

# КАРТОГРАФИРОВАНИЕ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЗОЛОТОДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ НА ПРИРОДНУЮ СРЕДУ МАГАДАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Макарьева О.М.<sup>1</sup>  
Илюшина П.Г.<sup>2</sup>  
Шихов А.Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Институт наук о Земле Санкт-Петербургского государственного университета, Пермь, Россия

<sup>2</sup> Географический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

<sup>3</sup> Пермский государственный национальный исследовательский университет, Пермь, Россия

## ВВЕДЕНИЕ

Золотодобыча на рудных и россыпных месторождениях сопровождается значительным воздействием на природную среду, в частности загрязнением рек взвешенными веществами и тяжёлыми металлами, и нарушением земель. В зоне сплошного распространения многолетней мерзлоты, к числу которых относится Северо-Восток России, восстановление ландшафтов на нарушенных участках занимает продолжительное время, что усугубляет перечисленные проблемы.

Магаданская область занимает первое место в России по добыче россыпного золота. Значительные площади земель ежегодно подвергаются техногенному нарушению. Оценка масштабов этого процесса может эффективно выполняться методами спутникового мониторинга. Также при золотодобыче в реки поступают значительные объёмы взвешенных веществ, которые распространяются вниз по течению от перерабатываемых драгой участков русел и пойм.

Цель исследования состоит в картографировании нарушения земель и загрязнения водных объектов золотодобывающими предприятиями Магаданской области по спутниковым снимкам Landsat и Sentinel-2.

## ДАнные И МЕТОды

► Анализ динамики нарушенности земель выполнен по многолетнему архиву данных Landsat (сенсоров TM, ETM+, OLI), путём сравнения снимков за первые годы работы миссии Landsat-7 (1999-2003) и современных снимков Landsat-8. Выделение нарушенных земель производилось на основе пороговых значений NDVI. Исследована территория трёх районов Магаданской области.

► Также выполнена более детальная оценка площади нарушений за последние годы путём сопоставления разновременных снимков Sentinel-2 за 2016-2018 и 2022 гг. для всей территории области (рассматривались территории отводов под добычу полезных ископаемых).

► Оценка загрязнения воды взвешенными веществами выполнена с применением модуля The Case 2 Regional Coast Color Processor (C2RCC Processor, Brockmann et al., 2016), разработанного для программного пакета ESA SNAP.

## МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

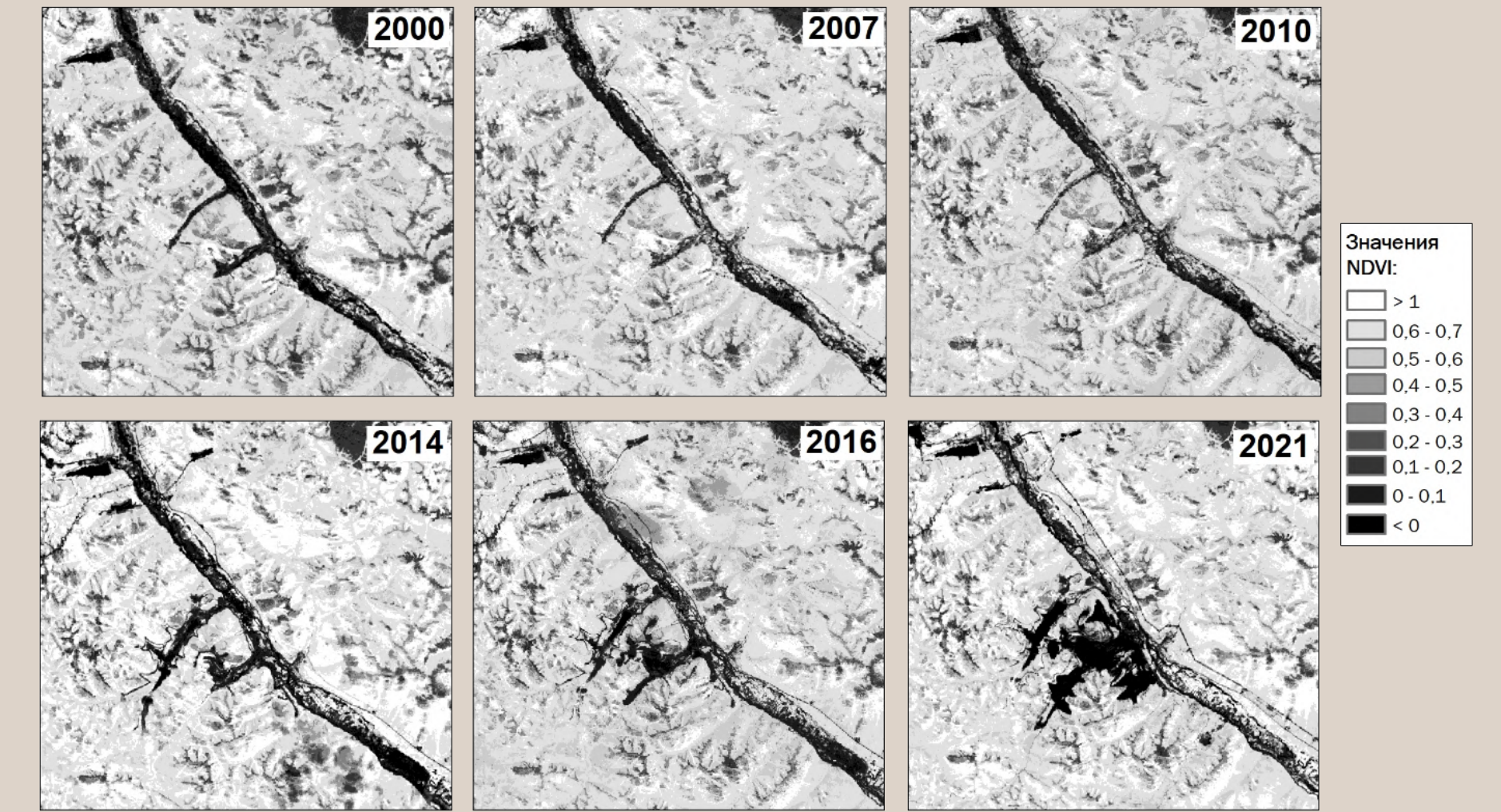


Рис. 1. Динамика NDVI на участках освоения Наталькинского золоторудного месторождения по спутниковым снимкам Landsat 7-8 за период 2000 – 2021 гг.

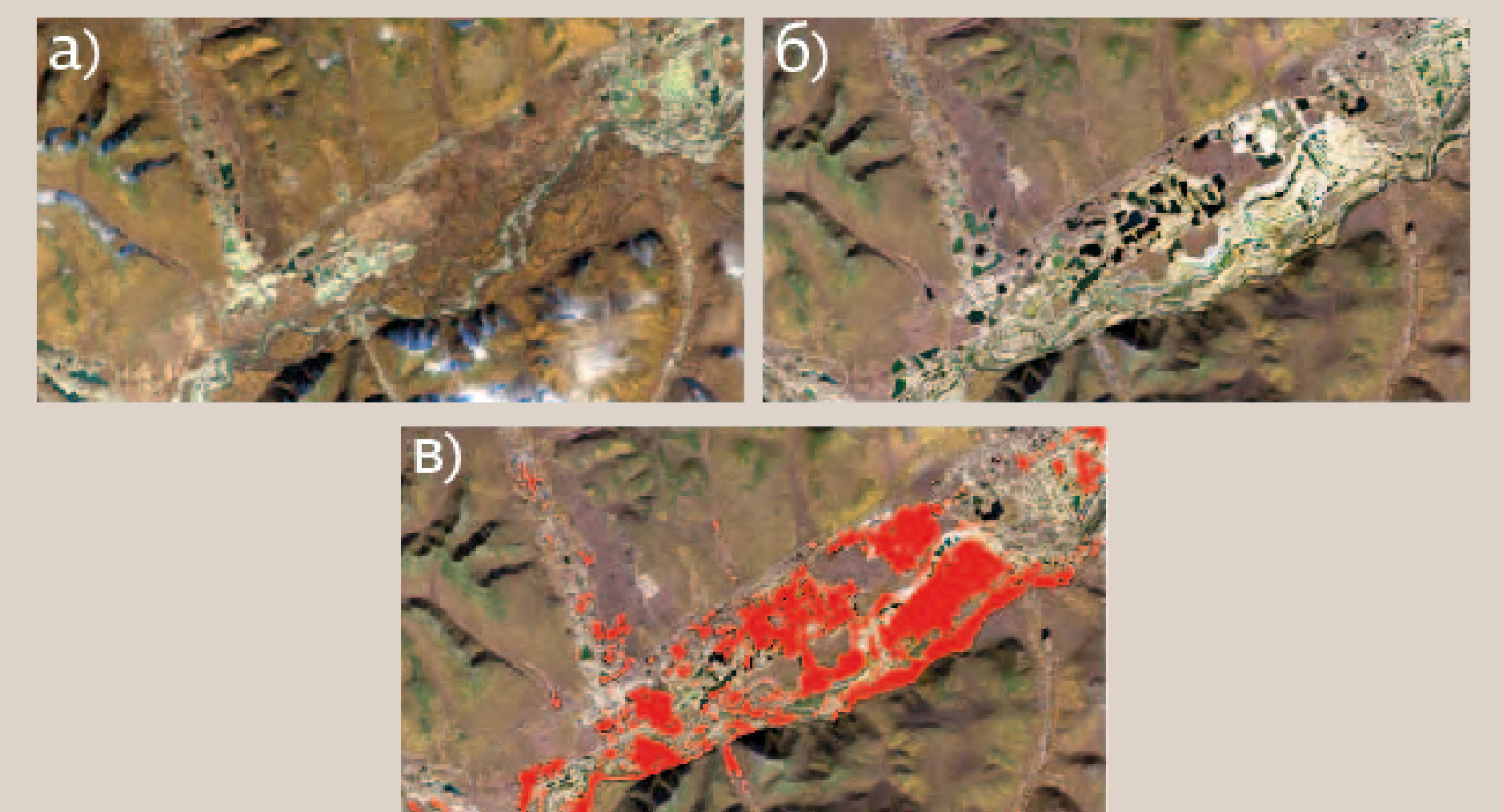


Рис. 2. Фрагменты снимков Landsat за разные годы: а) за 2001 год; б) за 2021 год; в) область нарушения земель при россыпной добыче золота, выделенная на основе разности NDVI, показана красным

## РЕЗУЛЬТАТЫ: КАРТОГРАФИРОВАНИЕ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

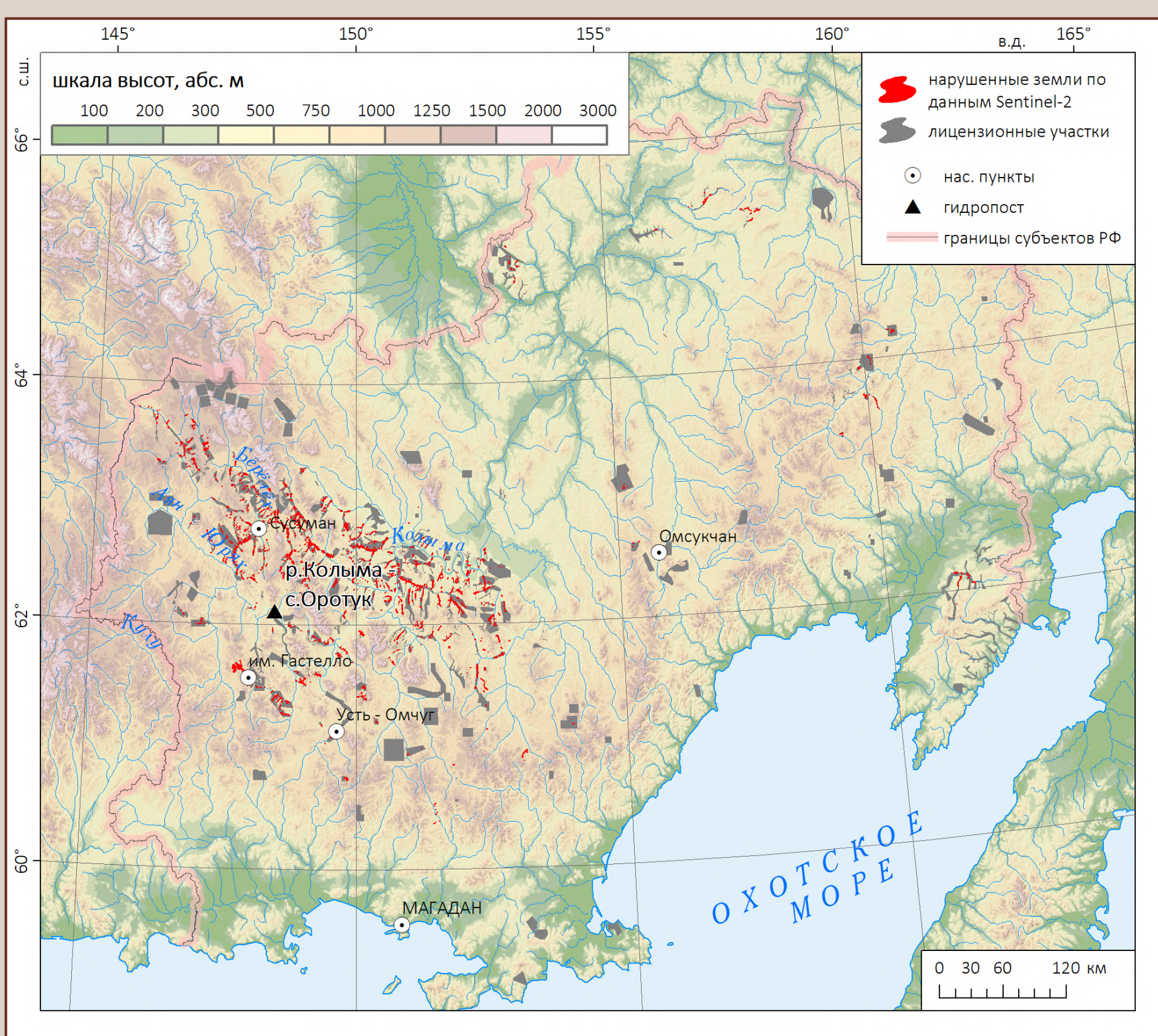


Рис. 3. Географическое положение ключевого участка и результаты дешифрирования нарушенных земель по данным Sentinel-2 в 2016(2018) – 2022 гг.

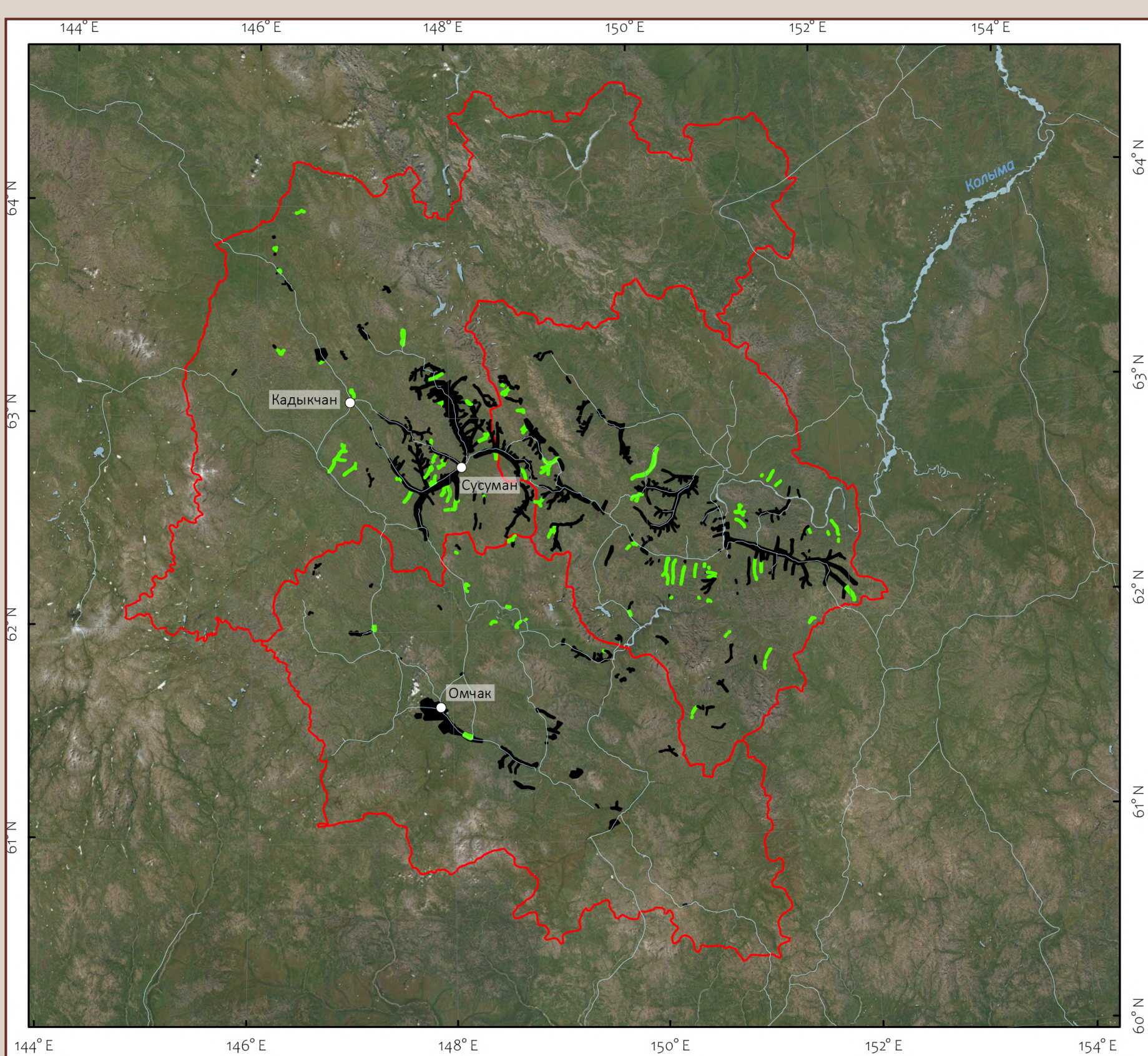


Рис. 4. Положение участков нарушенных земель на территории Сусуманского, Тенькинского и Ягоднинского районов. Чёрным показаны отвалы, где процессы восстановления растительности не наблюдаются; зелёным – отвалы с явными признаками восстановления растительности

## РЕЗУЛЬТАТЫ: ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

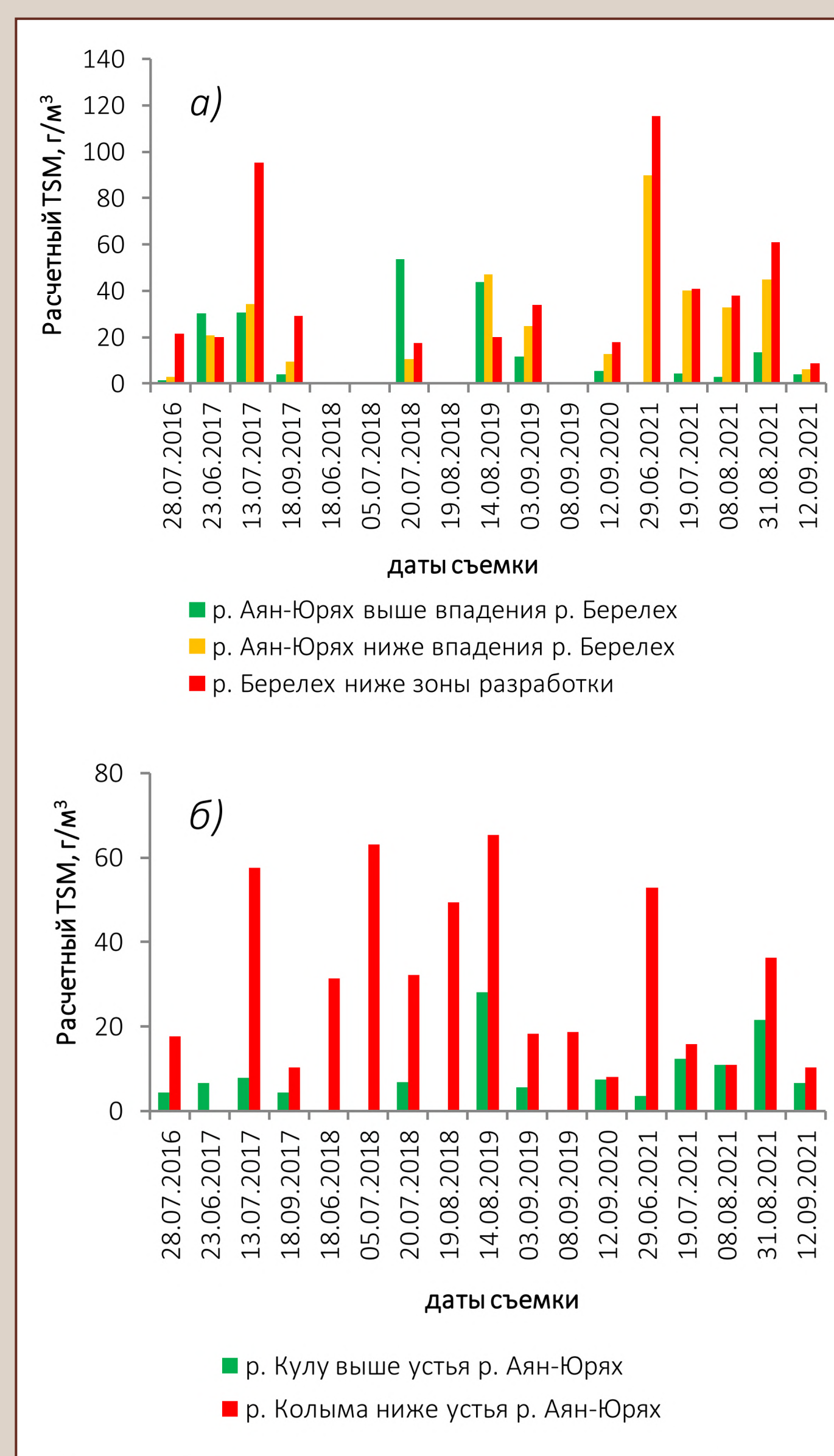


Рис. 6. Расчётные значения TSM по снимкам Sentinel-2 на тестовых участках вблизи слияния рек Аян-Юрх и р. Бёрёлёх (а), р. Аян-Юрх и р. Кулы (б)

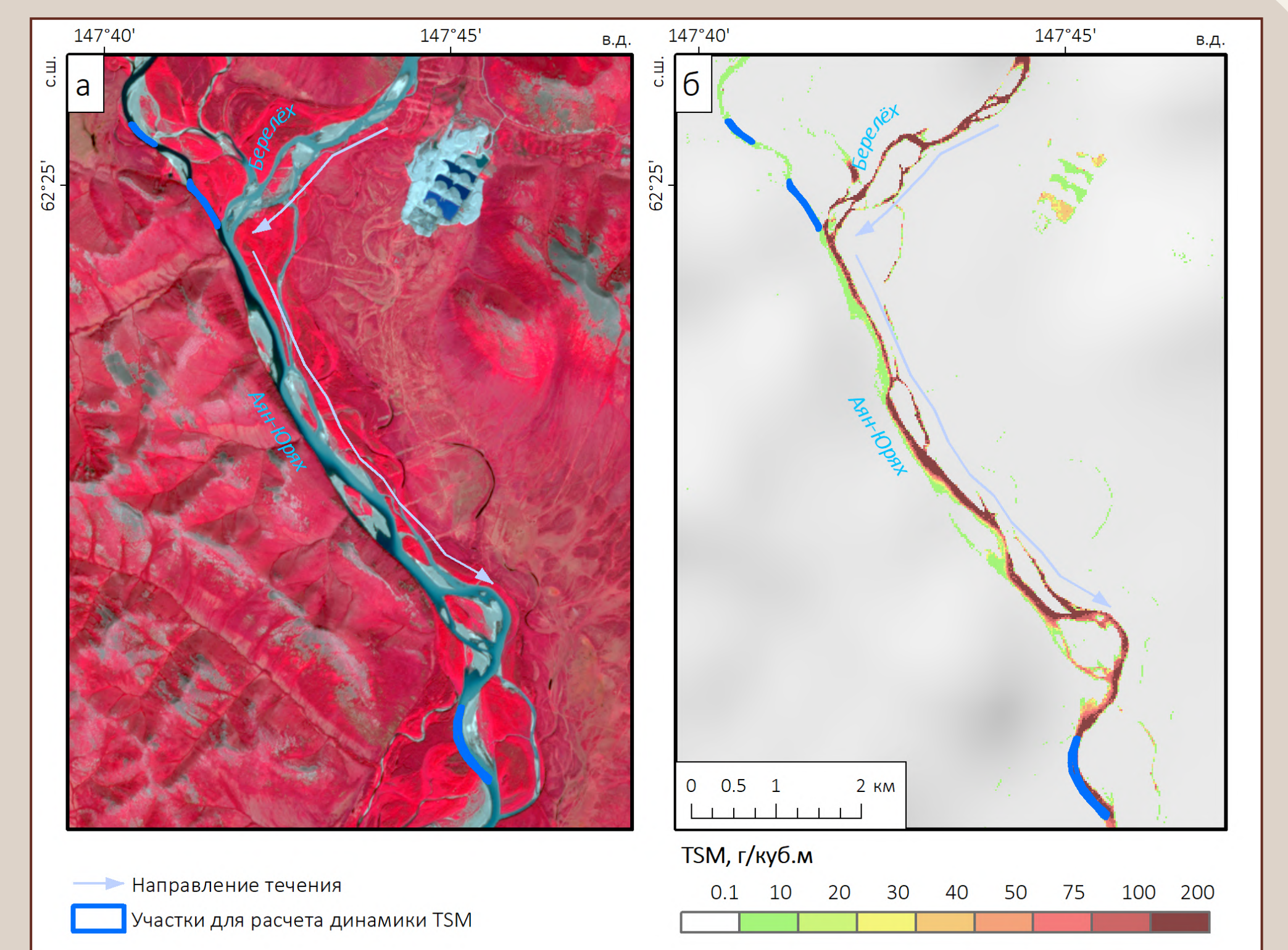


Рис. 5. Фрагмент снимка Sentinel-2 за 19.07.2021 г. в комбинации каналов NIR-Red-Green на участок у слияния рек Аян-Юрх и Бёрёлёх (а), и расчётные значения TSM в воде (б)

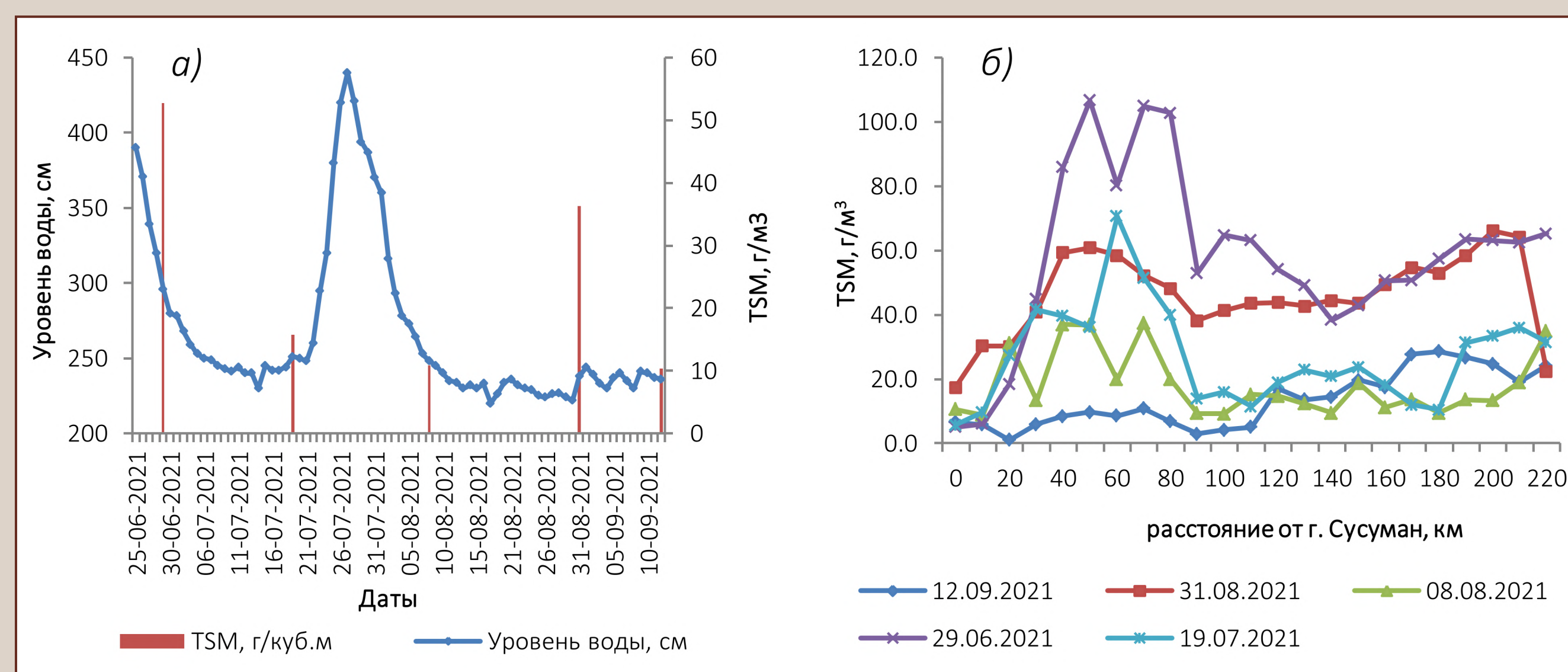


Рис. 7. Динамика расчётных значений TSM по снимкам Sentinel-2 и уровня воды по данным гидропоста р. Колыма – с. Оротук (а), и изменения расчётных TSM вниз по течению рек от г. Сусуман до Колымского вдхр. (б).

Данные за летний период 2021 г.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основным результатом проведенного исследования является оценка площади нарушенных земель на территории Магаданской области. Общая площадь земель, нарушенных при разработках полезных ископаемых в Сусуманском, Ягоднинском и Тенькинском районах, оценена как 2 278 км<sup>2</sup>, или 2% от общей площади территории. Из них только для 10% наблюдаются процессы восстановления растительности. На территории области в целом по снимкам Sentinel-2 выявлено около 260 км<sup>2</sup> земель, нарушенных при разработках за последние 4-6 лет. Наибольший масштаб современного техногенного воздействия выявлен в долине р. Бёрёлёх, а также ряда рек на территории Ягоднинского районов.

Также в результате исследования мутности воды по снимкам Sentinel-2 с применением модуля C2RCC Processor установлено, что основным источником загрязнения рек взвешенными веществами на территории Сусуманского и Тенькинского районов в настоящее время являются разрабатываемые россыпные месторождения золота в пойме р. Бёрёлёх. Повышенные относительно фона концентрации взвешенных веществ в воде сохраняются вплоть до Колымского вдхр., т.е. почти на 200 км от источника загрязнения. Расчётные значения TSM в воде ниже источника загрязнения повышаются в 2-16 раз, при этом сезонная изменчивость определяется гидрологическими условиями (мутность уменьшается в период межени и растёт при высоких уровнях воды). Дальнейшие исследования в данном направлении предполагают проведение полевой верификации полученных оценок TSM, а также выявление значимых источников загрязнения вод в других районах Магаданской области.