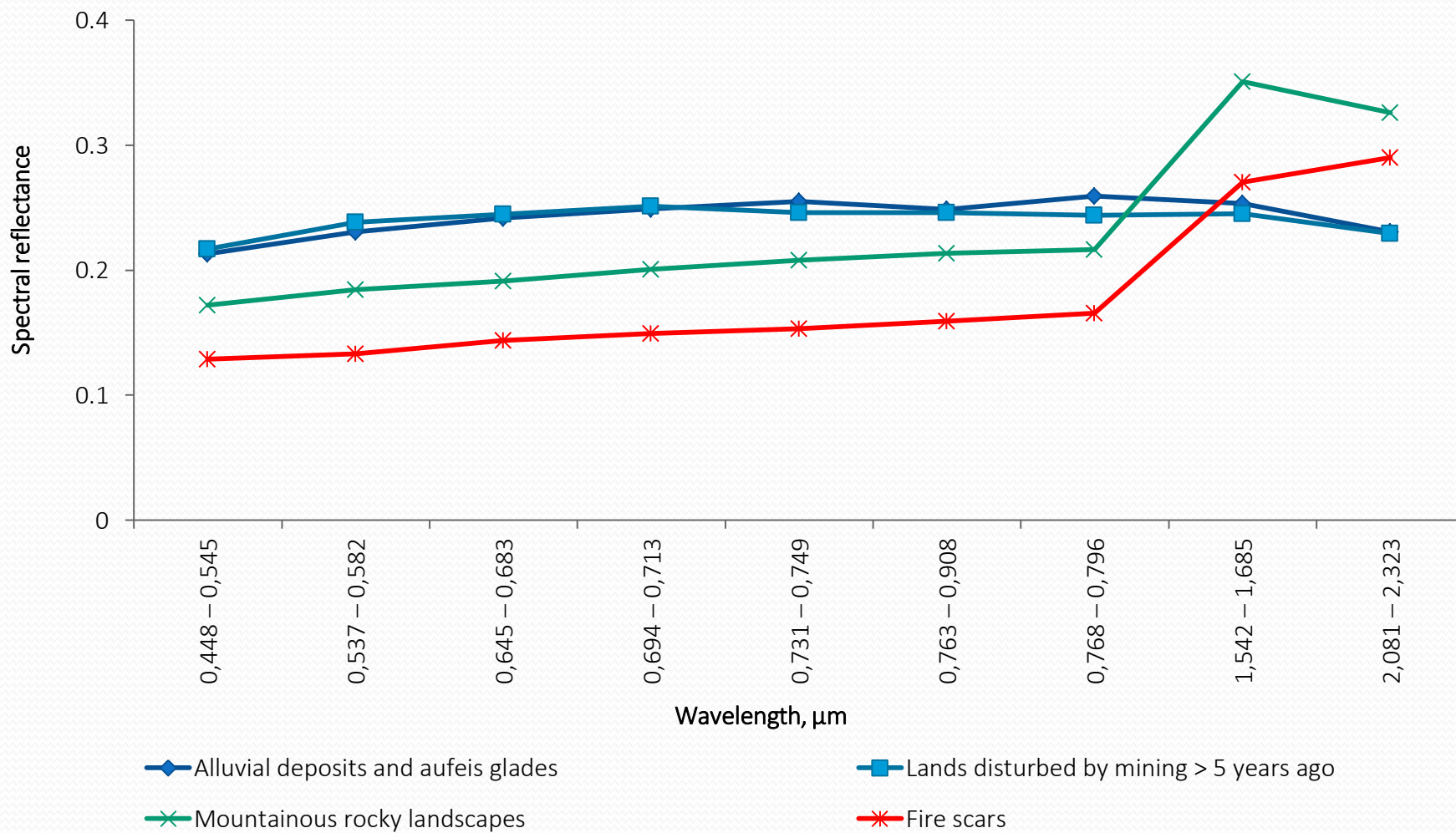


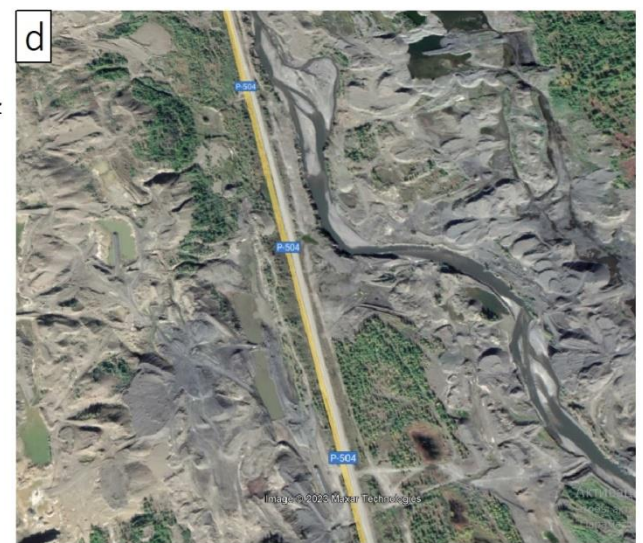
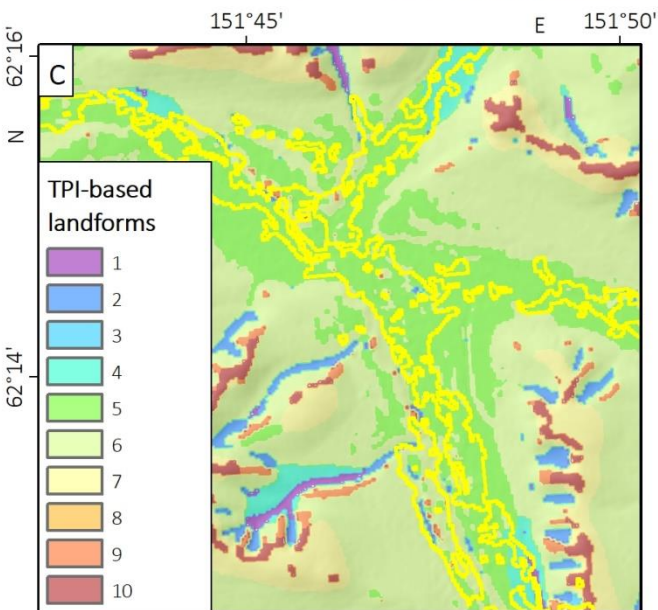
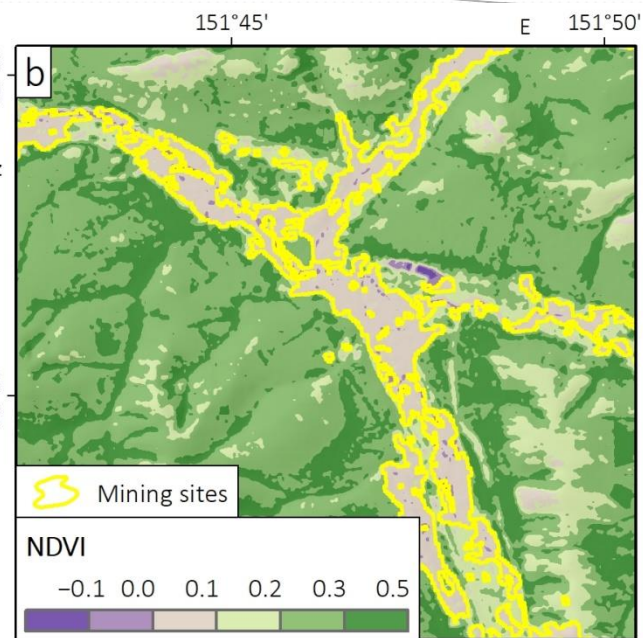
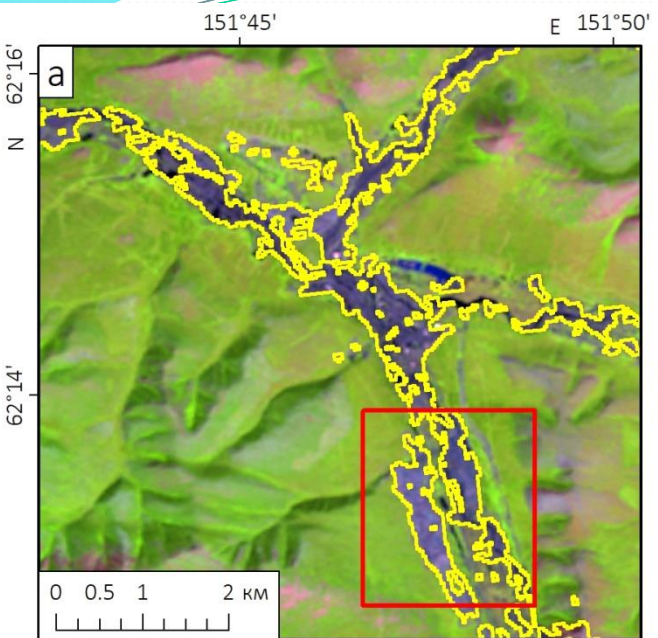
Регион
исследования.
Выделены
участки отводов
под добычу
золота

Исходные данные

Тип данных	Источник	Простр. разрешение	Период времени	Этап работы
Спутниковые данные	Landsat-7 ETM+ и Landsat-5 TM	30 м	2000-2002	Выделение нарушенных земель за 2000-2002
			2003-2012	Оценка восстановления растительности на нарушенных землях
	Landsat-8 OLI	30 м	2013-2022	
	Sentinel-2	10 м	2016-2018 и 2022	Оценка площади нарушенных земель за 2016-2018 и 2022 гг. и ее прироста
	Снимки высокого разрешения с открытых сервисов (Google Earth)	≈0.5 м	С 2009 г. по н.в.	Визуальная оценка, валидация
Дополнительные данные	ЦМР ALOS WTD	30 м	–	Идентификация тальвегов, выделение бассейнов, классификация форм рельефа
	Горные отводы	–	2021	Отделение нарушенных земель от других спектрально близких объектов
	Пожары по данным NASA	700/1000 м	2000-2022	Отделение нарушенных земель от гарей
	Карты землепользования GlobCover-2009 и карта растительности России	230 м	2018	Определение типов растительности, подвергшихся воздействию

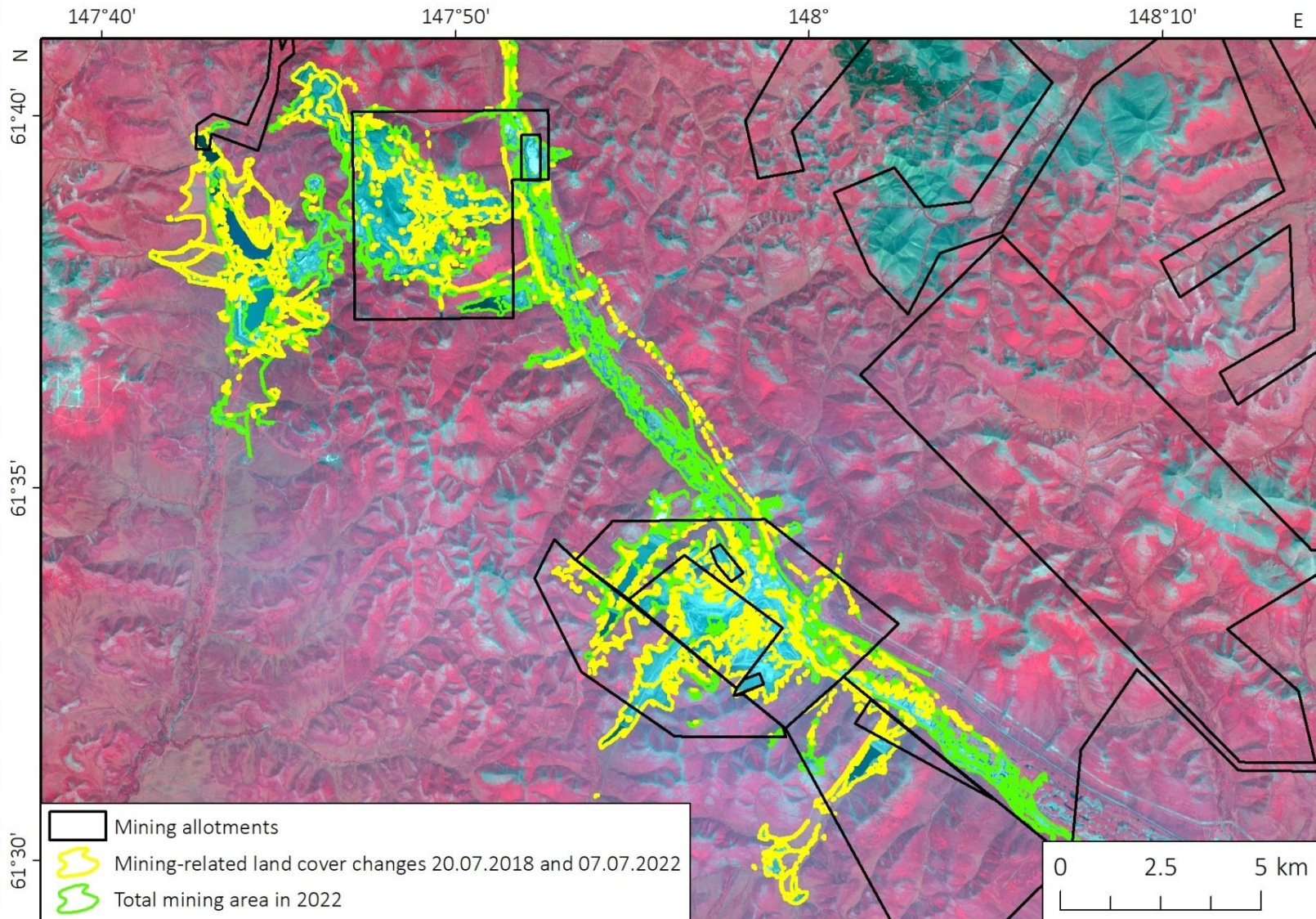
Спектры нарушенных земель в сравнении с другими типами открытых участков местности

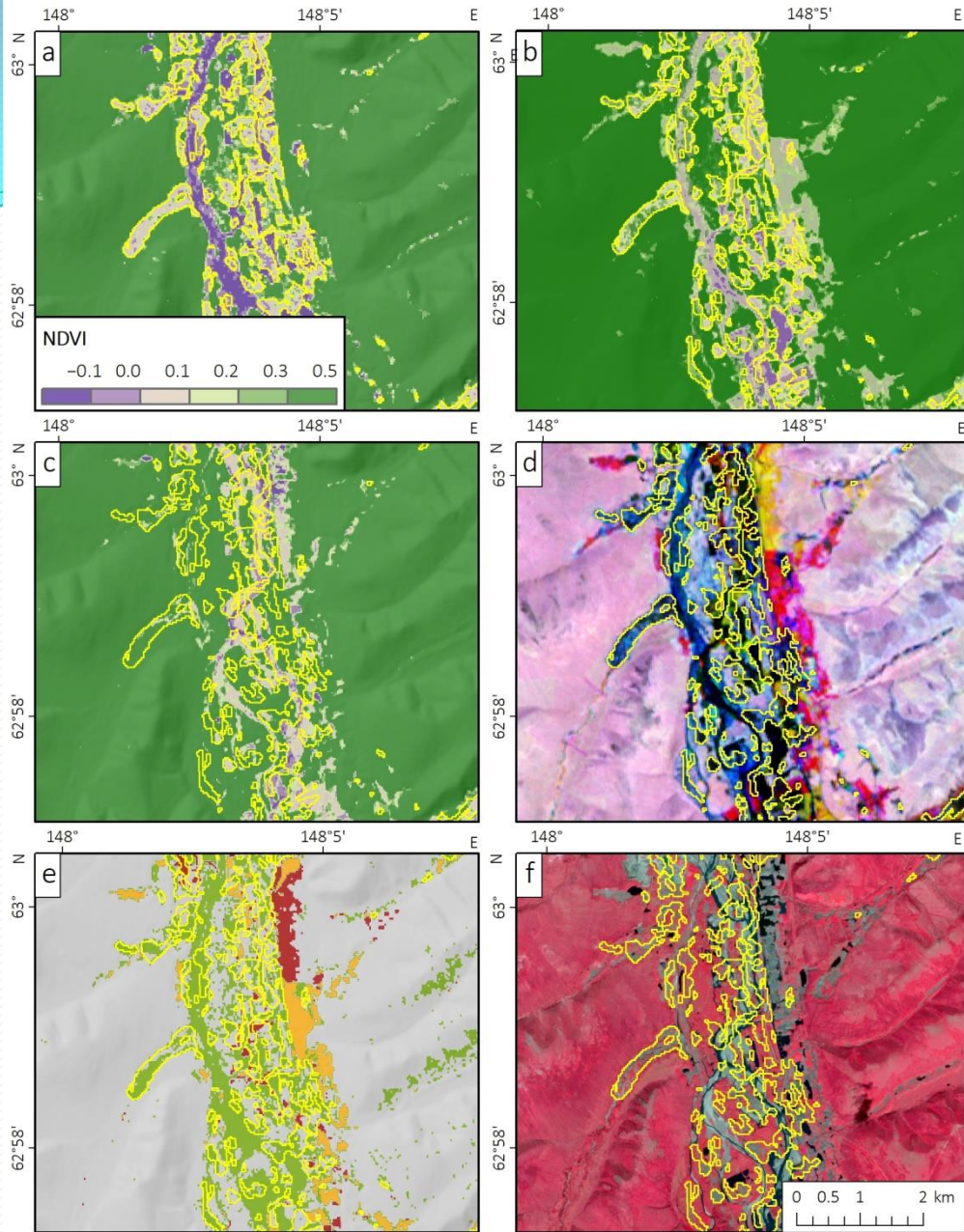




- **Идентификация нарушенных земель по снимкам Landsat:**
- а – исходный снимок за 10.07.2000 г.,
- б – NDVI, рассчитанный по этому снимку
- в – классификация форм рельефа по параметру TPI
- г – снимок с Google Earth (участок показан прямоугольником на рис. а).

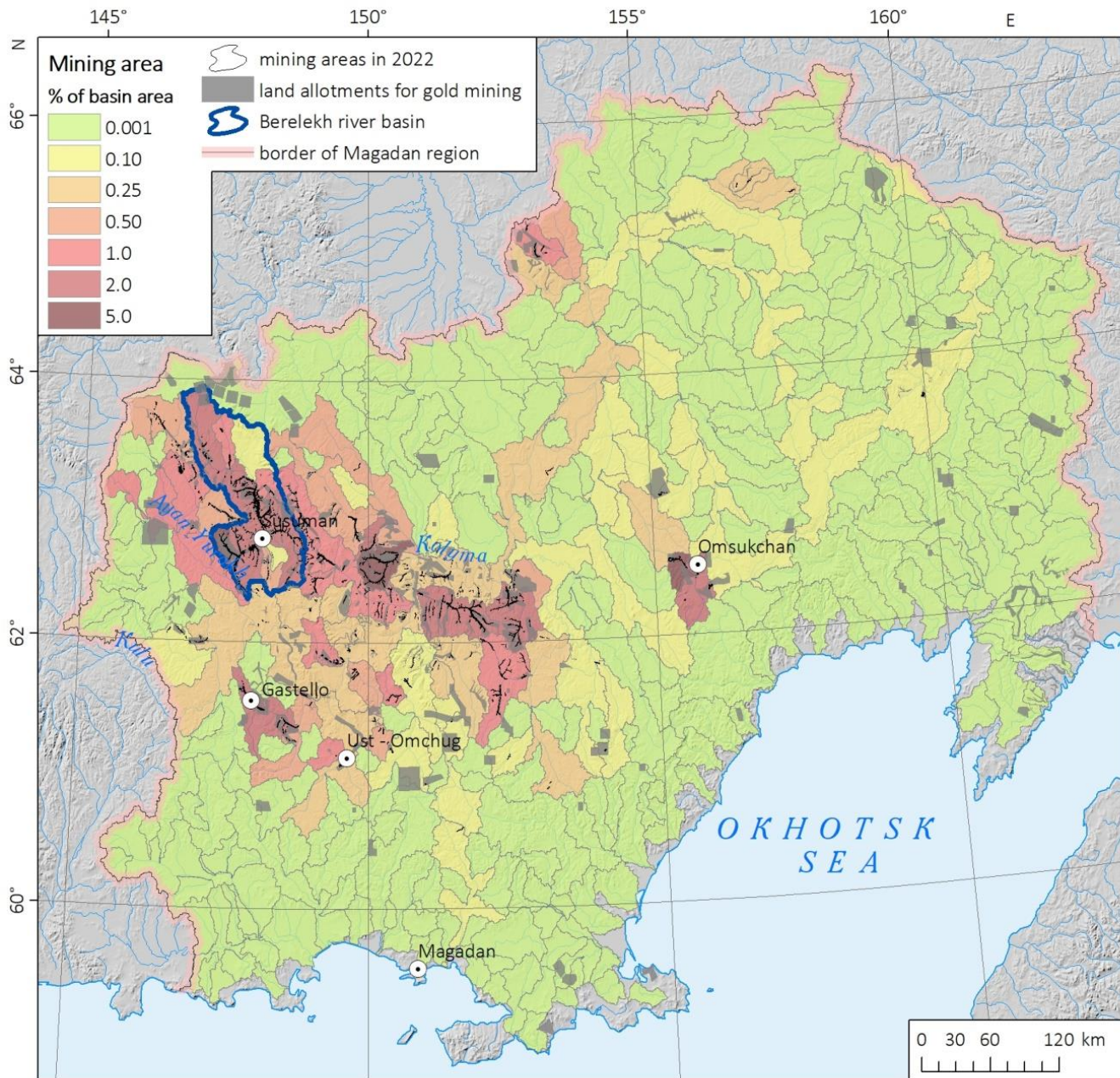
Прирост площади нарушенных земель на Наталкинском месторождении между 20.07.2018 и 09.07.2022 г.



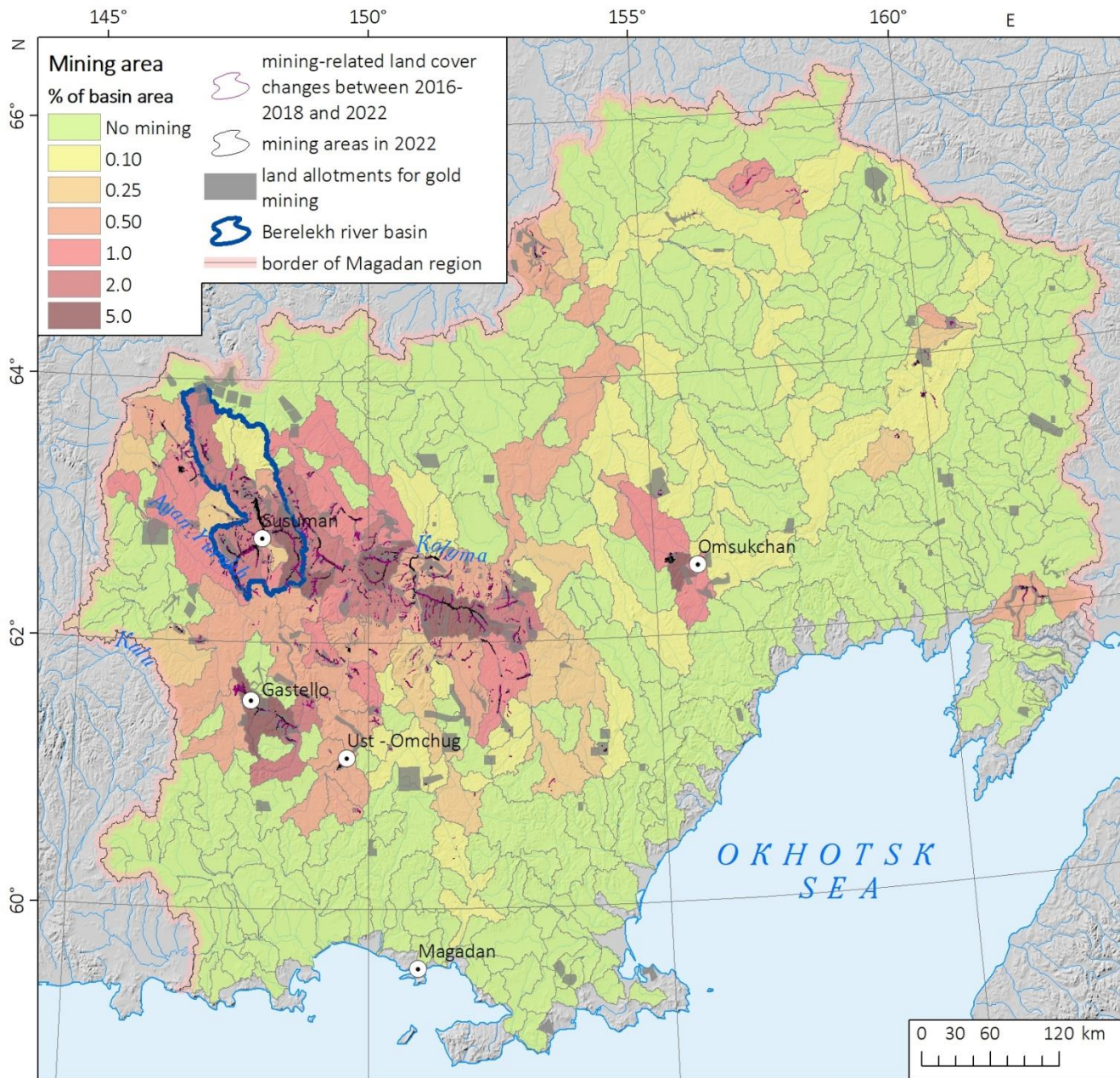


Идентификация восстановления растительности на нарушенных землях:

Значения NDVI, рассчитанные за лето 2000 (а), 2009 (б) и 2021 (в), RGB-композит, созданный из растров NDVI за 2000, 2009 и 2021 гг., восстановленная растительность показана синим цветом (г), результаты классификации (д) снимок Sentinel-2, полученный в июле 2022 г. (е).

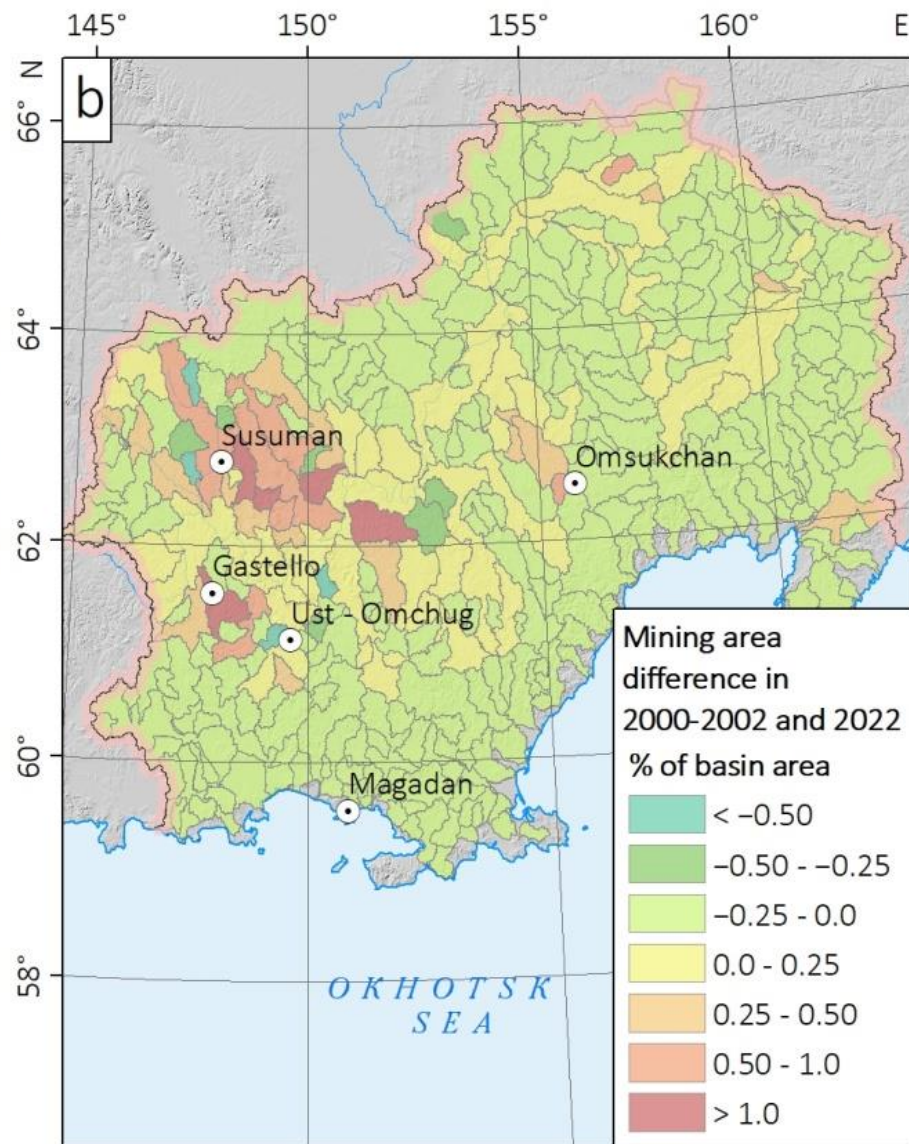
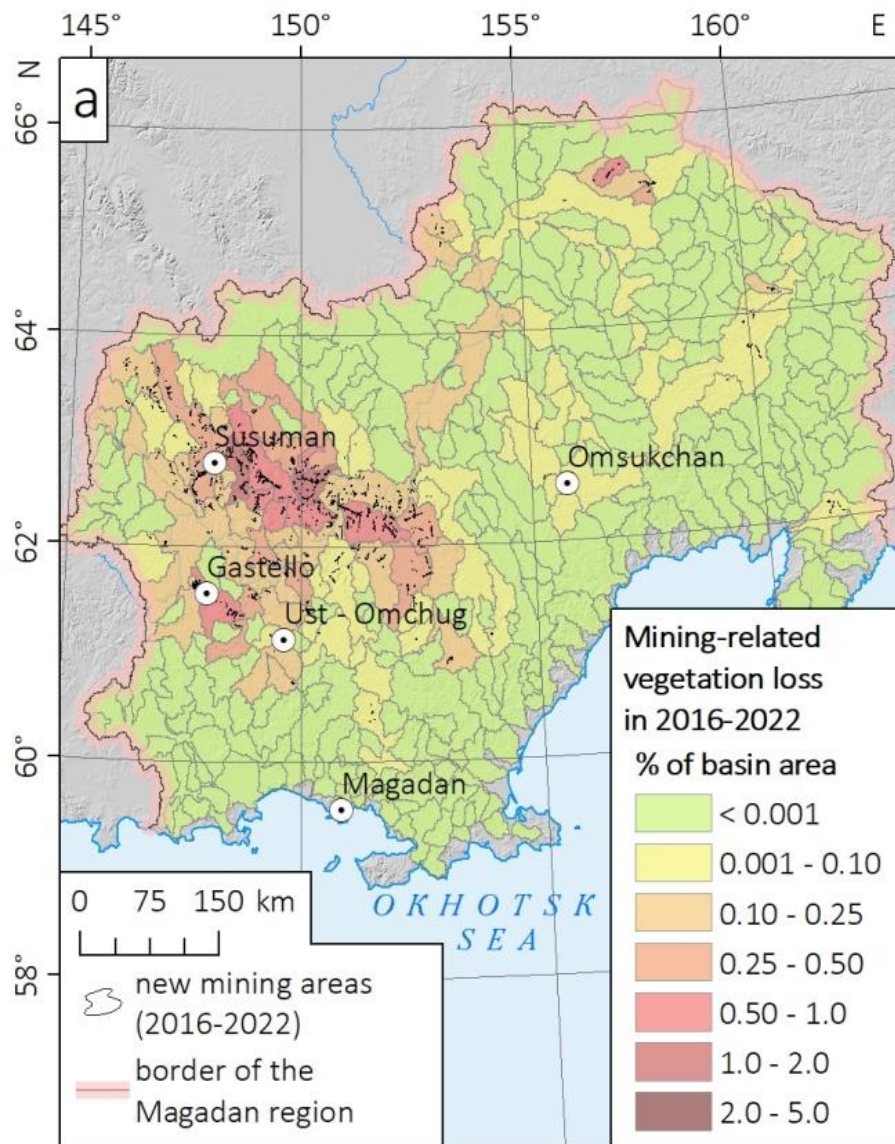


Оценка площади нарушенных земель с $NDVI < 0.1$ по снимкам Landsat за 2000-2002 гг., по крупным речным бассейнам ($S > 200 \text{ км}^2$). Выделен бассейн р. Берелех с наибольшей площадью нарушений

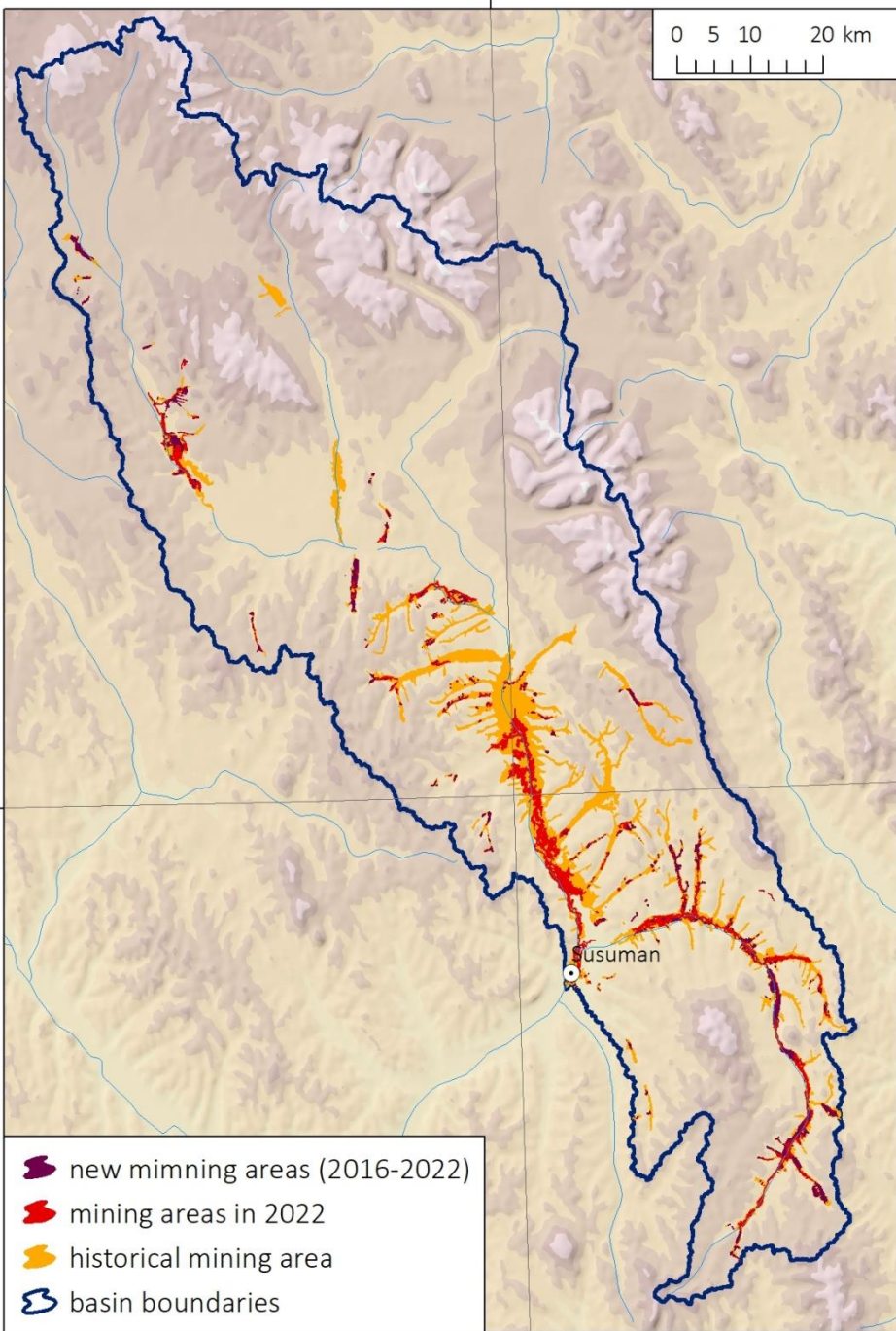


Оценка площади нарушенных земель с NDVI < 0.1 по снимкам Sentinel-2 за 2022 г., по крупным речным бассейнам ($S > 200 \text{ км}^2$). Выделен бассейн р. Берелех с наибольшей площадью нарушений

Изменение площади нарушенных земель между 2016-2018 и 2022 гг. (а) и между 2000-2002 и 2022 гг. (б)



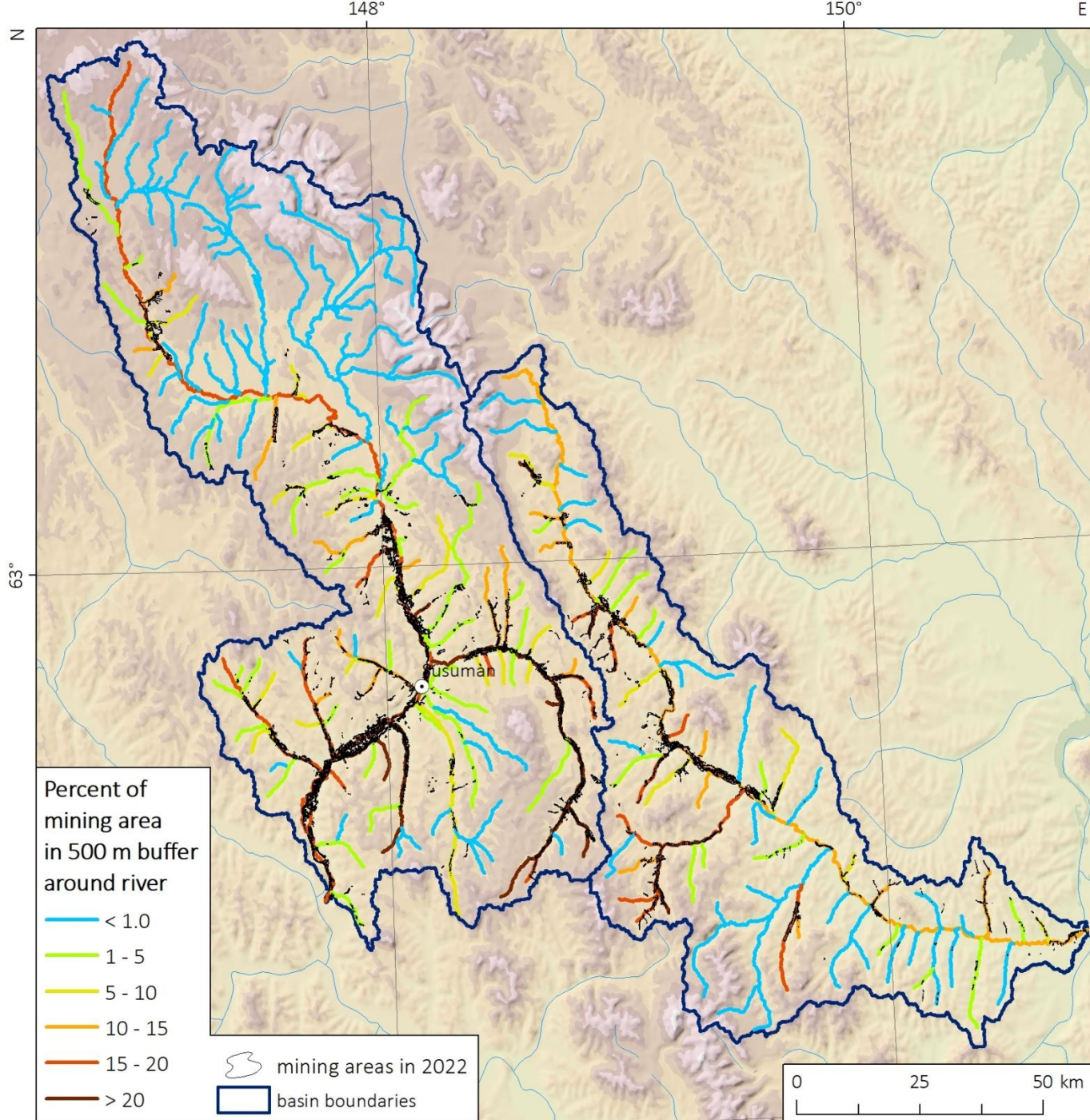
148°



Общая площадь нарушенных земель за весь период – 453.1 км².

Площадь нарушенных земель, полностью лишенных растительности и выявленных в автоматическом режиме по снимкам Sentinel-2 за 2022 г. - 94,5 км²

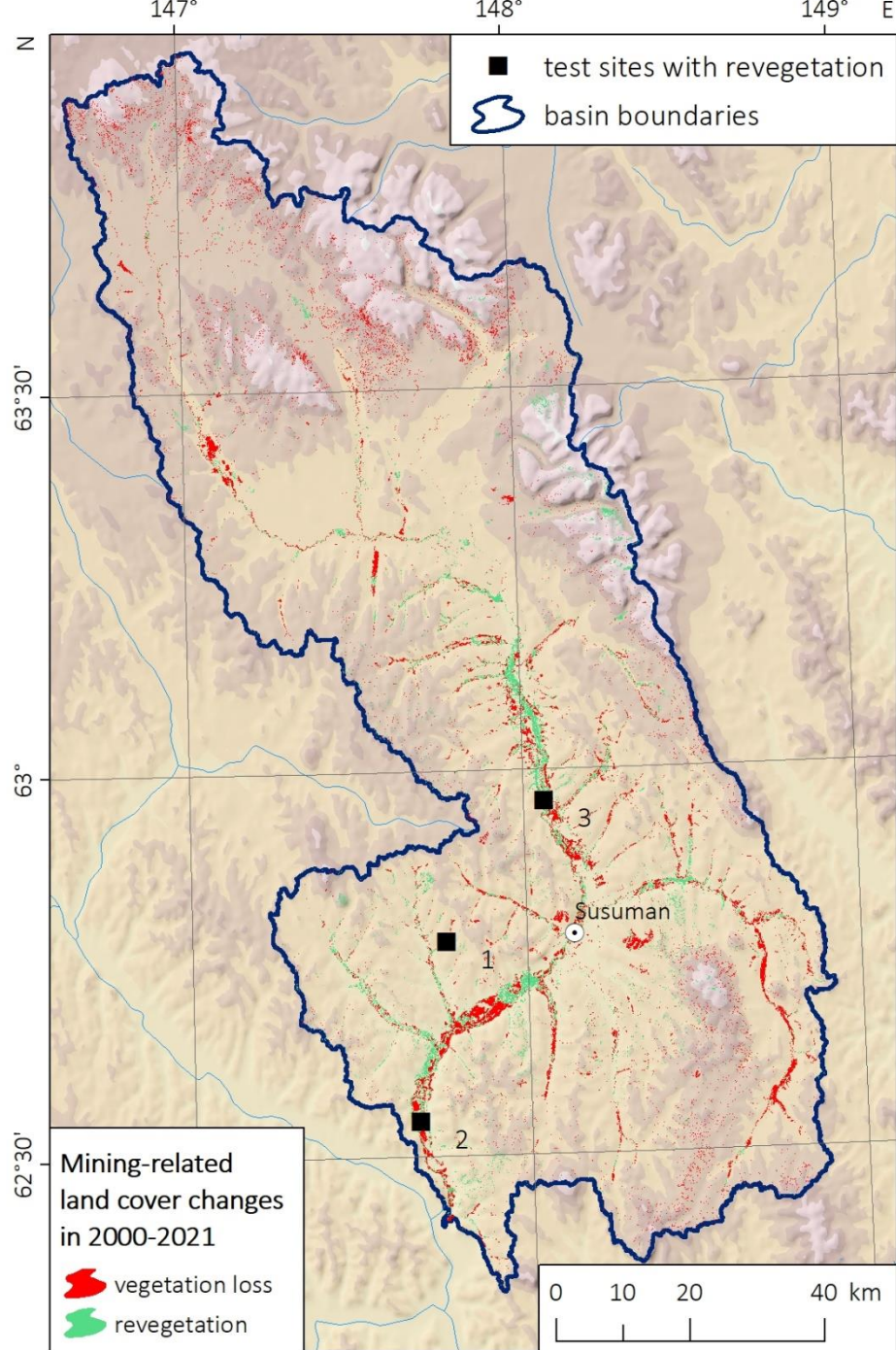
Площадь новых нарушений за 2016 (2018) – 2022 г. – 25,7 км².



Доля площади нарушенных земель в поймах (500-метровой буферной зоне вокруг рек), рассчитанная по снимкам Sentinel-2 2022 г. для бассейнов рек Берелех и Дебин.

Типы растительности, подвергшиеся воздействию, согласно Карте растительности России 2018 г. (авторы С.А. Барталев и др.)

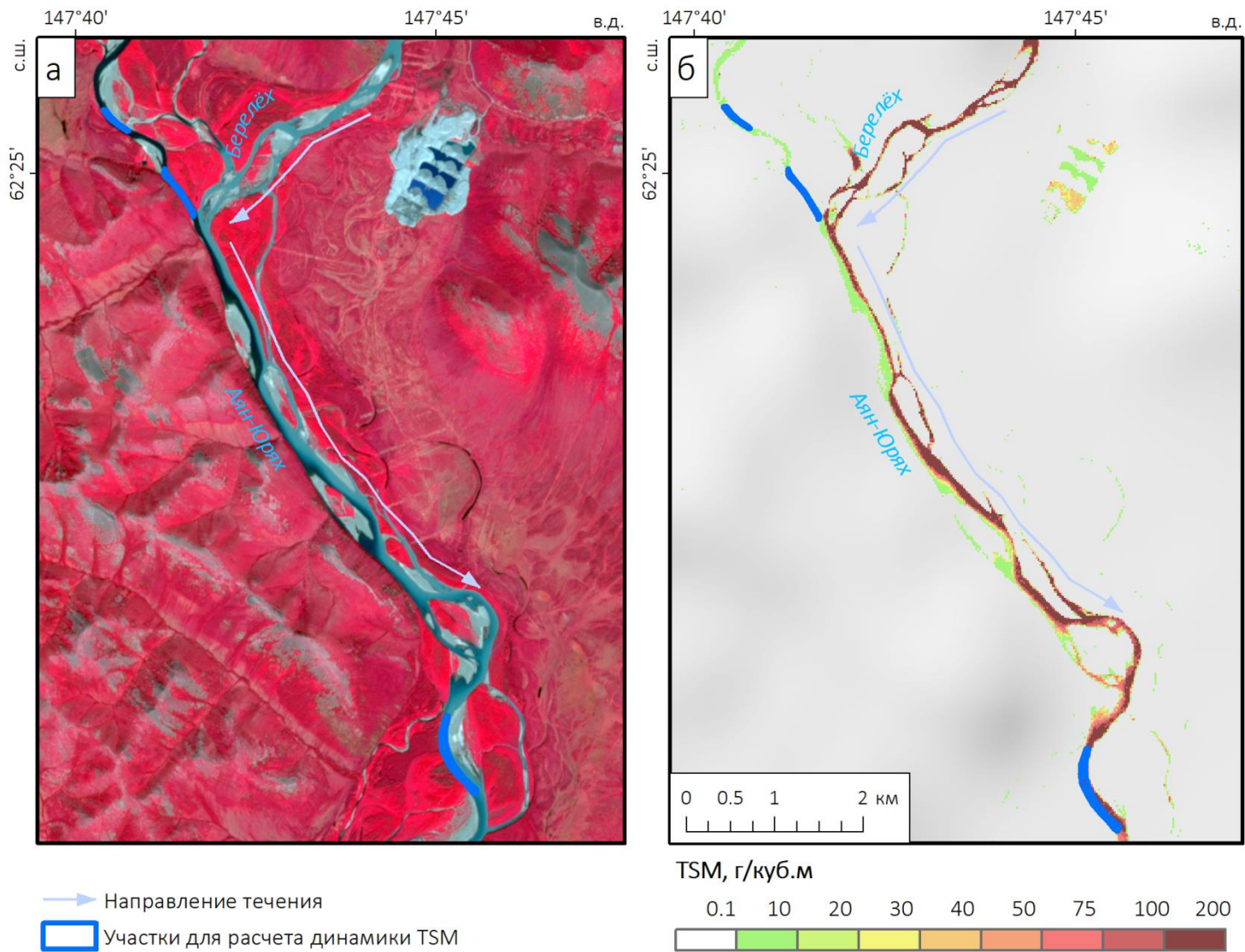
Типы земных покровов/растительности	Площадь, км ²	Нарушенная площадь, км ²
Свежие гари	2364.7	1.1
Вечнозеленые хвойные кустарники (стланик)	104776.0	71.9
Лиственничные леса	54080.1	27.3
Лиственные леса	1114.9	–
Луга	208.9	–
Смешанные леса	12.2	–
Смешанные леса с преобладанием хвойных	161.8	–
Смешанные леса с преобладанием лиственных	54.4	–
Каменистые россыпи	43549.6	16.4
Лиственничное редколесье	65948.9	41.5
Кустарники	17984.3	8.2
Болота и луга	33368.9	41.7
Тундра	137571.0	49.1
Городская застройка	14.0	–
Водные объекты	1535.4	–



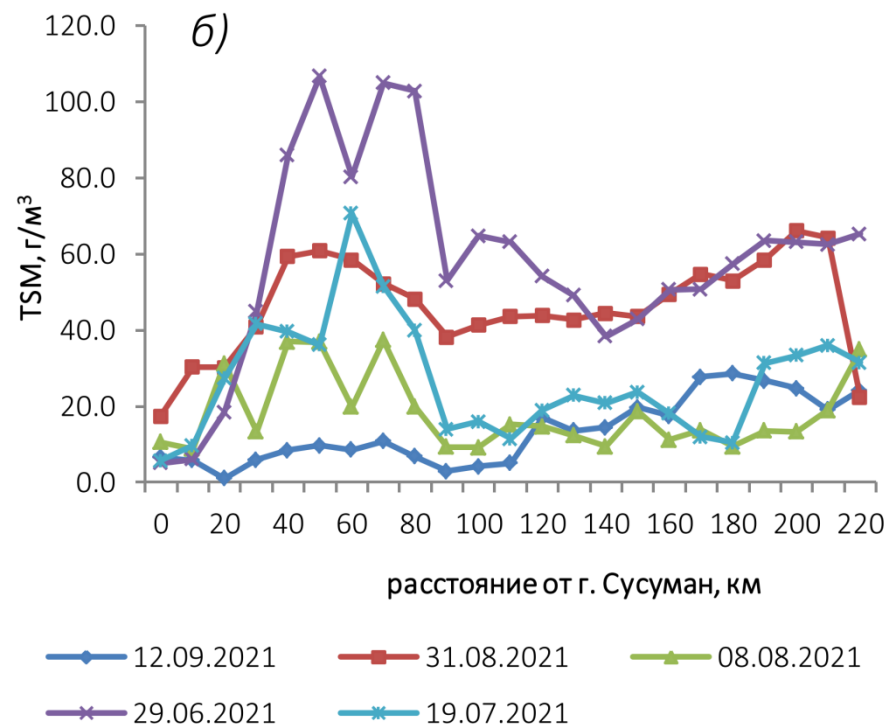
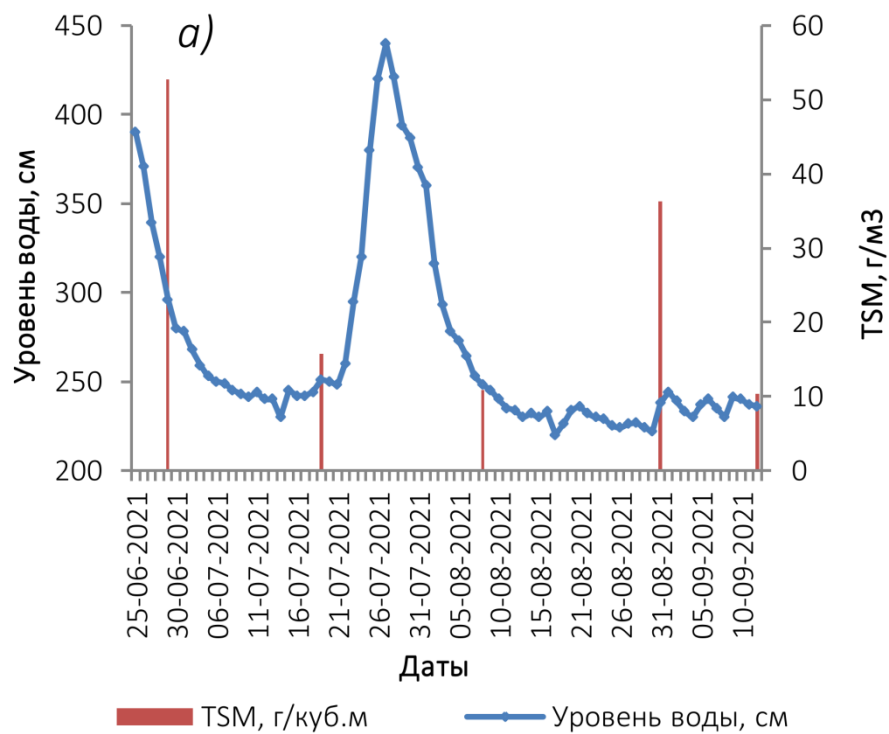
Соотношение площади нарушения и восстановления растительного покрова в бассейне р. Берелех за период 2000-2021 гг. по снимкам Landsat

Нарушение – 29600 га
Восстановление – 19900 га

Оценка загрязнения вод взвешенными веществами: Фрагмент снимка Sentinel-2 на участок у слияния рек Аян-Юрях и Берелёх (а), и расчетные значения TSM в воде (б)



Динамика расчетных значений TSM по снимкам Sentinel-2 и уровня воды по данным гидропоста р. Колыма – с. Оротук (а), и изменения расчетных TSM вниз по течению рек от г. Сусуман до Колымского вдхр. (б). Данные за летний период 2021 г.



Основные выводы

- Отмечено увеличение площади нарушения земель с начала XXI века по 2022 год (от 41 206 га до 72602 га), причем учитывались только участки, полностью лишенные растительности и не покрытые водой.
- В наиболее нарушенном бассейне р. Берелех 6% территории подвергалось воздействию разработки, в том числе более 1% - полностью лишено растительности вследствие разработок россыпного и рудного золота.
- По снимкам Sentinel-2 за период с 2016-2018 по 2022 гг. выявлено около 26 тыс. га новых нарушенных земель.
- Наиболее существенное воздействие наблюдается в бассейнах рек Берелех, Дебин и Тенька. Доля площади, лишенной растительности в поймах рек достигает 10-15% и более.
- Оценка площади лишенных растительности земель по бассейнам рек может служить индикатором загрязнения взвешенными веществами
- Планируется оценка влияния нарушения земель на сток на примере р. Берелех

Публикации

- Shikhov A, Ilyushina P, Makarieva O, Zemlianskova A, Mozgina M. Satellite-Based Mapping of Gold-Mining-Related Land-Cover Changes in the Magadan Region, Northeast Russia // Remote Sensing. 2023. V. 15(14). Art. No. 3564. <https://doi.org/10.3390/rs15143564>
- Илюшина П.Г., Шихов А.Н., Макарьева О.М. Картографирование негативного воздействия золотодобывающих предприятий на природную среду криолитозоны по спутниковым данным (на примере Магаданской области) // Исследование Земли из Космоса, 2023, № 1, с. 41–52.



Спасибо за внимание

А.Н. Шихов
Пермский государственный национальный
исследовательский университет,
e-mail: shikhovan@gmail.com