

УДК: 912.43+622.85

DOI: 10.35595/2414-9179-2025-2-31-36-53

В. Р. Битюкова¹, А. В. Дюбанов²

ОЦЕНКА НАРУШЕННОСТИ ЗЕМЕЛЬ ПО КОСМИЧЕСКИМ СНИМКАМ ВБЛИЗИ ПРЕДПРИЯТИЙ ДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

АННОТАЦИЯ

Площадь нарушенных земель, утративших первоначальную хозяйственную ценность — важнейший индикатор промышленного влияния, поскольку они экологически опасны и обуславливают значительные экономические ущербы. В структуре нарушенных земель 67 % составляют нарушения при разработке месторождений полезных ископаемых. В настоящее время статистическая обеспеченность данными по нарушенным землям упирается в проблему отсутствия статистической отчетности по муниципальным образованиям. Оценка характера нарушенных земель на локальном уровне, проведенная с использованием двух методик: автоматического программного и ручного методом дешифрирования снимков, показала, что динамика нарушенных земель по отдельным месторождениям более плавная, логичная и объяснимая, чем по регионам их расположения, что, скорее всего, подтверждает низкое качество статистики в этой области. Анализ космических снимков показал, что наибольшее разрушающее воздействие на окружающую среду оказывается в моменте складирования пустой породы, а также в процессе расширения зоны активной добычи сырья. По результатам анализа отобранных космических снимков наибольшим темпом приращения нарушенных земель характеризуются крупные и старые месторождения нефти (в среднем 10 % в год) и места угледобычи со среднегодовым приращением свыше 5 % даже для нового месторождения. Далее следуют добыча золота и железных руд. Месторождения, располагающиеся в более северных регионах, с большей интенсивностью приращивают нарушенные земли. По общему масштабу прироста нарушенных земель лишь половина рассматриваемых месторождений не превысила среднероссийские темпы прироста в 6,2 %. Крупные и старые месторождения преимущественно превышают среднегодовые значения. Наибольшие превышения наблюдались в ХМАО и Кемеровской области.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: добывающая промышленность, картография, оценка нарушенности земель, ГИС, космические снимки

Victoria R. Bityukova³, Aleksandr V. Dyubanov⁴

ASSESSMENT OF LAND DISTURBANCE BASED ON SATELLITE IMAGES NEAR MINING INDUSTRY ENTERPRISES

ABSTRACT

The area of disturbed lands that have lost their original economic value is the most important indicator of industrial impact, since they are ecologically dangerous and cause significant economic

¹ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Ленинские горы, д. 1, Москва, Россия, 119899, *e-mail*: vrbitjukova@geogr.msu.ru

² Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Ленинские горы, д. 1, Москва, Россия, 119899, *e-mail*: alex.dyubanov@mail.ru

³ Lomonosov Moscow State University, 1, Leninskie Gory, 119899, Russia, *e-mail*: vrbitjukova@geogr.msu.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University, 1, Leninskie Gory, 119899, Russia, *e-mail*: alex.dyubanov@mail.ru

damage. In the structure of disturbed lands, 67 % are violations during the development of mineral deposits. At present, statistical provision with data on disturbed lands is limited by the problem of the lack of statistical reporting by municipalities. The assessment of the nature of disturbed lands at the local level carried out using two methods: automatic software and manual image interpretation, showed that the dynamics of disturbed lands for individual deposits is smoother, more logical and explainable than for the regions of their location, which most likely confirms the low quality of statistics in this area. Analysis of space images showed that the greatest destructive impact on the environment occurs at the time of waste rock storage, as well as in the process of expanding the zone of active raw material extraction. According to the results of the analysis of the selected space images, the highest rate of increment of disturbed lands is characterized by large and old oil fields (an average of 10 % per year) and coal mining with an average annual increment of over 5 % even for a new deposit. Next comes the mining of gold and iron ore. Deposits located in more northern regions increase disturbed lands with greater intensity. In terms of the overall scale of disturbed land increment, only half of the deposits under consideration did not exceed the average Russian increment rate of 6.2 %. Large and old deposits mostly exceed the average annual values. The largest excesses were observed in the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug and Kemerovo Oblast, which is quite significant, since these regions specialize in oil (Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug) and coal (Kemerovo Region) production.

KEYWORDS: mining industry, cartography, land disturbance assessment, GIS, satellite images

ВВЕДЕНИЕ

Горнодобывающая промышленность является одним из ключевых факторов антропогенного воздействия на окружающую среду, влияние которого приводит к нарушению земель, изменению ландшафтов и деградации экосистем. Нарушение земель — это процесс, происходящий в результате хозяйственной деятельности человека и приводящий к механическому разрушению почвенного покрова, гидрологического режима территории, образованию техногенного рельефа и иным изменениям ценных природно-хозяйственных земель [Фомин, Фауль, 2013], нанесению экономического ущерба [Соловьянов, 2017].

Показатель «площадь нарушенных земель» используется во всех региональных оценках уровня антропогенного воздействия [Битюкова, 2018]. В России на начало 2023 г. площадь нарушенных земель составляла чуть более 1,63 млн га (2023), что на 868 тыс. га больше по сравнению с 2019 г. Площадь нарушенных земель неуклонно росла до 2014 г., немного сократившись в 2016 г. В среднем за период 2013–2023 гг. она ежегодно увеличивается на 5–8 %, а площадь рекультивируемых земель — только на 3,5 %¹.

В структуре нарушенных земель 67 % составляют нарушения при разработке месторождений полезных ископаемых (включая общераспространенные полезные ископаемые), что несколько меньше, чем в начале периода (73 %). Соответственно размещение мест добычи полезных ископаемых определяет рейтинг регионов по площади и доле нарушенных земель. В рейтинге лидируют нефте-, золото-, угле- и железодобывающие регионы. Лидерство регионов добывающей промышленности вполне закономерно: в общей площади нарушенных земель три четверти занимают земли, нарушенные при разработке месторождений полезных ископаемых, и еще 0,3 % вследствие утечки при транспортировке нефти. По доле в площади нарушенных земель с вкладом 11–12 % лидируют нефтедобыча, цветная металлургия и угольная промышленность, хотя в период максимального роста нефтедобычи в 2005–2007 гг. вклад отрасли в прирост нарушенных земель превышал 50 %. Несмотря на масштабные инвестиционные вложения (более 35 % всех рекультивируемых

¹ База данных «2ТП-Рекультивация». Росприроднадзор (Федеральная служба по надзору в сфере природопользования). Электронный ресурс: <http://rpn.gov.ru/opendata> (дата обращения 08.02.2025)

ежегодно площадей страны), прирост нарушенных земель в нефтедобывающей промышленности составил более половины нарушенных земель в России. Первичный статистический анализ показал, что в 62 % регионов площадь нарушенных земель растет пропорционально объемам добычи, а в 12 % пропорционально сокращается. Отклонения связаны с другими факторами: особенности разных полезных ископаемых, видов добычи, изменения условий добычи, рекультивацией.

Однако традиционные методы статистического анализа не всегда позволяют учесть локальные особенности развития отрасли, т. к. большие объемы данных нивелируют детали на местах. В настоящее время статистическая обеспеченность данными по нарушенным землям упирается в проблему отсутствия статистической отчетности по муниципальным образованиям [Битюкова, Антонов, 2023]. В связи с этим возникает необходимость в более точных методах оценки динамики нарушенных земель. Одним из таких методов является анализ космических снимков, который позволяет детально изучить изменения площадей нарушенных земель вокруг отдельных месторождений. В данной работе проведена крупномасштабная оценка нарушенных земель на примере месторождений угля, нефти, железа и золота, которые оказывают наибольшее воздействие на окружающую среду в стране.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование включало анализ изменений площадей нарушенных земель вокруг отобранных месторождений с использованием космических снимков, полученных со спутника Landsat-8. Для минимизации влияния типа месторождений на результаты исследования были выбраны объекты разного возраста и территориального расположения. Учитывались как регионы-лидеры по площади нарушенных земель, так и перспективные области с недавно начавшейся активной разработкой. Выбор месторождений разного возраста и расположения позволил учесть различные факторы, влияющие на динамику нарушенных земель, такие как длительность добычи, истощение запасов, увеличение объемов добычи, климатические условия, способ добычи, комплексность месторождения.

В итоге было отобрано 12 месторождений:

- *железорудные месторождения* (Лебединское, Качканар, Куранахское);
- *нефтедобывающие* (Приобское, Западно-Сургутское, Ванкорское);
- *угледобывающие* (Распадская, Большевик, Воркутинский);
- *золотодобывающие* (Сухой Лог, Олимпиадинское, Дrajное).

Анализ нарушенных земель проводился в четыре этапа:

1. Отбор космических снимков. Использовались снимки со спутника Landsat-8, доступные через сайт геологической службы США (USGS)¹. Ключевые критерии отбора снимков: пространственное разрешение 30 м, облачность не более 20 %, период съемки — июль–август (период максимального развития растительности, что немного снижает ограничения данного метода, зависимость от условий конкретного года). Эти условия были выбраны для минимизации погрешностей при сравнении снимков [Аковецкий, 1983].

2. Расчет индекса NDVI. Для оценки состояния растительности был выбран индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Рассчитывается по формуле (1):

$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red) \quad (1),$$

где: NIR — отражение в ближней инфракрасной области спектра,
Red — отражение в красной области.

¹ Сайт геологической службы Соединенных Штатов (Website of the United States Geological Survey). Электронный ресурс: <https://earthexplorer.usgs.gov/> (дата обращения 18.05.2022)

Значения индекса варьируются от -1 до $+1$, где положительные значения указывают на наличие растительности, а отрицательные — на неживые объекты (вода, камни, дороги и т. д.) [Книжников и др., 2004; Кулешова, 1999].

Таким образом, при расчете данного индекса на выбранном полигоне, имеющем определенную площадь, будет рассчитываться среднее значение индекса для всех точек, попадающих в этот полигон. В результате, чем больше значение NDVI, тем более густая растительность отмечается на полигоне. Получившиеся снимки с посчитанным индексом были выгружены в программу ArcGIS для непосредственного проведения анализа.

3. Анализ снимков проводился двумя методами: *автоматизированным и ручным*. Это позволило минимизировать ошибки и повысить точность результатов.

Автоматизированный метод включал следующие шаги:

Расчет разницы значений NDVI. Для каждого месторождения были рассчитаны значения NDVI за 2013 и 2020 гг. Затем была определена разница между этими значениями, что позволило выделить участки с увеличением и снижением индекса.

Выделение нарушенных и восстановленных земель. Участки с отрицательной разницей NDVI были классифицированы как нарушенные земли, а с положительной — как восстановленные.

Очистка данных. Снимки были очищены от участков, которые могли быть ошибочно выделены как нарушенные (например, облака, территории затопления, области, не связанные с добычей полезных ископаемых).

Расчет площадей. Итоговые области нарушенных и восстановленных земель были выгружены в Excel, где производился расчет их площадей.

Преимущества автоматизированного метода:

- возможность учета даже небольших изменений в состоянии растительности;
- выделение территорий восстановления, которые трудно заметить визуально;
- учет косвенного воздействия добычи на окружающие территории.

Недостатки автоматизированного метода:

- высокая вероятность выделения участков, не связанных с деятельностью месторождений (например, естественные изменения растительности);
- трудности в определении причин восстановления земель (естественное зарастание или рекультивация).

Ручной метод предполагал визуальное сравнение снимков за разные годы. Основные шаги:

Выделение территории месторождения. На снимке за 2013 г. была выделена территория месторождения в его границах.

Сравнение снимков. Изначальная территория сравнивалась с территорией месторождения на снимках за последующие годы (2014–2020). Это позволило выделить ежегодное приращение нарушенных земель.

Дешифрирование увеличения площади нарушенных земель производилось по косвенному признаку через изменение значений NDVI. Дешифрирование отвалов, увеличение площадей которых шло в расчеты увеличения нарушенных земель вокруг месторождений, также производилось по косвенным признакам (изменение значения NDVI и форма объектов).

Оценка изменений. Визуально определялись участки, где произошли изменения в состоянии растительности, и оценивалась их связь с деятельностью месторождения.

Преимущества ручного метода:

- более точное выделение изменений в непосредственной близости от месторождения;

- минимизация ошибок, связанных с выделением участков, не относящихся к добыче полезных ископаемых.
- Недостатки ручного метода:
- трудоемкость и затраты времени;
 - сложность в выделении небольших изменений и территорий восстановления.

4. Оценка динамики нарушенных земель. На основе анализа снимков были рассчитаны площади нарушенных и восстановленных земель, а также их ежегодный прирост. Для каждого месторождения были определены основные направления изменений и их связь с деятельностью горнодобывающих предприятий. Результаты анализа были сведены в таблицы, где указаны площадь нарушенных земель в 2013 и 2020 гг., прирост нарушенных земель в процентах и среднегодовой темп прироста (табл. 1).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Угольная промышленность является одной из наиболее значимых отраслей, оказывающих влияние на нарушение земель. В исследовании были рассмотрены три ключевых месторождения: шахты Распадская, Большевик и Воркутинская.

На месторождении *Распадская шахта* автоматизированным методом был зафиксирован прирост нарушенных земель на 47,5 % за период с 2013 по 2020 гг., со среднегодовым увеличением на 6,8 %. Метод выявил обширные территории нарушения, включая участки, которые могли быть связаны с естественными изменениями растительности или деятельностью, не относящейся к добыче угля (рис. 1).

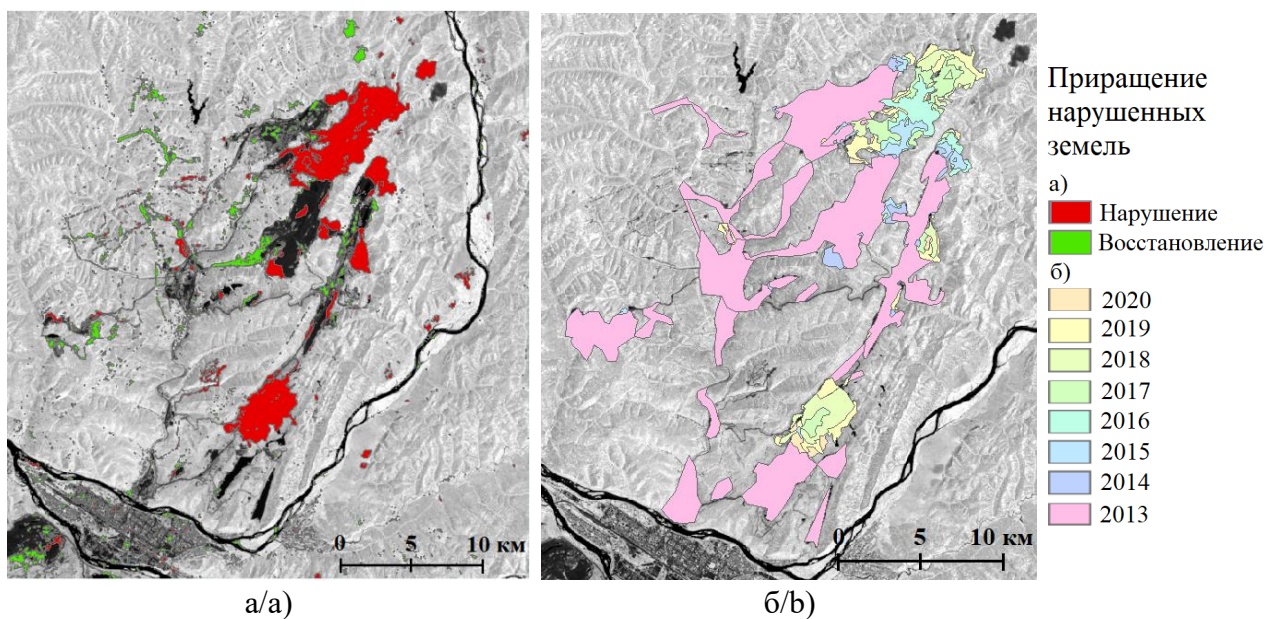


Рис. 1. Нарушенные земли вокруг Распадской шахты: автоматизированным (а) и ручным методами (б)
Fig. 1. Disturbed lands around the Raspadskaya mine using automated (a) and manual methods (b)

При использовании ручного метода прирост нарушенных земель составил 40,5 %, со среднегодовым увеличением на 5,8 %. Метод позволил более точно выделить территории, непосредственно связанные с расширением шахты. Основной причиной увеличения

нарушенных территорий стало расширение разрабатываемых участков, особенно в южной и северной частях месторождения. Рассмотренный участок относится к группе крупных месторождений, является частью большого разреза с ежегодным объемом добычи порядка 10 млн т. Восстановление земель (9 км²) наблюдалось в западной части шахты, где заброшенные территории начали зарастать естественным образом. Однако это восстановление не было связано с проведением рекультивационных мероприятий, что указывает на недостаточное внимание к экологическим аспектам.

На месторождении *Большевик*, которое также, как и *Распадская* шахта, располагается в Кемеровской области, был отмечен наибольший прирост нарушенных земель среди угольных шахт. Оно относится к группе старых месторождений (срок эксплуатации более 53 лет). Автоматизированным методом прирост составил 66,9 %, со среднегодовым увеличением на 9,6 %. Были выявлены обширные территории нарушения, включая участки, которые могли быть связаны с сельскохозяйственной деятельностью. При использовании ручного метода прирост составил 58,3 %, со среднегодовым увеличением на 8,3 %. Метод позволил более точно выделить территории, непосредственно связанные с расширением угледобычи.

Наибольший прирост нарушенных земель вокруг месторождения связан с активным расширением площадей добычи, особенно вокруг каждого участка разработки угля. Восстановленные территории выявлены не были, что может быть связано с примыканием сельскохозяйственных земель к месторождению (рис. 2).

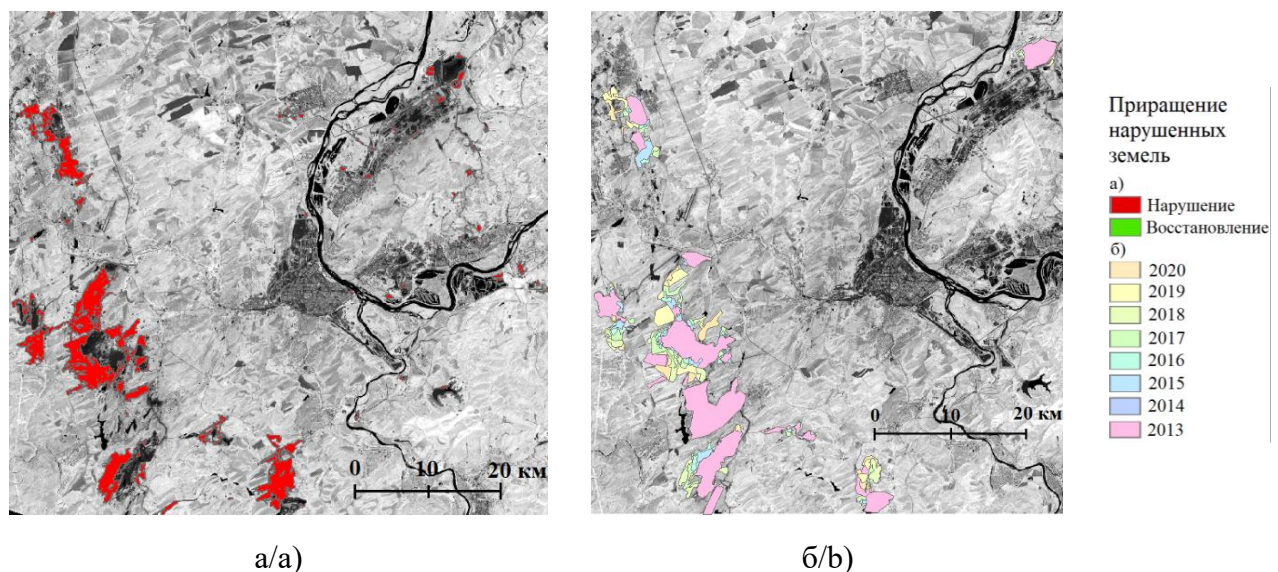


Рис. 2. Нарушенные земли вокруг месторождения *Большевик*: автоматизированным (а) и ручным (б) методами

Fig. 2. Disturbed lands around the *Bolshevik* deposit using: automated (a) and manual (b) methods

Шахта Воркутинская располагается в Республике Коми, в Печорском бассейне и относится к группе новых месторождений (срок эксплуатации 14 лет). Прирост нарушенных земель при использовании автоматизированного метода составил 32 %, со среднегодовым увеличением на 4,6 %. Были выявлены обширные территории нарушения, включая участки, которые могли быть связаны с естественными изменениями растительности. Ручной метод показал прирост 37,1 %, со среднегодовым значением в 5,3 %. Метод позволил более точно выделить территории, непосредственно связанные с расширением

шахты, исключив участки, которые могли быть ошибочно классифицированы как нарушенные. В целом нарушения концентрировались в северной части месторождения, где велось расширение разрабатываемых территорий. Восстановление земель было минимальным (2 км²), сконцентрировано вокруг Воркуты и, вероятно, не связано с деятельностью месторождения (рис. 3).

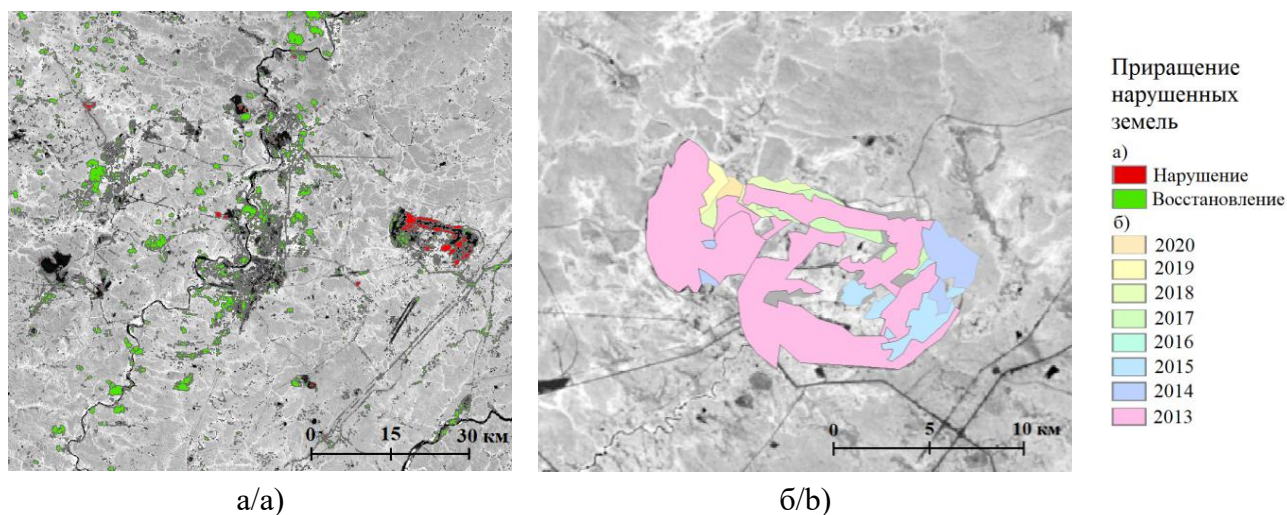


Рис. 3. Нарушенные земли вокруг Воркутинской шахты: автоматизированным (а) и ручным (б) методами
 Fig. 3. Disturbed lands around the Vorkuta mine using: automated (a) and manual (b) methods

В результате выделения нарушенных земель трех угольных месторождений двумя способами выявлено, что наибольшим темпом прироста характеризуется шахта Большевик (58,3 % прироста нарушенности от 2013 г., выявленное ручным методом, и 66,9 % прироста программным). Далее следует Распадская шахта (40,5 % и 47,5 %), а наименьшим приростом нарушенных земель характеризуется новая Воркутинская шахта (37,1 % и 32 %). Нарушение земель в каждом рассмотренном случае являлось следствием расширения территории площади активной добычи угля, но более новые или крупные месторождения более эффективны, т. к. относительно объема добычи у них несколько меньшие темпы прироста нарушенных земель. Восстановление земель характерно только для Распадской шахты, однако оно не затронуло непосредственные территории разработки угля.

Нефтяная промышленность показала наибольший темп прироста нарушенных земель среди всех рассмотренных отраслей. В исследовании были проанализированы три месторождения: Приобское, Западно-Сургутское и Ванкорское.

Приобское месторождение расположено в ХМАО. Оно является одним из крупнейших месторождений региона. Ежегодная добыча нефти составляет порядка 40 млн т. Здесь был зафиксирован наибольший прирост нарушенных земель; автоматизированным методом — 117,1 %, со среднегодовым приростом 16,7 %. Были выявлены обширные территории нарушения, включая участки, которые могли быть связаны с изменением речного стока или другими природными процессами. Ручным методом — 65,7 %, со среднегодовым приростом 9,4 %. Метод позволил более точно выделить территории, непосредственно связанные с расширением добычи нефти и постройки соответствующей инфраструктуры (рис. 4).

В целом нарушения связаны с расширением площадей добычи нефти и строительством инфраструктуры. Восстановление земель наблюдалось вблизи рек, где изменение речного стока привело к естественному зарастанию обнаженных территорий. Однако это восстановление не было связано с рекультивацией.

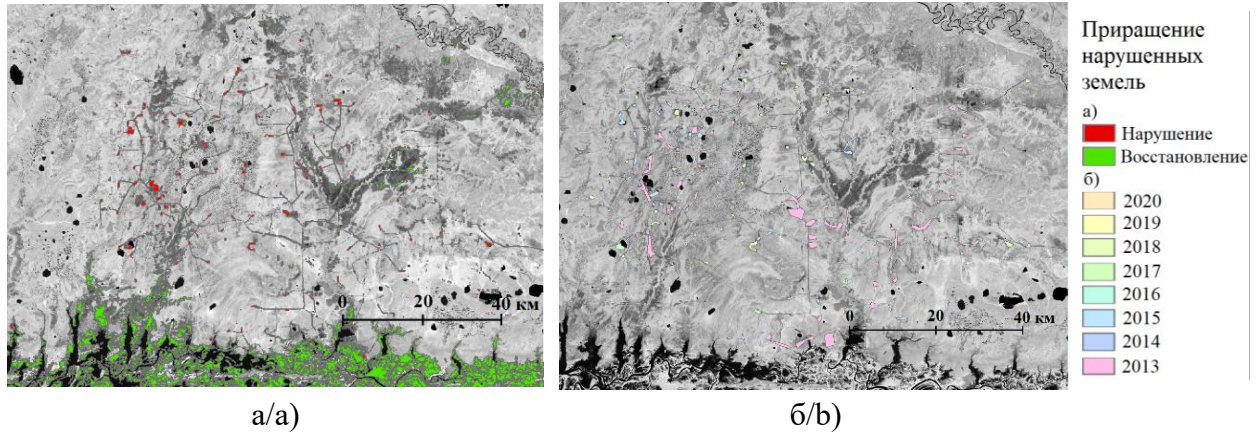


Рис. 4. Нарушенные земли вокруг Приобского месторождения: автоматизированным (а) и ручным (б) методами
 Fig. 4. Disturbed lands around the Priobskoye deposit using: automated (a) and manual (b) methods

При использовании автоматизированного метода для Западно-Сургутского месторождения было выявлено, что прирост нарушенных земель здесь составил 85,7 %, со среднегодовым увеличением на 7,2–12,2 %. Были выявлены обширные территории нарушения, включая участки с естественными изменениями растительности. При использовании ручного метода прирост нарушенных земель составил 50,6 %, со среднегодовым увеличением на 7,2 %. Месторождение также расположено в ХМАО, разрабатывается более 55 лет, поэтому было отнесено к группе старых, и это во многом объясняет столь значительный прирост. Нарушения вокруг месторождения концентрировались в западной части, где велось активное строительство инфраструктуры. Восстановление земель (7 км²) произошло около территорий добычи, вероятно, из-за расчистки территории при строительстве, которая не была завершена (рис. 5).

Ванкорское месторождение располагается в Красноярском крае. Относится к новым месторождениям (срок эксплуатации 13 лет). На этом месторождении прирост нарушенных земель был минимальным — 23–24 %, со среднегодовым увеличением на 3,3–3,4 %. Автоматизированный метод выявил обширные территории нарушения, включая участки, которые могли быть связаны с пожарами или вырубкой леса. Ручной метод позволил более точно выделить территории, непосредственно связанные с расширением добычи нефти, исключив участки, которые могли быть ошибочно классифицированы как нарушенные. При этом оба метода в достаточной степени отражают и территориальную структуру нарушенных земель (рис. 6). Столь дробное распределение ареалов нарушенных земель, характерное для данного месторождения, создает дополнительные риски для экологической ситуации и природопользования, поскольку итоговый риск зависит не только от размера площади нарушений, но и от позиции в рельефе конкретных ареалов. Минимальный прирост нарушенных земель связан с относительно небольшим сроком эксплуатации месторождения и медленным увеличением мощностей добычи. Восстанов-

ление земель (2,5 км²) было связано с естественным зарастанием территорий, пострадавших в ходе строительных работ.

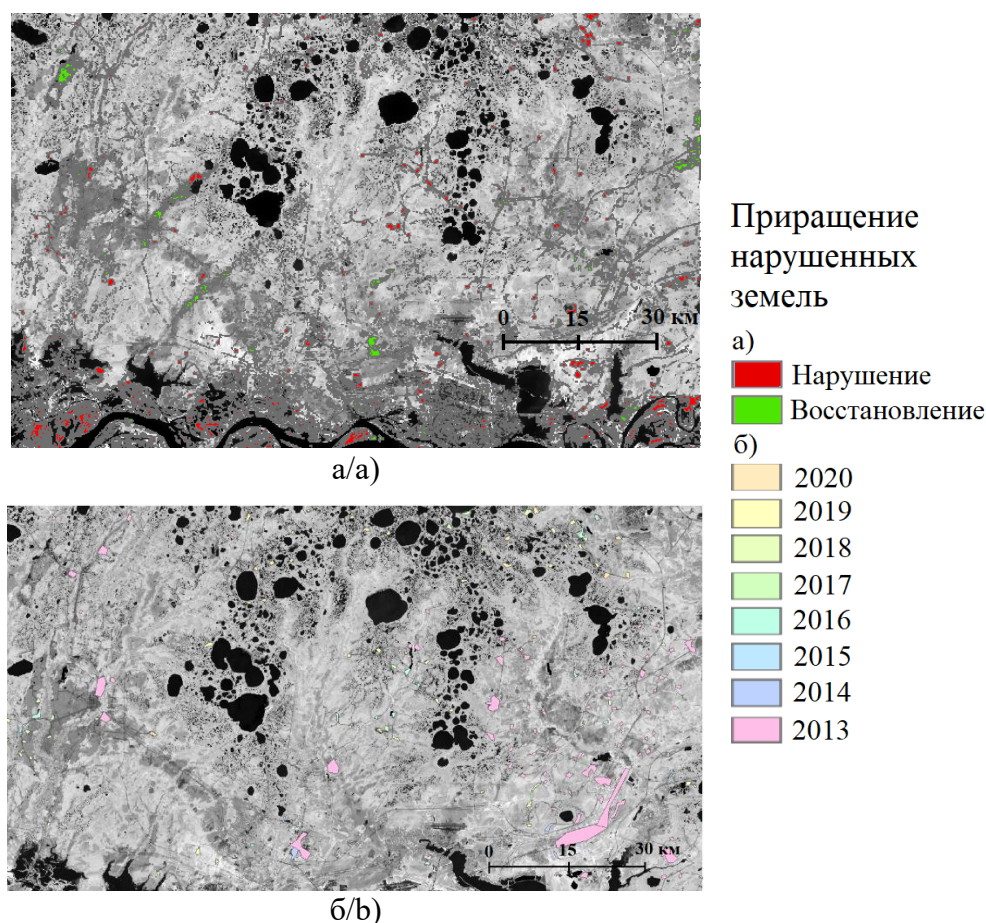


Рис. 5. Нарушенные земли вокруг Западно-Сургутского месторождения: автоматизированным (а) и ручным (б) методами
 Fig. 5. Disturbed lands around the West Surgut deposit using: automated (a) and manual (b) methods

Железородная промышленность оказала меньшее влияние на рост нарушенных земель по сравнению с угольной и нефтяной отраслями. Это другой тип разработки, особенно снижает площадь нарушенных земель карьерный тип. Карьеры такой мощности скорее углубляются, их площадь прирастает относительно медленно. В последние годы размер карьера позволяет даже закладывать часть пустой породы на дно, в результате площадь нарушенных земель относительно медленно увеличивается даже под отвалами [Галанина, Баумгартэн, 2013]. В исследовании были рассмотрены три месторождения: Лебединское, Куронахское и Качканарское.

Лебединское месторождение расположено в Белгородской обл. и является частью КМА, оно относится к группе крупных месторождений карьерного типа с объемом добычи более 30 млрд т сырья. Прирост нарушенных земель здесь составил 8,9–14,5 %, со среднегодовым увеличением на 1,3–2,1 % (при использовании ручного и автоматизированного методов соответственно). Нарушения связаны с расширением карьеров и увеличением площади отвалов. Восстановление земель (6 км²) наблюдалось в центральной

и северной частях месторождения, где проводилась частичная рекультивация отвалов (рис. 7).

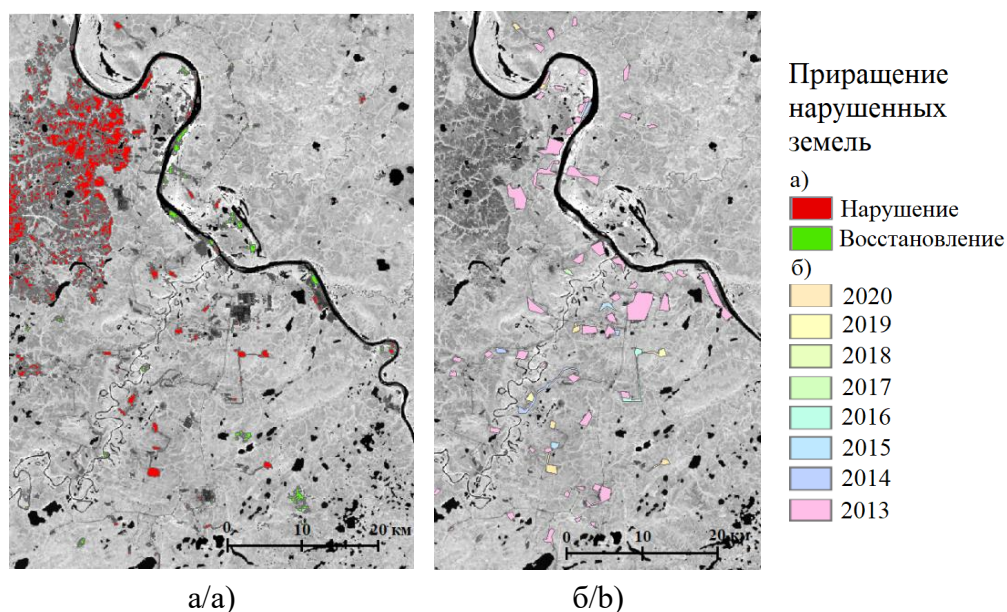


Рис. 6. Нарушенные земли вокруг Ванкорского месторождения: автоматизированным (а) и ручным (б) методами
 Fig. 6. Disturbed lands around the Vankor field using: automated (a) and manual (b) methods

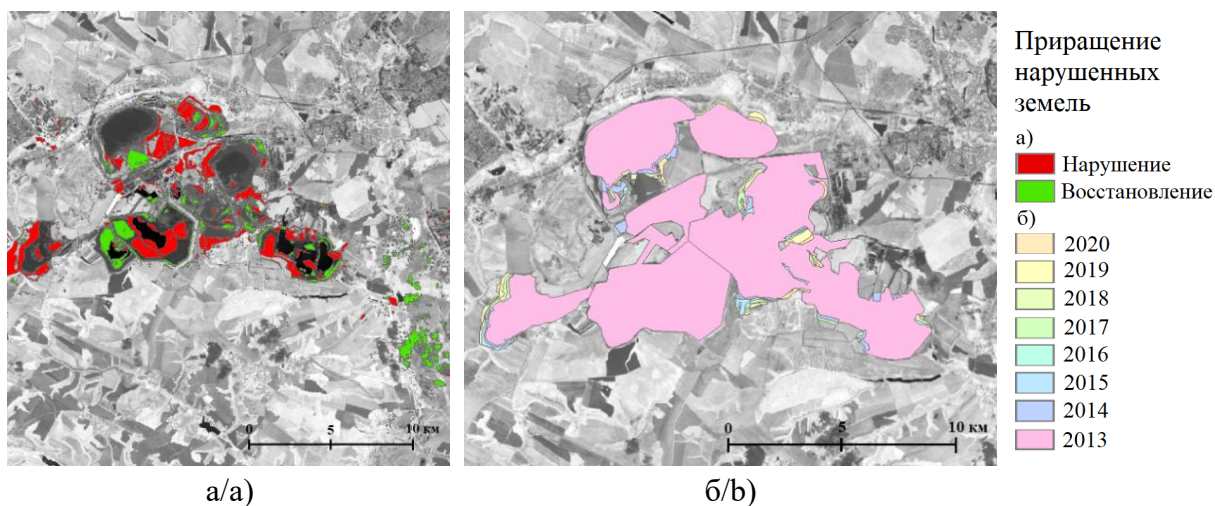


Рис. 7. Нарушенные земли вокруг Лебединского месторождения: автоматизированным (а) и ручным (б) методами
 Fig. 7. Disturbed lands around the Lebedinskoye deposit using: automated (a) and manual (b) methods

Куролахское ильменит-титаномагнетитовое месторождение полиметаллических руд расположено в Амурской обл. Оно возникло на фоне общей тенденции строительства железистых месторождений в зоне БАМа и относится к группе молодых месторождений (срок эксплуатации 7 лет). Но поскольку здесь осуществляется добыча железа, титана,

ванадия, скандия, руды многокомпонентные и относительно бедные, то и площадь под отвалами велика. На этом месторождении был зафиксирован наибольший прирост нарушенных земель среди железорудных месторождений — 26,6–38 %, со среднегодовым приростом 3,8–5,4 % при использовании ручного и автоматизированного методов соответственно. Однако наибольший прирост нарушений был в 2013–2017 гг., что объясняется активным строительством второго карьера. Затем развитие карьера значительно замедлилось. Возможной причиной этого может служить характер залегания (рудное тело перемежается пластами пустой породы, поэтому образуется больше отвалов). Восстановление земель (8 км²) происходило естественным образом на территориях, вырубленных под строительство (рис. 8).

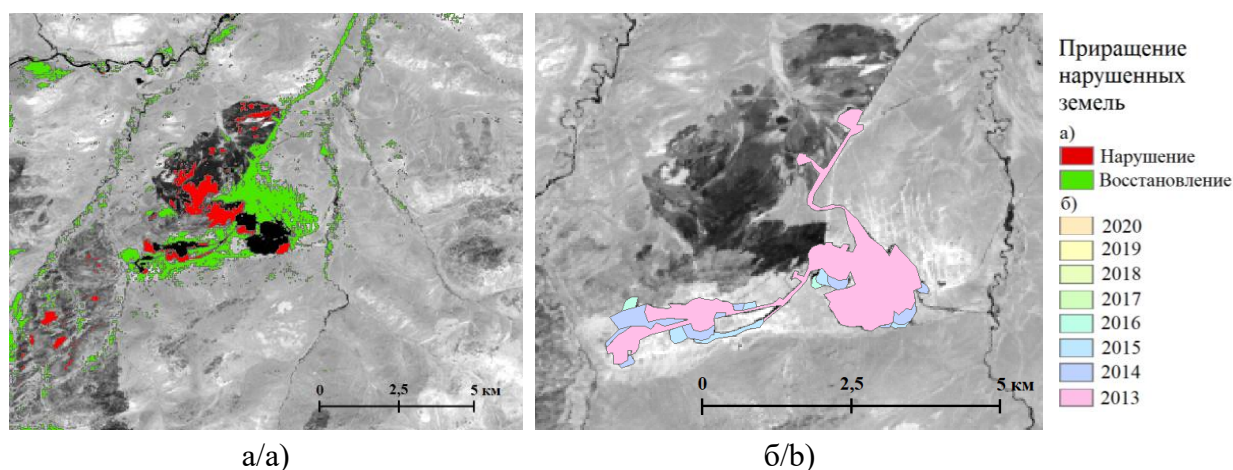


Рис. 8. Нарушенные земли вокруг Куронахского месторождения: автоматизированным (а) и ручным (б) методами
 Fig. 8. Disturbed lands around the Kuronakhskoye deposit using: automated (a) and manual (b) methods

Качканарское месторождение — одно из самых старых (более 50 лет), расположено в Свердловской обл. Прирост нарушенных земель здесь был минимальным — 5,7–6,7 %, со среднегодовым увеличением на 0,8–1 % при использовании ручного и автоматизированного методов соответственно. Различие между методами минимально, т. к. месторождение уже давно разрабатывается, и нарушения в основном связаны с углублением карьера. Нарушения концентрировались вокруг карьера и шламонакопителя. Основное нарушение произошло в предыдущие периоды разработки месторождения, сейчас добыча заметно снизилась. Восстановление земель (2 км²) наблюдалось около месторождения, вероятно, из-за частичной рекультивации (рис. 9).

Среди трех железорудных месторождений наибольшими значениями увеличения нарушенных территорий характеризуется Куронахское месторождение, что объясняется небольшим сроком его эксплуатации и активным развитием на период исследования. Месторождение активно строилось и развивалось в первой половине 2010-х гг., что и послужило причиной интенсивного образования нарушенных земель. Лебединское и Качканарское месторождения разрабатываются более 50 лет, на их территории не происходит значительного нарушения окружающей территории, т. к. они преимущественно увеличиваются благодаря углублению карьеров, а не их расширению.

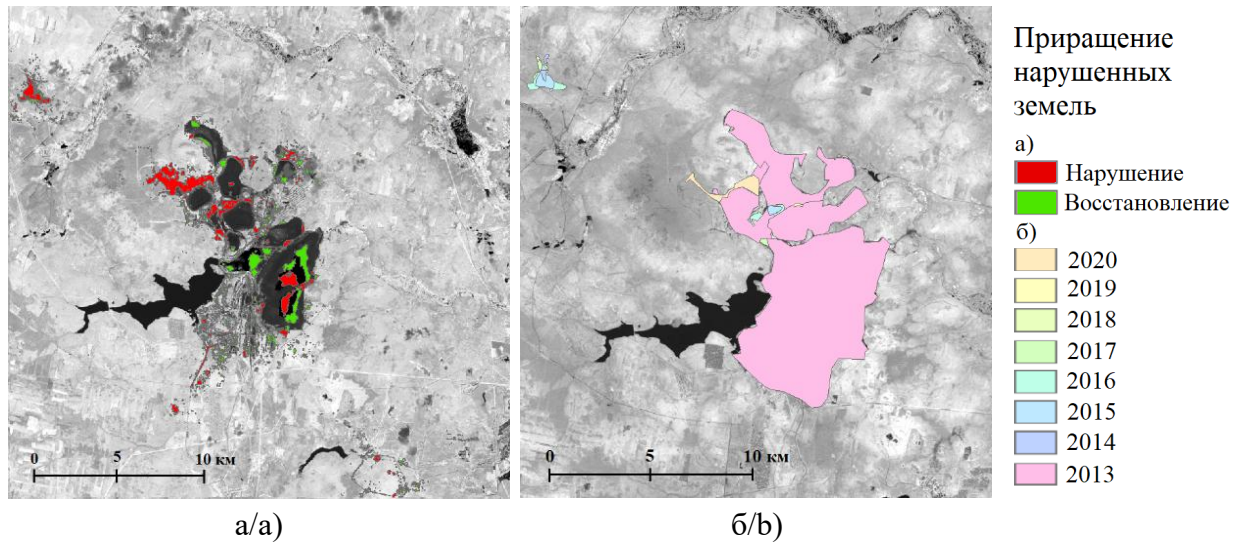


Рис. 9. Нарушенные земли вокруг Качканарского месторождения: автоматизированным (а) и ручным (б) методами
 Fig. 9. Disturbed lands around the Kachkanarskoye deposit using: automated (a) and manual (b) methods

Золотодобывающая промышленность показала значительный прирост нарушенных земель, особенно на старых месторождениях. В исследовании были рассмотрены три месторождения: Сухой Лог, Олимпиадинское и Дражное.

Сухой Лог — крупное месторождение в Иркутской области с готовым объемом добычи около 60 т дражным способом. На этом месторождении был зафиксирован наибольший прирост нарушенных земель — 36–49,5 %, нарушенные земли концентрируются вдоль небольших рек, где ведется основная добыча золота со среднегодовым приростом 5,1–7,1 % при использовании ручного и автоматизированного методов соответственно. Восстановления земель не наблюдалось (рис. 10).

Дражное месторождение располагается в Якутии, эксплуатируется 10 лет и относится к группе молодых месторождений. На этом месторождении прирост нарушенных земель был минимальным — 1,4–24,4 %, со среднегодовым увеличением на 0,2–3,5 % при использовании ручного и автоматизированного методов соответственно. Ручной метод показал значительно более высокий прирост из-за того, что автоматизированный метод слабо улавливает нарушения вблизи водных источников. Минимальный прирост связан с особенностями промывного характера добычи, при котором нарушения концентрируются вдоль водных источников. Восстановления земель не наблюдалось. Большая часть нарушенных земель месторождения располагаются вдоль одной крупной реки.

Особенности динамики нарушенных земель объясняются как характером добычи, так и возрастом. При увеличении возраста месторождения области с повышенной концентрацией золота исчерпываются, и чтобы сохранить прошлогодний темп добычи, приходится задействовать большие территории при разработке месторождения, что непосредственно влияет на динамику образования нарушенных земель. Особенности добычи влияют на характер нарушенности. При карьерном способе нарушенные земли концентрируются вокруг небольшой территории, примыкающей к карьеру, негативное влияние карьера точечное. При дражном способе добычи нарушенность помимо территорий непосредственной добычи сырья косвенно распространяется ниже по течению, что усиливает негативный эффект от добычи.

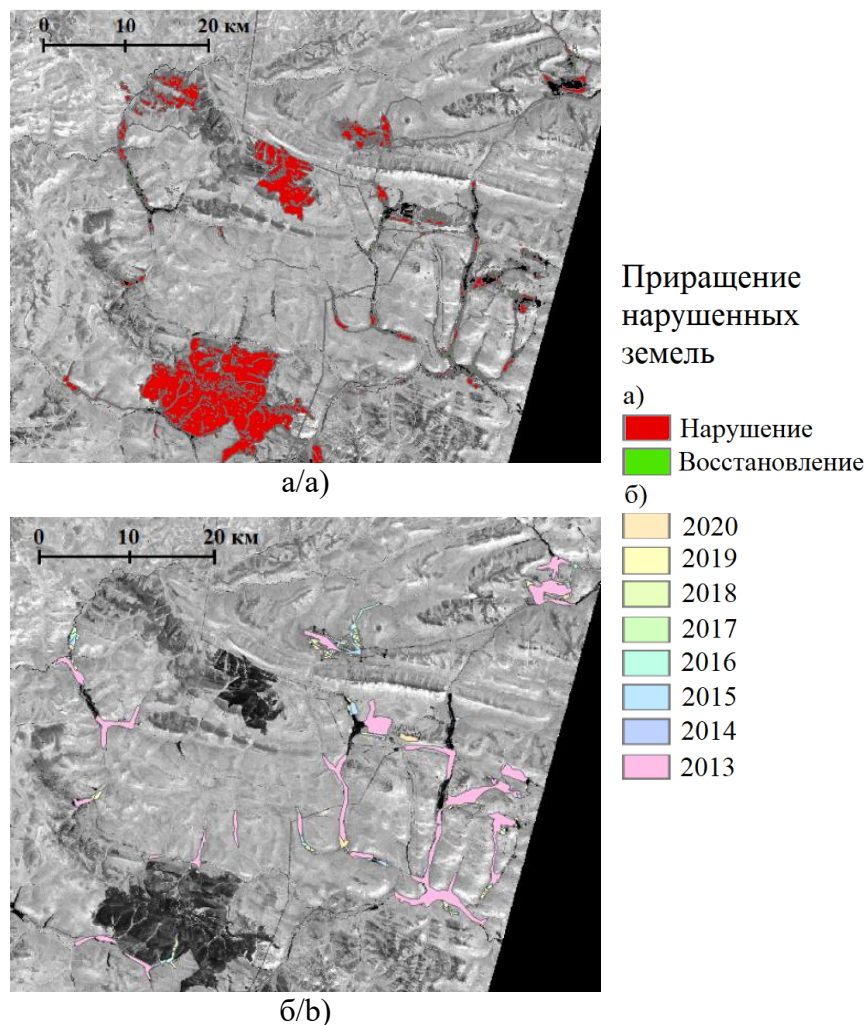


Рис. 10. Нарушенные земли вокруг месторождения Сухой Лог: автоматизированным (а) и ручным (б) методами
Fig. 10. Disturbed lands around the Sukhoi Log deposit using: automated (a) and manual (b) methods

Олимпиадинское месторождение разрабатывается 46 лет и относится к старым. В отличие от двух других оно разрабатывается карьерным способом, поэтому характер нарушенных земель также отличается. Основное отличие в характере нарушения, т. к. при карьерном способе нарушенные земли располагаются не вдоль водных источников (как в случае с дражным способом), а вокруг карьера. Прирост нарушенных земель здесь составил 30,9–44,3 %, со среднегодовым увеличением на 4,4–6,3 % при использовании ручного и автоматизированного методов соответственно. Нарушения связаны с карьерным способом добычи, при котором нарушенные земли концентрируются вокруг карьера. Восстановление земель (20 км²) происходило естественным образом, но не было связано с рекультивацией.

Таким образом, наибольший темп прироста нарушенных земель в 2013–2020 гг. характерен для нефтяных месторождений (свыше 16,5 % в год). Он связан с масштабами добычи и необходимостью строительства инфраструктуры. Восстановление земель происходит редко и в основном естественным образом. Прирост нарушенных земель угольных месторождений составляет свыше 9,5 % в год, особенно на старых месторождениях, где для поддержания объемов добычи требуется расширение площадей разработки (табл. 1). Восстановление земель наблюдается редко и не связано с рекультивацией. Прирост нару-

шенных земель в золотодобыче варьируется от 1,4 % до 49,5 % в зависимости от возраста и способа добычи. Карьерный способ добычи приводит к точечным нарушениям, тогда как дражный способ оказывает более широкое воздействие на окружающую среду. Наименьший прирост с 2013 по 2020 гг. нарушенных земель железодобывающих производств (0,8–38 %) связан с углублением карьеров вместо их расширения. Восстановление земель происходит за счет рекультивации отвалов.

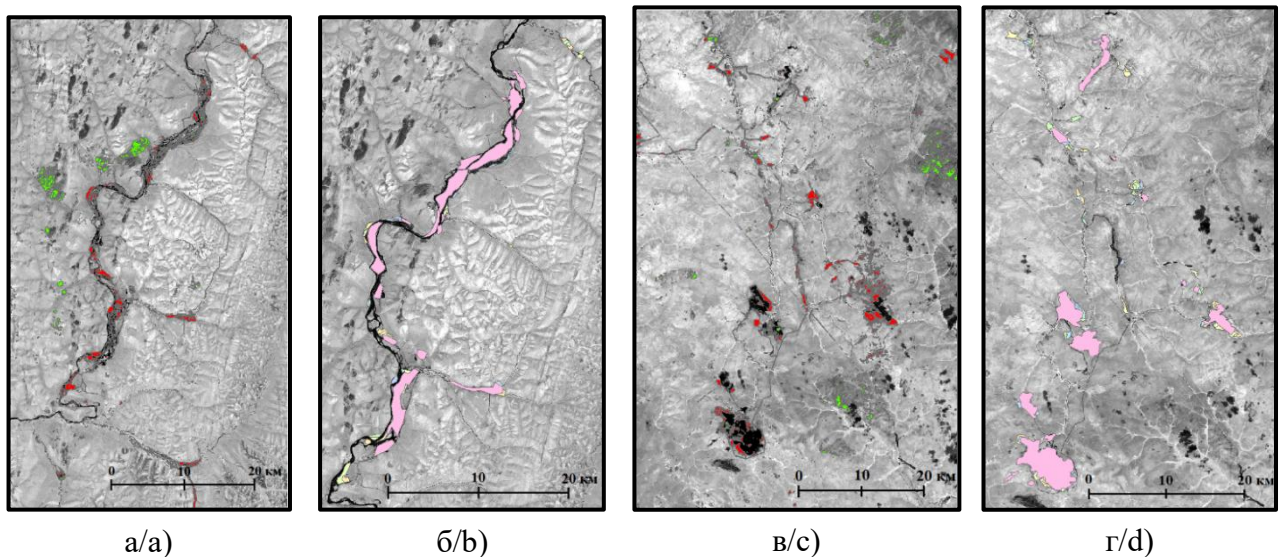


Рис. 11. Нарушенные земли вокруг месторождений Дразжного (а, б) и Олимпиадинского (в, г) автоматизированным и ручным методами
Fig. 11. Disturbed lands around the Drazhnoye (a, b) and Olimpiada (c, d) deposits using automated and manual methods

Локальные тенденции прироста нарушенных земель в целом коррелируют с региональными, но имеют свои особенности. Например, в Ханты-Мансийском автономном округе прирост нарушенных земель на месторождениях значительно выше, чем в среднем по региону, что может быть связано с особенностями статистического учета. В Красноярском крае низкий прирост на Ванкорском месторождении объясняется его недавним вводом в эксплуатацию, тогда как в регионе в целом доминируют другие источники нарушений (например, Норильское месторождение).

ВЫВОДЫ

Методически было подтверждено, что анализ космических снимков является эффективным инструментом для оценки динамики нарушенных земель вокруг горнодобывающих предприятий. Использование индекса NDVI позволило выявить изменения в состоянии растительности в вегетационный период, что дало возможность оценить масштабы и темпы прироста нарушенных территорий. Однако результаты исследования также выявили ряд ограничений и особенностей, которые необходимо учитывать при дальнейшем применении данной методики.

Табл. 1. Основные параметры нарушенности земель выбранных месторождений по данным ручного и автоматизированного дешифрирования снимков 2013–2020 гг.

Table 1. Main parameters of land disturbance of selected deposits based on manual and automated interpretation of images from 2013–2020

Месторождение	Участок	Регион	Площадь нарушенных земель (км ²)			Приращение нарушенных земель, %			
			2013	2020 (авт.)	2020 (ручн.)	(авт.), % к 2013	(ручн.), % к 2013	Ср. ежегод., % (авт.)	Ср. ежегод., % (ручн.)
Уголь	Распадская	Кемеровская обл.	40,9	60,3	57,5	47,5 %	40,5 %	6,8 %	5,8 %
	Воркутинская	Респ. Коми	11,8	15,1	16,1	32 %	37,1 %	4,6 %	5,3 %
	Большевик	Кемеровская обл.	60,4	100,9	95,7	66,9 %	58,3 %	9,6 %	8,3 %
Нефть	Приобское	ХМАО	27,1	58,9	44,9	117,1 %	65,7 %	16,7 %	9,4 %
	Ванкорское	Красноярский край	10,7	13,1	13,2	23,0 %	24,0 %	3,3 %	3,4 %
	Зап. Сургутское	ХМАО	29,4	54,6	39,8	85,7 %	50,6 %	12,2 %	7,2 %
Железная руда	Лебединское	Белгородская обл.	85,8	98,3	93,4	14,5 %	8,9 %	2,1 %	1,3 %
	Куронахское	Амурская обл.	3,2	4,4	4,0	38,0 %	26,6 %	5,4 %	3,8 %
	Качканарское	Свердловская обл.	62,4	66,6	66,0	6,7 %	5,7 %	1,0 %	0,8 %
Золото	Сухой Лог	Иркутская обл.	83,2	124,4	109,5	49,5 %	36,0 %	7,1 %	5,1 %
	Дражное	Якутия	40,3	40,8	50,1	1,4 %	24,4 %	0,2 %	3,5 %
	Олимпиадинское	Красноярский край	70,6	101,9	92,4	44,3 %	30,9 %	6,3 %	4,4 %

Автоматизированный метод анализа снимков позволил выявить даже небольшие изменения в состоянии растительности, что особенно полезно для оценки динамики нарушенных земель на больших территориях. Однако этот метод может включать участки, не связанные с деятельностью месторождений (например, естественные изменения растительности или последствия природных явлений). Ручной метод, напротив, более точен в определении направлений и характера нарушений, но требует значительных временных затрат и не всегда позволяет выявить небольшие изменения.

Для повышения точности анализа целесообразно комбинировать автоматизированные и ручные методы, особенно в случаях, когда месторождения расположены вблизи водных источников или в регионах с высокой облачностью. Также необходимо учитывать влияние природных факторов (например, изменения речного стока или климатических условий) на динамику нарушенных земель. В будущих исследованиях следует уделить больше внимания оценке эффективности рекультивационных мероприятий, т. к. текущие методы анализа космических снимков не позволяют точно определить, связано ли восстановление земель с деятельностью человека или с естественными процессами. Исследование показало, что анализ космических снимков является мощным инструментом для мониторинга нарушенных земель вокруг горнодобывающих месторождений. Однако для получения более точных результатов необходимо учитывать особенности каждой отрасли, возраст месторождений и региональные условия.

Анализ космических снимков позволил *выявить локальные особенности* развития месторождений, которые не всегда отражаются в статистических данных регионов. По общему масштабу прироста нарушенных земель лишь половина рассматриваемых месторождений не превысила среднероссийские темпы прироста в 6,2 %. Причем в данную группу вошли все месторождения из списка недавно разрабатываемых. Крупные и старые месторождения преимущественно превышают среднегодовые значения. Наибольшие превышения наблюдались в ХМАО и Кемеровской обл., что довольно показательно, т. к. данные регионы специализируются на добыче нефти (ХМАО) и угля (Кемеровская обл.).

Использование крупномасштабного подхода в оценке антропогенного воздействия на земельные ресурсы позволяет выявить факторы влияния:

- *Тип добываемого ресурса и характер добычи:* наибольший темп прироста нарушенных земель был зафиксирован в нефтяной промышленности (свыше 10 % в год), что связано с масштабами добычи и необходимостью строительства инфраструктуры. Угольная промышленность также показала значительный прирост нарушенных земель (свыше 5 % в год), в шахтной добыче, где для поддержания объемов добычи требуется расширение площадей разработки. Золотодобыча и железорудная промышленность оказали меньшее влияние на рост нарушенных земель, что связано с особенностями добычи, поскольку карьеры сформировались раньше и позволяют закладывать породу.
- *Стадия реализации месторождения определяет прирост нарушений,* в частности на угольных месторождениях прирост связан с расширением разрабатываемых территорий, тогда как на нефтяных месторождениях нарушения концентрировались вокруг инфраструктуры добычи и транспортировки нефти.
- *Возраст месторождения:* на старых месторождениях темпы прироста нарушенных земель были ниже, чем на новых, поскольку первые уже достигли максимальных объемов добычи, и их развитие происходит за счет углубления карьеров, а не расширения площадей. На новых месторождениях, напротив, активное строительство и расширение инфраструктуры приводят к значительному увеличению нарушенных земель.

- *Природная зона*: в южных регионах нарушенные земли восстанавливаются быстрее благодаря благоприятным климатическим условиям, тогда как в северных районах восстановление происходит медленнее. Кроме того, в северных регионах контроль за нарушением земель менее строгий, на юге месторождения чаще располагаются вблизи городов; вокруг месторождений располагаются сельскохозяйственные участки. Эти факторы усиливают степень контроля за чрезмерными выбросами от месторождений.
- *Рекультивация*: восстановление нарушенных земель наблюдалось в основном на угольных и железорудных месторождениях, где заброшенные территории начали зарастать естественным образом. Однако в большинстве случаев восстановление не было связано с проведением рекультивационных мероприятий, что указывает на недостаточное внимание к экологическим аспектам в горнодобывающей промышленности. На нефтяных и золотодобывающих месторождениях восстановление земель происходило редко и носило случайный характер.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено в рамках государственного задания МГУ имени М. В. Ломоносова по теме «Современная динамика и факторы социально-экономического развития регионов и городов России и стран Ближнего Зарубежья» (№ 121051100161-9).

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was carried out within the framework of the state assignment of Lomonosov Moscow State University on the topic “Modern dynamics and factors of socio-economic development of regions and cities of Russia and the countries of the Near Abroad” (No. 121051100161-9).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аковецкий В. И.* Дешифрирование снимков. М.: Недра, 1983. 374 с.
- Антонов Е. В., Битюкова В. Р.* Подходы к оценке антропогенного воздействия в муниципальных образованиях (на примере Байкальской природной территории). Региональные исследования, 2023. № 2. С. 51–65. DOI: 10.5922/1994-5280-2023-2-5.
- Битюкова В. Р.* Экологический рейтинг регионов России. Ежегодник Русского географического общества. М.: Эксмо, 2021. 336 с.
- Галанина Т. В., Баумгартэн М. И.* Экологические последствия техногенного воздействия при проведении открытых горных работ. Горный информационно-аналитический бюллетень, 2013. № 7. С. 288–292.
- Книжников Ю. Ф., Кравцова В. И., Тутубалина О. В.* Аэрокосмические методы географических исследований. М.: Академия, 2004. 336 с.
- Кулешова М. Е.* Экологические каркасы. Охрана дикой природы, 1999. № 3. С. 25–30.
- Соловьянов А. А.* Прошлый (накопленный) экологический ущерб: проблемы и решения. Экологический вестник России, 2017. № 5. С. 34.
- Фомин С. И., Фауль А. А.* Способы снижения экологической нагрузки на горно-добывающие регионы. Записки Горного института, 2013. Т. 203. С. 215–219.

REFERENCES

- Akovetsky V. I.* Deciphering images. Moscow: Nedra, 1983. 374 p. (in Russian).
- Antonov E. V., Bityukova V. R.* Approaches to the anthropogenic impact assessment at municipal level (the case of Baikal natural territory). *Regional Research*, 2023. No. 2. P. 51–65 (in Russian). DOI: 10.5922/1994-5280-2023-2-5.
- Bityukova V. R.* Environmental rating of Russian regions. *Yearbook of the Russian Geographical Society*. Moscow: Eksmo, 2021. 336 p. (in Russian).
- Fomin S. I., Faul A. A.* The ecological negative influence reduction ways on mining regions. *Journal of Mining Institute*, 2013. V. 203. P. 215–219 (in Russian).
- Galanina T. V., Baumgarten M. I.* Environmental consequences of man-made impact during open-pit mining. *Mining Information and Analytical Bulletin*, 2013. No. 7. P. 288–292 (in Russian).
- Knizhnikov Yu. F., Kravtsova V. I., Tutubalina O. V.* Aerospace methods of geographical research. Moscow: Academia, 2004. 336 p. (in Russian).
- Kuleshova M. E.* Ecological frameworks. *Biodiversity Conservation*, 1999. No. 3. P. 25–30 (in Russian).
- Solovyaynov A. A.* Past (accumulated) environmental damage: problems and solutions. *Russian Ecological Bulletin*, 2017. No. 5. P. 34 (in Russian).
-