

DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.38.72.005

УДК 528.88:504.054

© Л. С. Миков, И. А. Жукова, 2025

Л. С. МИКОВ

младший научный сотрудник
Федеральный исследовательский центр
информационных и вычислительных
технологий, г. Кемерово
e-mail: mikov@ict.sbras.ru



И. А. ЖУКОВА

ведущий специалист
Федеральный исследовательский центр
информационных и вычислительных
технологий, г. Кемерово
e-mail: kembict@gmail.com



АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ В КУЗБАССЕ (ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ)

В статье рассматриваются методы мониторинга антропогенно нарушенных земель на территории Кузбасса с применением данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). В исследовании использованы радарные снимки Sentinel-1 и мультиспектральные изображения Sentinel-2, что позволило комплексно оценить состояние деградированных территорий. Особое внимание уделено определению границ нарушенных и рекультивированных земель, а также анализу их пространственно-временной динамики за 2019–2024 гг. Полученные результаты демонстрируют эффективность совместного применения радиолокационных и оптических данных для экологического мониторинга в условиях активной угледобычи. Исследование может быть полезно при планировании мероприятий по рекультивации и оценке антропогенной нагрузки на ландшафты.

Ключевые слова: НАРУШЕННЫЕ ЗЕМЛИ, РЕКУЛЬТИВИРОВАННЫЕ ЗЕМЛИ, САМО-ЗАРАСТАНИЕ, МУЛЬТИСПЕКТРАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ, РАДАРНЫЕ ДАННЫЕ.

ВВЕДЕНИЕ

В условиях интенсивного развития промышленности и роста антропогенной нагрузки на природные ландшафты мониторинг нарушенных земель приобретает критически важное значение как инструмент обеспечения экологической безопасности и устойчивого развития регионов. Особую актуальность эта задача имеет для угледобывающих территорий, где масштабные горные работы приводят к комплексным экологическим последствиям: деградации почвенного покрова, изменению гидрологического режима, трансформации рельефа и утрате биоразнообразия.

Кемеровская область — Кузбасс, являясь одним из крупнейших угольных бассейнов России, представляет собой наглядный пример таких антропогенных преобразований — многолетняя интенсивная разработка месторождений сформировала здесь обширные техногенные ландшафты, требующие постоянного контроля и восстановительных мероприятий.

Современные вызовы в области экологического мониторинга диктуют необходимость внедрения инновационных подходов к оценке состояния окружающей среды. Традиционные методы, основанные на наземных исследованиях, обладают рядом существенных

ограничений: они трудоемки, требуют значительных временных и финансовых затрат, а также не обеспечивают оперативного охвата больших территорий. В этом контексте технологии дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) открывают новые перспективы для экологического мониторинга. Интеграция спутниковых данных с геоинформационными системами позволяет не только отслеживать динамику нарушенных земель, но и анализировать их пространственную структуру, оценивать степень деградации экосистем и прогнозировать потенциальные экологические риски. Особую ценность представляет комплексное использование данных различного типа — оптических и радарных снимков, что значительно повышает достоверность и информативность получаемых результатов.

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

В исследовании использованы данные дистанционного зондирования Земли с космических аппаратов Sentinel-1 и Sentinel-2 программы Copernicus [1]. Мультиспектральные изображения Sentinel-2 с пространственным разрешением 10 м/пиксель были получены за летние периоды 2019–2024 годов, что обеспечило оптимальные условия для визуального анализа благодаря минимальной облачности и максимальному вегетационному развитию растительности. Параллельно анализировались радарные изображения Sentinel-1

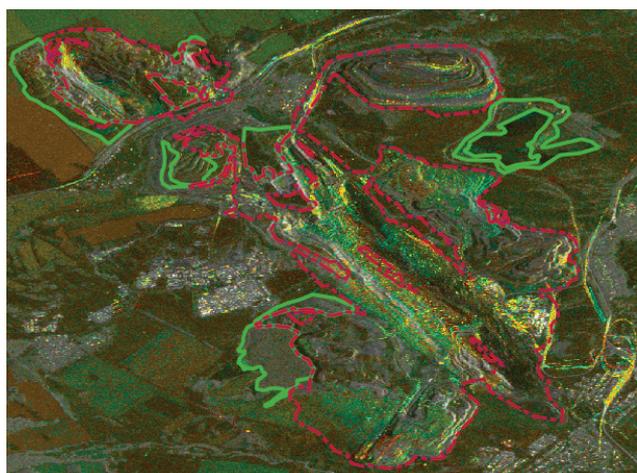


Рис. 1. Границы нарушенных земель (красный цвет), участки рекультивации и самозарастания (зеленый цвет), Бачатский угольный разрез, 2023 год

с разрешением 25 м/пиксель за аналогичный временной период.

Обработка данных выполнялась с применением современных алгоритмов обработки спутниковой информации. Для анализа радарных снимков Sentinel-1 использовался алгоритм REACTIV [2], позволяющий с высокой точностью детектировать изменения земной поверхности. Из всего массива выявленных изменений были селективно выделены территории, подвергшиеся антропогенному воздействию в результате деятельности горнодобывающих предприятий Кузбасса.

Дальнейшая обработка включала верификацию и уточнение полученных результатов. На основе RGB-композиций Sentinel-2 в программном комплексе QGIS выполнялась ручная корректировка границ нарушенных территорий, что позволило значительно повысить точность выделения интересующих объектов. Результатом обработки стали векторные слои в формате SHP, содержащие пространственные данные о расположении и конфигурации нарушенных земель. В атрибутивных таблицах этих слоев автоматически рассчитывались ключевые параметры: площади нарушенных земель, участков рекультивации и территорий с признаками естественного самозарастания для каждого года наблюдений.

В качестве тестового полигона для отработки технологии был выбран Бачатский

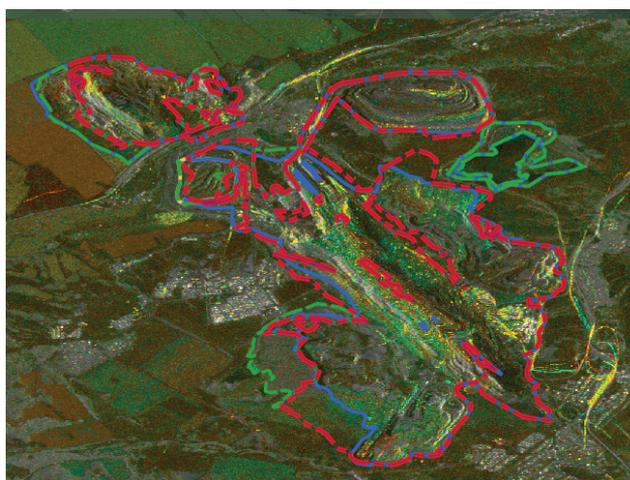


Рис. 2. Границы нарушенных земель (синий цвет — 2020 г., красный цвет — 2023 г.), участки рекультивации и самозарастания (желтый цвет — 2020 г., зеленый цвет — 2023 г.), Бачатский угольный разрез

угольный разрез. На его примере (рис. 1–2) видно, что участки самозарастания формируются преимущественно на склонах отвалов, где естественная растительность восстанавливается благодаря минимальному антропогенному воздействию. В то же время нарушенные земли демонстрируют устойчивый рост площадей, что коррелирует с увеличением объёмов добычи угля в 2020–2023 гг. (табл. 1).

После обработки данных по Бачатскому угольному разрезу был проведён анализ всей территории Кемеровской области. Результаты обработки представлены в виде сводной таблицы (табл. 2). На основе полученных данных построены соответствующие диаграммы (рис. 3), отображающие динамику изменения площадей.

В ходе исследования было установлено, что наибольшие площади нарушенных земель сосредоточены в районах с интенсивной добычей угля открытым способом. Одновременно с этим отмечается рост участков рекультивации, что свидетельствует о постепенном внедрении природоохранных мер. Однако, как показывают данные, их масштабы пока недостаточны для полного восстановления экологического баланса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования подчёркивают необходимость усиления контроля над рекультивацией. Несмотря на увеличение площадей восстановленных земель (с 148,8 км²

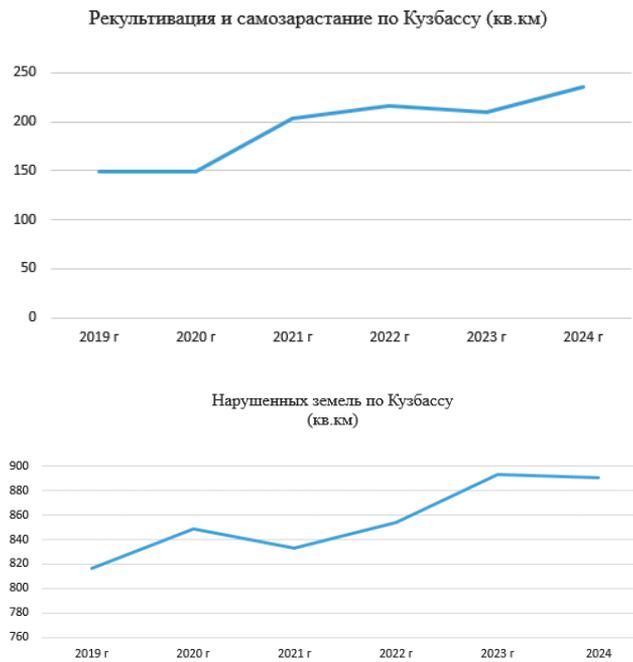


Рис. 3. Динамика изменения площадей нарушенных земель и участков рекультивации и самозарастания в Кемеровской области с 2019 по 2024 гг.

в 2019 г. до 235,3 км² в 2024 г.), темпы рекультивации отстают от масштабов нарушений (рост с 816,2 км² до 890,7 км²). Это указывает на важность проведения восстановительных работ параллельно с добычей.

Проведённый мониторинг нарушенных земель Кузбасса на основе данных дистанционного зондирования подтвердил высокую эффективность использования данных Sentinel-1/2 в задачах экологического контроля. Комбинация радарных

Таблица 1
Нарушенные земли Бачатского угольного разреза (2020–2023 гг.) (кв. км)

	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Площади нарушенных земель	46,12	42,13	42,71	45,15
Площади участков самозарастания и рекультивации	3,37	8,044	6,38	6,93

Таблица 2
Площади территорий по Кемеровской области-Кузбассу (кв. км)

	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Нарушенные земли	816,2	848,5	832,7	854,4	893,2	890,7
Участки рекультивации и самозарастания	148,8	149,0	203,0	216,3	210,2	235,3

и мультиспектральных данных позволила не только точно определить границы нарушенных территорий, но и выделить зоны рекультивации и естественного самозарастания.

Анализ динамики за 2019–2024 гг. выявил устойчивую тенденцию к увеличению площадей нарушенных земель, обусловленную интенсивной угледобычей. Однако рост восстановленных участков демонстрирует потенциал системного подхода к рекультивации.

Перспективы дальнейших исследований связаны с интеграцией данных космической

съёмки и машинного обучения для детальной классификации типов нарушений. Полученные результаты могут стать основой для разработки региональных программ устойчивого землепользования, обеспечивающих баланс между промышленным развитием и экологической безопасностью.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для Федерального исследовательского центра информационных и вычислительных технологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Copernicus [Электронный ресурс]. 2025. URL: <https://www.copernicus.eu/en> (дата обращения: 20.03.2025)
2. Elise Colin Koeniguer, Jean-Marie Nicolas, Beatrice Pinel-Puysegur, J.-M. Lagrange and Fabrice Janez. Visualisation des changements sur s'eries temporelles radar: m'ethode REACTIV 'evalu'ee `a l'echelle mondiale sous Google Earth Engine // Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection. 2018. P. 99–108

DOI: 10.25558/VOSTNII.2025.38.72.005

UDC 528.88:504.054

© L. S. Mikov, I. A. Zhukova, 2025

L. S. MIKOV

Junior Researcher
Federal Research Center for Information
and Computational Technologies, Kemerovo
e-mail: mikov@ict.sbras.ru

I. A. ZHUKOVA

Lead Specialist
Federal Research Center for Information
and Computational Technologies, Kemerovo
e-mail: kembict@gmail.com

ASSESSMENT OF DISTURBED LANDS IN KUZBASS USING REMOTE SENSING DATA

The article examines methods for monitoring anthropogenically disturbed lands in the Kuzbass region using Earth remote sensing (ERS) data. The study employs Sentinel-1 radar imagery and Sentinel-2 multispectral data to comprehensively assess the state of degraded territories. Special attention is given to delineating the boundaries of disturbed and reclaimed lands, as well as analyzing their spatiotemporal dynamics from 2019 to 2023. The results demonstrate the effectiveness of integrating radar and optical data for environmental monitoring in areas of active coal mining. The research can inform reclamation planning and the assessment of anthropogenic impacts on landscapes.

Keywords: DISTURBED LANDS, RECLAIMED LANDS, NATURAL REGENERATION, MULTISPECTRAL DATA, RADAR DATA.

REFERENCES

- Copernicus [Electronic resource]. 2025. URL: <https://www.copernicus.eu/en> (date of access: 20.03.2025). [In Russ.].
- Elise Colin Koeniguer, Jean-Marie Nicolas, Beatrice Pinel-Puysegur, J.-M. Lagrange and Fabrice Janez. Visualisation des changements sur s'eries temporelles radar: m'ethode REACTIV 'evalu'ee `a l'echelle mondiale sous Google Earth Engine // Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection. 2018. P. 99–108. [In Russ.].