ISSN 2411-3336; e-ISSN 2541-9404

ЗАПИСКИ ГОРНОГО ИНСТИТУТА

Journal of Mining Institute

Сайт журнала: pmi.spmi.ru



Научная статья *Геотехнология и инженерная геология*

Разработка подхода к комплексной оценке состояния нарушенных земель горными работами

А.В.Резник[1], **Н.А.Немова**[1]✉, **Д.А.Новиков**[2], **Е.Ю.Зарубина**[3], **В.Л.Гаврилов**[1], **А.А.Колесников**[4], **Н.С.Косарев**[1,4]

[1] *Институт горного дела им. Н.А.Чинакала СО РАН, Новосибирск, Россия*

[2] *Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия*

[3] *Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия*

[4] *Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, Россия*

Как цитировать эту статью: Резник А.В., Немова Н.А., Новиков Д.А., Зарубина Е.Ю., Гаврилов В.Л., Колесников А.А., Косарев Н.С. Разработка подхода к комплексной оценке состояния нарушенных земель горными работами // Записки Горного института. 2026. Т. 281. Вып. 1. С. 5-22. EDN LTOMOY

Аннотация

Масштабная добыча минерально-сырьевых ресурсов, в том числе наиболее значимых нефтегазовых и угольных, обусловливает изъятие значительных земельных площадей из хозяйственного оборота. Актуальность рассматриваемой проблематики связана с предотвращением и ликвидацией негативных последствий недропользования. Показана необходимость определения стратегии дальнейшей реабилитации нарушенных земельных участков горными работами. Предложена комплексная оценка нарушенных земель горными работами, позволяющая провести всесторонний анализ текущего состояния таких техногенных участков. Предлагаемая методика может являться основой для разработки рекомендаций по выбору направлений рекультивации и учитывает возможность одновременного последовательного или параллельного применения сформированного перечня критериев и параметров. В сумме они рассматривают особенности техногенных объектов, описывают характер их состояния с количественно-качественными показателями, основанными на натурных наблюдениях, полевых и лабораторных исследованиях, камеральной обработке данных. На примере Новосибирской обл. сформирована матрица и показана необходимость оценки техногенно нарушенных земельных участков по уровню и характеру воздействия на компоненты окружающей среды с определением границ нарушений и их площадей. В качестве оснований для разделения техногенных объектов были использованы признаки деления, типизации и кластеризации, определяющие особенности внешних воздействий на природную среду (горные породы, почвы и искусственные грунты, подземные и грунтовые воды и др.), характеризующиеся параметрами и количественными показателями, измеряемыми в различных шкалах, позволяющие идентифицировать их по фактору допустимой или сверхдопустимой экологической нагрузки. Предложенный подход комплексно рассматривает нарушенные горными работами территории, с целью последующего ранжирования их по уровням экологической нагрузки и разработки экспертной системы выбора оптимальных направлений их дальнейшего использования.

Ключевые слова

техногенно нарушенные земли; оценка; рекультивация; окружающая среда; степень нарушенности; критерии; матрица; ПДК; радиоактивность; загрязняющие вещества; Новосибирская область

Финансирование

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (проект № 23-27-10057) и гранта Новосибирской обл. № р-60.

Поступила: 06.10.2025 ***Принята: 29.04.2026*** ***Онлайн: 03.09.2026*** ***Опубликована: 30.10.2026***

Введение

Активный рост потребления минеральных ресурсов в мире определяет значительное увеличение загрязнения всех компонентов окружающей среды (ОС) горно-добывающим сектором экономики. Освоение месторождений полезных ископаемых неизменно связано с трансформацией прилегающих территорий [1-3] и образованием различных групп нарушенных земель, которые для целей восстановления классифицируются по ГОСТ Р 59060-2020. Из-за того, что разработка недр оказывает существенное влияние на ОС, вопросы рекультивации и восстановления нарушенных

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

© А.В.Резник, Н.А.Немова, Д.А.Новиков, Е.Ю.Зарубина, В.Л.Гаврилов, А.А.Колесников, Н.С.Косарев, 2026

горными работами участков, пострадавших в результате такой деятельности, являются важной и актуальной задачей, направленной на минимизацию экологического ущерба и возвращение территорий в хозяйственный оборот.

Выбор рациональных направлений рекультивации должен основываться на принципе комплексного анализа факторов, включающих исследования всех природных компонентов – атмосферы, почвенно-растительного покрова, животного мира, водных объектов, рельефа, подземных вод, горных пород, историко-археологических и рекреационных ресурсов, типа нарушенных земель, климатических условий, социально-экономических потребностей региона и др. Использование современных подходов и технологий позволяет повысить эффективность восстановительных мероприятий и обеспечить устойчивое развитие территорий, подвергающихся воздействию горнодобывающей промышленности.

Согласно ГОСТ Р 59070-2020, нарушенными считаются земли, невозможность использования которых связана с их деградацией. Данные участки, утратившие первоначальное качественное состояние в результате хозяйственной или иной деятельности, чрезвычайных ситуаций природного или техногенного характера, согласно ФЗ «О недрах» и Постановлению Правительства РФ от 29.05.2025 № 781, нуждаются в восстановлении (рекультивации) в соответствии с целевым назначением и разрешенным использованием. На основании Постановления Правительства РФ от 10.06.2018 № 800 на добывающих предприятиях неотъемлемой частью технологических процессов являются работы по проведению рекультивационных мероприятий [4-6], разработка и реализация которых обеспечиваются лицами, чья деятельность привела к деградации земель. При проектировании разработки новых месторождений полезных ископаемых на основании ФЗ «Об экологической экспертизе» проводится Государственная экологическая экспертиза по оценке воздействия на компоненты ОС, так как в процессе эксплуатации может произойти активизация природных процессов – водной эрозии, подтопления, переувлажнения, заболачивания, деградации и др. Помимо этого, в результате недропользования происходит загрязнение почв, что может привести к изменению их физико-химических свойств и деградации растительного покрова [7-10].

Приоритетным направлением эколого-градостроительной политики, ориентированным на разработку мер по улучшению экологического состояния урбанизированных территорий и реорганизации промышленных районов, является учет экологических, социальных и экономических факторов при принятии решений. В Российской Федерации внедряется система государственного мониторинга состояния недр, которая, по Постановлению Правительства РФ от 29.11.2023 № 2029, включает мониторинг состояния почв, загрязненных в результате недропользования. Одним из направлений ее развития может быть применение комплексного подхода к оценке состояния нарушенных горными работами земель с последующей разработкой мер, ориентированных на их частичный или полный возврат в хозяйственный оборот.

Разработка месторождений полезных ископаемых открытым и подземным способами влечет за собой удаление, перемещение и складирование пустых и вскрышных пород с формированием нового рельефа местности, отвод воды из карьеров, шахт и дренажных систем с созданием искусственных сооружений для хранения, очистки, повторного использования или сброса в гидросеть, деформацию земной поверхности за счет сдвижения массивов горных пород [1, 11]. Основные виды воздействия на компоненты ОС от добычи твердых полезных ископаемых следующие [12, 13]:

• Изъятие земель различного назначения при низком уровне их рекультивации. В среднем при добыче открытым способом 1 т угля требуется переместить 3,6 м^3 вскрышных пород, а для обеспечения 1 т/год производительности разрезов изымается 1-1,5 м^2/год земельных угодий. По данным Росприроднадзора, на начало 2023 г. площадь нарушений от разработки месторождений составляет более 1100 тыс. га с ежегодным приростом 85-101 тыс. га.

• Повышение пылеобразования с поверхности карьерных выемок, отвалов, складов, хранилищ отходов с ежегодным ростом площадей для их складирования. В отвалах горно-добывающих предприятий, расположенных на территории России, накопилось более 12 млрд т вскрышных и вмещающих пород.

• Влияние горных работ на геологическую среду. Механическое воздействие в виде перемещения горных масс и вскрытия подземных водоносных горизонтов, физическое – в виде акустического, электромагнитного и радиоактивного воздействия; усиление геодинамических процессов,

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

выраженных периодическими и систематическими землетрясениями; перераспределение напряжений и деформаций с развитием оползневых явлений, карстов и др.; формирование техногенного рельефа; истощение недр.

• Образование при добыче и обогащении полезных ископаемых отходов – отвалов вскрышных и вмещающих пород, терриконов шахт, складов и хранилищ некондиционных и забалансовых полезных ископаемых, отсевов, хвостов флотации, гравитации, мокрой и сухой магнитной сепарации, шлаков угольных и черной и цветной металлургии.

• Нарушения гидрологического и гидрогеологического режимов, связанные с осушением или подтоплением территорий ведения хозяйственной деятельности, загрязнением подземных вод и горизонтов.

• Изменение природных ландшафтов с возникновением прогибов, трещин и провалов на поверхности. Например, при отработке пласта «Байкаимский» шахтой «Красноярская» ОАО «СУЭК-Кузбасс» при глубине ведения горных работ около 250 м образовались провалы земной поверхности шириной 7 м, глубиной до 3,5 м и протяженностью несколько сотен метров. При разработке рудной залежи на Таштагольском месторождении в Горной Шории возник провал диаметром более 200 м и глубиной более 50 м над обрушившимся выработанным подземным способом пространством [14-16].

Кроме непосредственно открытых и подземных горных работ не меньшее влияние оказывают сформированные техногенные образования, которые целесообразно ранжировать по степени их влияния на окружающие земли по балльно-рейтинговой системе с выделением кластеров [17]. Помимо параметров оценки состояния техногенно нарушенных земель можно использовать показатели оценки безопасности и допустимого уровня воздействия на экологическую подсистему, которые представляют один из возможных подходов к изучению опасности воздействия на основе безразмерных экологических индексов [18, 19]. При этом необходимо иметь не только актуальные данные, но и рассматривать территории с позиции ретроспективного анализа, детально изучая прошлое, проводя экологический аудит участков, выводимых из промышленного использования, и оценивать потенциальные риски, связанные с негативным воздействием на ОС [20-22].

При решении вопросов, связанных с загрязнением компонентов, и расчете кадастровой стоимости земли, предназначенной для размещения промышленных объектов, к которым относят и горнодобывающие предприятия, предлагается учитывать интегральный показатель техногенной нагрузки на природную среду [23]. В работах [24, 25] подробно проанализировано взаимодействие освоения недр и природной среды в трех направлениях, в частности раскрыты формы и степень техногенной нагрузки, оказываемой горным производством на основные компоненты природной среды, исследованы реакции некоторых биологических сообществ на техногенное воздействие, оказываемое на них при освоении недр.

Анализ источников, посвященных рассматриваемой проблематике, свидетельствует о том, что они направлены в основном на обоснование и определение одного критерия или параметра оценки состояния нарушенных земель. Комплексный подход, позволяющий рассмотреть территорию с разных ракурсов, практически не используется. Например, в некоторых регионах проводится сравнительная оценка экологических рисков, создаваемых горно-добывающими предприятиями, и рассчитывается как эколого-экономический ущерб [25, 26] на урбанизированных территориях, где разделяют нарушенные земли по степени напряженности или экологической нагрузки с выделением уровней ее градации – благоприятная, относительно благоприятная, удовлетворительная, напряженная и критическая. При этом появляются риски образования и накопления огромного количества промышленных отходов, которые необходимо утилизировать. В данном случае при проектировании рекультивации земель с целью разработки технологии экологического планирования необходимо применять показатель экологической нагрузки на ОС [26] либо проводить ранжирование или зонирование территории в целом по различным показателям, в том числе с использованием синтезированного анализа мультиспектральных изображений и выделением уровней и степени влияния добычи на ОС [27, 28]. В качестве критериев были рассмотрены только площади нарушений и выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух, но не учитывались данные по состоянию вод и почвы, а также радиоактивности [29, 30].

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Учитывая изложенное, целесообразность повышения достоверности оценки нарушенных горными работами земель и объективную необходимость дальнейшего решения проблемы их альтернативного использования, поставлена цель разработать комплексный подход к анализу компонентов ОС на основе использования сформированного перечня критериев. Для достижения цели поставлены и решены локальные задачи, связанные с проведением на примере отдельного региона анализа нарушенных горными работами территорий; определением среди них объектов для рекультивации; выделением характерных особенностей, позволяющих изучить их состояние; формированием критериев оценки таких участков на основе отличительных черт с учетом признаков деления, типизации и кластеризации; составлением матрицы с перечнем техногенных объектов, параметрами и показателями лабораторных и полевых исследований компонентов ОС.

Методы исследования

Для проведения исследования использовались аналитические материалы Росстата, Росреестра, Росприроднадзора, Государственного баланса запасов полезных ископаемых России, космические снимки высокого разрешения. Дополнительной информационной основой работы послужила зарегистрированная база данных (свидетельство RU2023624553) техногенно измененных земель при добыче и использовании твердых полезных ископаемых в Новосибирской обл. (НСО), включающая данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) в ретроспективе. Для достижения поставленной цели и решения задач применялись современные методы исследований, включающие системный, сравнительный, структурный и факторный анализы, методы объектного и выборочного исследования, описания техногенно нарушенных земельных участков, ландшафтного анализа и синтеза, геоинформационного картографирования и др.

Рядом авторов были проанализированы методы геоэкологической оценки техногенно нарушенных горными работами земель [31-33] и предложен способ получения и интерпретации геопространственных данных для проведения оценки состояния территорий горно-добывающего сектора (патент № RU 2806406 C1). Для всесторонней оценки таких земель и принятия решения об их последующем возврате в безопасное пользование зачастую отсутствует полная, качественная и достоверная информация, либо по разным причинам нет возможности ее получить. Мониторинг с полевыми и лабораторными исследованиями проводится в недостаточном объеме или не проводится вообще, особенно в отношении уже отработанных или брошенных месторождений. По Постановлению Правительства РФ от 10.07.2018 № 800 и на основании СП 446.1325800.2019 и СП 47.13330.2016 в отношении инженерных изысканий для строительства, рекультивацию нарушенных земель следует проводить на основе результатов обследования. Они должны быть выполнены в объеме, необходимом для обоснования состава работ по рекультивации, консервации земель, с учетом фиксируемых физических, химических, биологических показателей состояния почв, результатов инженерно-геологических изысканий. Но данные документы не полностью учитывают то, что при отработке месторождений полезных ископаемых различными способами и вариантами геотехнологий появляется новая техногенная геосреда с изменяемой в пространстве геометрией, структурой и текстурой массива со своими механическими, техническими и физико-химическими свойствами.

Помимо основных загрязняющих веществ, для которых установлены нормы предельно допустимых воздействий на ОС согласно ГОСТ Р 54003-2010, следует учитывать, что в отвалах могут находиться некондиционные и забалансовые запасы полезных ископаемых, различные виды отходов горно-обогатительного производства. Все они в процессе различного времени хранения претерпевают изменения, теряют начальные технологические свойства и промышленную ценность, подвергаются интенсивному естественному химическому и биологическому воздействию. В результате таких превращений образуется неоднородная по гранулометрическому составу и свойствам пыль, газы и химические элементы, которые с различной интенсивностью и уровнем опасности загрязняют атмосферу, почву, поверхностные и подземные воды на значительных площадях. Даже после прекращения эксплуатации месторождения и консервации горных выработок негативное экологическое воздействие на ОС может продолжаться в течение длительного времени.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

При оценке состояния техногенно нарушенных земель желательно предварительно иметь данные о содержании опасных и особо опасных элементов в полезных ископаемых и вмещающих породах для составления программы полевых и лабораторных исследований, проведения комплексных инженерных изысканий на предмет появления этих компонентов на вновь образованных техногенных объектах. Дополнительные исследования необходимы и для подтверждения или опровержения факта обнаружения участков с повышенными концентрациями химических элементов и соединений, включая превышающие нормативные показатели, на горных отводах предприятий и на прилегающих к ним территориях.

Изучение научно-технической, нормативной литературы и опыта работы предприятий показало, что подходы и принципы, применяемые при анализе состояния и оценке перспектив дальнейшего использования нарушенных горными работами земельных участков, целесообразно по возможности интегрировать. Они должны использоваться так, чтобы максимально полно учитывались основные особенности рассматриваемых объектов по признакам идентификации (материал, размеры, форма, строение, состав, структура, функции, свойства объекта), дифференциации (группы, классы, назначение, способы формирования) и кластеризации (схожесть, различия, возможность и условия объединения, критерии отнесения).

Предложенный подход к анализу состояния нарушенных земельных участков учитывает возможность использования следующих принципов:

• деления, которое может быть общим для всех типов воздействия, позволяющим более точно определить группы для дальнейшей оценки по уровню и характеру воздействия на компоненты ОС, районирования по фактору допустимой или сверхдопустимой экологической нагрузки, картирования с указанием границ нарушений территорий, размеров их площадей;

• типизации и кластеризации, которые определяют особенности техногенного воздействия на характеризующуюся измеряемыми в различных шкалах параметрами и показателями природную среду, представленную горными породами, почвами, искусственными грунтами, подземными и поверхностными водами; атмосферным воздухом.

Основанием для разделения техногенно нарушенных земельных участков были приняты признаки, позволяющие идентифицировать объекты по фактору допустимой или сверхдопустимой экологической нагрузки. Например, признаками типизации и кластеризации могут быть вид антропогенного воздействия, приводящий к техногенной нарушенности земельных участков, и выделяемые разновидности этого воздействия, заключающиеся в количественных оценках площади нарушений, которая изменяется во времени и пространстве. К последствиям техногенного воздействия на компоненты ОС относятся данные, полученные в ходе лабораторных и полевых исследований, выраженные через показатель предельно допустимых концентраций (ПДК) изучаемых веществ. Необходимо принять во внимание и то, что наличие взвешенных частиц пыли размером PM 2,5 и PM 10 в ОС и радиоактивности при добыче полезных ископаемых также является одним из негативных факторов, обладающих опасным потенциалом.

Предлагаемый авторами подход к комплексному исследованию нарушенных горными работами земель включает их анализ по критериям, отнесенным к экологическим параметрам и технологическим факторам, которые, в свою очередь, делятся на управляемые и неуправляемые (рис.1). На основе собранных и обработанных данных, систематизации параметров и показателей, полученных в результате лабораторных и полевых исследований, производится оценка рассматриваемых территорий с последующей разработкой рекомендаций по выбору направления дальнейшего их использования.

К технологическим факторам были отнесены критерии, которые показывают вид антропогенного воздействия и категорию земель на исследуемых объектах, наличие территорий с особым статусом, степень населенности (плотность населения), уровень техногенной нарушенности территории, а также особенности природно-климатических условий. К экологическим параметрам отнесены содержание опасных и особо опасных элементов и радионуклидов, радиоактивность горных пород и показатель антропогенной нагрузки на водоемы.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

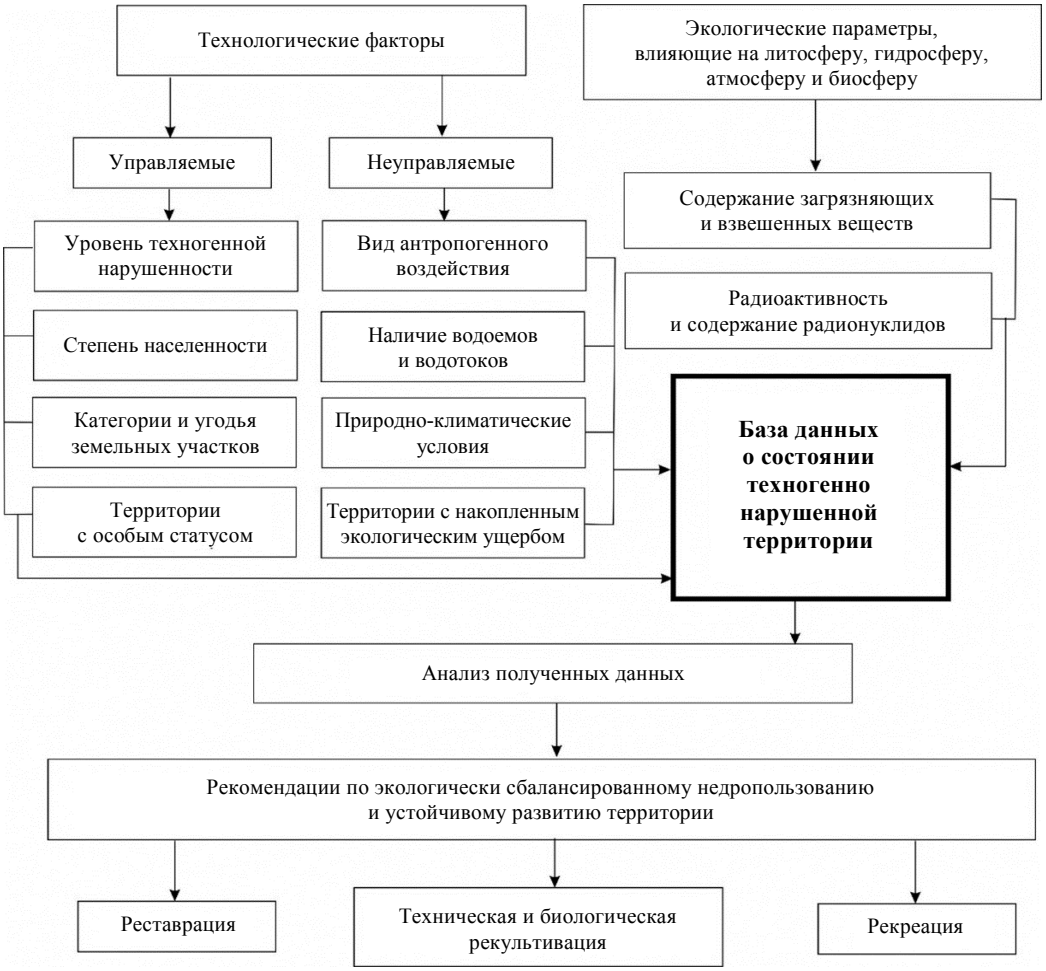


Рис.1. Подход к комплексной оценке техногенно нарушенных земель

Каждый критерий имеет определенные уровни, с опорой на которые могут приниматься решения о выборе направления дальнейшего использования нарушенных земель. Например, такие критерии, как содержание опасных и особо опасных элементов в ОС, содержание радионуклидов в воде (Rn), радиоактивность горных пород (U, Ra, Th, K), имеют численные значения и привязаны к нормативам ПДК. Остальные позволяют оценить техногенный объект с точки зрения нарушенности через количественные показатели площади нарушений, плотности населения. Кроме этого, были введены дополнительные критерии, описывающие наличие территорий с прошлым экологическим ущербом и особым статусом, которые позволяют выявить как ретроспективные данные о горно-добывающем регионе, так и данные о природно-климатических условиях территорий. Такая информация позволит скорректировать направления восстановления техногенно нарушенных земель в сторону рекультивации, реставрации и рекреации.

Рассмотрим подробнее предложенные в различных работах критерии и параметры, с применением которых в данной работе на примере одного из регионов страны произведена оценка техногенно нарушенных земель с позиций их влияния на ОС.

1. Вид антропогенного изменения почвенно-растительного покрова и рельефа первичных ландшафтов, когда рассматриваются различные техногенные разрушения под влиянием прямого или косвенного антропогенного воздействия, включая ведение горных и строительных работ, размещение производственных объединений, изъятие площадей для размещения отвалов вскрышных пород, золы теплоэлектроцентралей (ТЭЦ), хвостов обогащения, свалок твердых бытовых отходов (ТБО) и др.

2. Степень нарушенности земельных участков. Для ее оценки существует несколько методик, каждая из которых имеет преимущества и недостатки. В предлагаемой авторами методике за основу

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

© А.В.Резник, Н.А.Немова, Д.А.Новиков, Е.Ю.Зарубина, В.Л.Гаврилов, А.А.Колесников, Н.С.Косарев, 2026

был взят подход, разработанный А.П.Камышевым (1999), где основное внимание уделено обоснованию типизации нарушенных ландшафтов и контурному дешифрованию. Для указанной территории была разработана классификация на уровне типов местности, сложных и простых урочищ и определены их ландшафтные характеристики, а также введены пять категорий нарушенности, привязанных к значениям ее степени[1].

В данной работе степень нарушенности техногенных территорий определяется как отношение площади антропогенного объекта к общей площади исследуемой территории, где расположен объект,

$$K_{\text{н}} = \frac{S_i}{S_{\text{об}}}.$$

В качестве антропогенных объектов рассматриваются карьерные выемки добывающих предприятий, породные отвалы, терриконы, золоотвалы ТЭЦ и свалки ТБО. Использование общей площади территории, где расположен объект, в качестве нормирующего показателя позволяет унифицировать оценку для объектов разных масштабов и проводить корректный сравнительный анализ в пределах исследуемой территории.

Поскольку объекты горно-добывающего комплекса могут располагаться в различных типах ландшафтов, в табл.1 представлена классификация техногенной нарушенности применительно к территории исследования без дифференциации на ранги ландшафтных единиц (фации, урочища, типы местности). Для распределения техногенных объектов по степени нарушенности был использован типологический принцип, при котором категория нарушенности определяется на основе типа объекта (карьер, отвал, разрез) с учетом его размерных характеристик. Ввиду отсутствия детальных данных о глубине выработок и токсичности пород в качестве основного количественного показателя выбрана площадь объекта как наиболее доступный и репрезентативный параметр для предварительной оценки.

На основе анализа фактического материала по 106 объектам горно-добывающего комплекса Новосибирской обл. (карьеры, разрезы, отвалы) было выполнено распределение по категориям нарушенности. Эмпирически установлено, что наибольшая доля объектов приходится на категорию слабо нарушенных (63 %), средне нарушенные объекты составляют 12 %, а сильно и чрезвычайно нарушенные – по 7,5 % (табл.1).

Таблица 1

Оценка степени техногенной нарушенности территорий НСО

Категория нарушенности	Характеристика объекта	Состояние земель на момент оценки	Степень нарушенности, 10^{-3}
Условно ненарушенные или малонарушенные	Затопленные или самозаросшие выработанные пространства (карьерные выемки, породные и золоотвалы, терриконы и др.) – 10 объектов	Горные или иные работы не ведутся продолжительное время	$K_{\text{н}} = 0$
Слабо нарушенные	Очень малые карьеры (разрезы) – 67 объектов	Ведутся горные или иные работы	$0{,}5 \le K_{\text{н}} \le 5$
Средне нарушенные	Малые карьеры (разрезы) – 13 объектов		$5 \le K_{\text{н}} \le 10$
Сильно нарушенные	Средние карьеры (разрезы) – 8 объектов		$10 \le K_{\text{н}} \le 30$
Чрезвычайно нарушенные	Крупные карьеры (разрезы), расположенные вблизи населенных пунктов – 8 объектов		$K_{\text{н}} \ge 30$

Примечание. Граничные значения $K_{\text{н}}$ определены эмпирически на основе выборки из 106 объектов НСО и могут уточняться при расширении базы данных.

3. Данные по содержанию загрязняющих веществ (ЗВ), выносимых в ОС (почва, атмосферный воздух, гидросфера). Для оценки экологической ситуации на выбираемых для исследования территориях необходимо учитывать:

[1] *Камышев А.П.* Методы и технологии мониторинга природно-технических систем Севера Западной Сибири. М.: ВНИПИГАЗДОБЫЧА, 1999. 230 с.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

• содержание ЗВ и их соединений в гидросфере, к которым, согласно Государственному докладу «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2024 году»[2], отнесены нефтепродукты, фенолы, марганец, алюминий, цинк и медь, железо общее, азот нитритный, азот аммонийный, а также химическое потребление кислорода (ХПК). Уровень загрязнения оценивается по дихотомической шкале – «превышает ПДК хотя бы по одному из элементов» или «не превышает ПДК ни по одному из элементов»;

• содержание ЗВ в атмосфере, к которым, согласно нормативным документам, отнесены элементы, входящие в классы опасности от чрезвычайно опасных до малоопасных – взвешенные частицы (пыль), диоксид серы, оксид углерода, диоксид азота, оксид азота, бенз(а)пирен, сероводород, фенол, сажа, фторид водорода, аммиак, формальдегид, металлы. Используются их содержания по превышению ПДК. Уровень загрязнения оценивается так же, как в предыдущем случае;

• состояние почв и наличие в них ЗВ, согласно Ежегоднику «Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2022 году»[3]. Используются содержания токсикантов промышленного происхождения – комплекса металлов по суммарному показателю загрязнения,

$$Z_{\text{ф}} = \sum_{i=1}^{n} K_{\text{ф}i} - (n-1),$$

где n – количество определяемых металлов; $K_{\text{ф}i}$ – коэффициент концентрации металла, равный отношению массовой доли i-го металла в почве загрязненной территории к его фоновой массовой доле.

Для работы была использована шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю загрязнения – допустимая ($Z_{\text{ф}} < 16$), умеренно опасная ($Z_{\text{ф}}$ 16-32), опасная ($Z_{\text{ф}}$ 32-128), чрезвычайно опасная ($Z_{\text{ф}} > 128$).

4. Радиационная безопасность воды для рекреационного водопользования, определяемая по содержанию радионуклидов в воде с учетом показателей – суммарной объемной активности радионуклидов, общей альфа- или бета-активности.

Определение удельной активности в воде радионуклидов (H, C, I, Pb, Ra и Th), согласно СанПиН 1.2.3685-21, является обязательным. Уровень вмешательства для Rn в питьевой воде составляет 60 Бк/кг. На сегодняшний день не удалось найти данные по показателям общей альфа- и бета-активности воды рассматриваемых ниже объектов, из-за чего оценивалось только содержание ^{222}Rn в дренажных водах.

Для ранжирования по критерию содержания радионуклидов в воде использовано два уровня («превышает», «не превышает») для указанных показателей – суммарная объемная активность радионуклидов ^{222}Rn (уровни $> 1{,}0$ Бк/м^3 и $\leq 1{,}0$ Бк/м^3), общая альфа-активность ($> 0{,}2$ Бк/кг и $\leq 0{,}2$ Бк/кг), общая бета-активность ($> 1{,}0$ Бк/кг и $\leq 1{,}0$ Бк/кг).

5. Естественная радиоактивность горных пород, которая определяет радиоактивность покрывающих почвогрунтов и зависит от содержания урана (радия), тория и калия [34]. Максимальной радиоактивностью характеризуются почвы, развитые на кислых магматических породах и глинах, что в среднем ниже радиоактивности осадочных пород. Показатель эффективной удельной активности природных радионуклидов определяется по формуле

$$A_{\text{эф}} = A_{\text{Ra}} + 1{,}3A_{\text{Th}} + 0{,}09A_{\text{K}},$$

где A_{Ra} и A_{Th} – удельные активности ^{226}Ra и ^{232}Th, находящихся в радиоактивном равновесии с остальными членами уранового и ториевого рядов, Бк/кг; A_{K} – удельная активность ^{40}K, Бк/кг.

В соответствии с СанПиН 2.6.1.2523-09 «Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009)», при использовании техногенно нарушенных земель в качестве рекреационной зоны уровень $A_{\text{эф}}$ не должен превышать 370 Бк/кг.

6. Степень населенности (плотность населения) районов, оцениваемая по уровням (низкая, средняя, высокая) и принятым показателям – для низкой до 10 чел./км^2, средней 10-100 чел./км^2,

[2] О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2024 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; ВНИИ Экология, 2025. 721 с.

[3] Ежегодник. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2022 году. Обнинск: Тайфун, 2023. 139 с.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

высокой свыше 100 чел./км^2. Данный критерий необходим для технико-экономического обоснования выбора направлений восстановления техногенно нарушенных земель.

7. Исторические сведения о категории земель и угодьях, необходимые для обоснования и выбора направлений восстановления техногенно нарушенных земель. По Национальному стандарту РФ «Охрана окружающей среды», нарушенные земли следует преимущественно рекультивировать под пашню и другие сельскохозяйственные угодья.

8. Объем и интенсивность сброса сточных и дренажных вод в водоток в период ведения горных работ, условия и места переноса русел рек и ручьев, влияющих на состояние поверхностных и подземных вод, миграцию ЗВ в них. Для оценки качества природных вод, согласно ГОСТ 57075-2016, можно использовать комплексный показатель антропогенной нагрузки (ПАН^б) и (или) удельный комбинаторный индекс загрязненности воды. Они оценивают степень истощения качества вод и деградации состояния водной экосистемы, рассчитываемые по базовым аналит-маркерам и характеризующие типичные негативные воздействия. Предлагается ранжирование степени нарушенности качества и изменения состояния водных экосистем при антропогенной нагрузке по критерию ПАН^б, который характеризует водный объект с экологических позиций от низкого до высокого качества (табл.2), согласно Приказу Министерства сельского хозяйства РФ от 13.12.2016 № 552, ГОСТ Р 58556-2019, ГОСТ Р 57075-2016, ГОСТ 17.1.3.07-82. Для них были приняты уровни оценивания, зависящие от уровня кризисности экосистемы и ПАН^б для соответствующих классов качества водных объектов (табл.2).

Таблица 2

Характеристика качества водных экосистем

Оценочный показатель	Класс качества воды				
	Очень чистая	Чистая	Умеренно загрязненная	Загрязненная	Грязная
ПАН^б	ПАН$^б \le 4{,}2$	$4{,}2 <$ ПАН$^б < 10{,}8$	$10{,}8 <$ ПАН$^б \le 24{,}0$	$24{,}0 <$ ПАН$^б < 70$	$70 <$ ПАН$^б < 135$
Зоны кризисности экосистемы	Состояние обратимых изменений		Пороговое уязвимое состояние	Состояние обратимых и необратимых изменений	

Для расчета базового ПАН^б, согласно ГОСТ Р 58556-2019, необходимы данные базовых аналит-маркеров по основным типам воздействий: сухой остаток (общая минерализация), pH среды (закисление или защелачивание), снижение прозрачности (инертные взвешенные вещества или взвешенные вещества антропогенного воздействия), снижение содержания растворенного кислорода (ХПК, $БПК_5$), эвтрофирование (фосфор общий, в том числе фосфор фосфатов, азот общий, в том числе азот аммония, азот нитратов и нитритов), биогенная подпитка внутриводоемных процессов (железо общее), вторичное загрязнение от донных отложений (марганец общий),

$$\text{ПАН}^б = \sum_{i=1}^{n} \text{ПАН}_i,$$

где ПАН_i – показатель антропогенной нагрузки *i*-го типа воздействия, усл.м^3/м^3; *n* – количество учитываемых типов воздействия.

9. Наличие территорий с прошлым накопленным экологическим вредом (ущербом) ОС, к которым, по Постановлению Правительства РФ от 21.12.2023 № 2239, относятся площади, загрязненные химическими веществами в результате прошлой экономической и иной деятельности, объекты размещения промышленных и бытовых отходов, брошенные производственные территории и сооружения, брошенные и затопленные объекты в акваториях водных объектов. Своевременный аудит в зонах ведения горных работ, городских агломерациях на предмет наличия таких земель позволяет разработать мероприятия по утилизации накопленных отходов, рекультивировать и реабилитировать нарушенные земли, улучшить экологические условия проживания, снизить экологические угрозы и риски.

10. Наличие зон санитарной охраны (ЗСО), в границах которых, по СанПиН 2.1.4.1110-02, не должно быть техногенно нарушенных земель. Особое внимание в данном случае следует обращать на территории с особым статусом, такие как водозаборные сооружения и участки, на которых они

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

© А.В.Резник, Н.А.Немова, Д.А.Новиков, Е.Ю.Зарубина, В.Л.Гаврилов, А.А.Колесников, Н.С.Косарев, 2026

расположены, особо охраняемые природные территории. Для защиты их от загрязнения должны быть созданы ЗСО.

11. Природно-климатические условия региона – немаловажная составляющая при выборе направления использования техногенно нарушенных земельных участков. Учет данного фактора необходим при определении условий и порядка рекультивационных мероприятий, поскольку расположение таких объектов, например, в условиях Крайнего Севера, в засушливых регионах, при расчлененном или равнинном рельефе, требует индивидуального подхода.

Обсуждение результатов

В качестве примера использования рассмотренного перечня критериев и параметров для оценки техногенно нарушенных земель с позиций их влияния на ОС рассмотрена территория Новосибирской обл. Добыча твердого минерального сырья здесь производится в основном в восточной части, которая представлена угольными и россыпными месторождениями, неметаллическими полезными ископаемыми.

Анализ Государственного баланса запасов полезных ископаемых в РФ и материалов периодической печати показал определенное увеличение добычи угля и золота в НСО в последние годы [35-37]. Наблюдается и рост добычи строительных материалов в среднем на 20 % (исключение – строительный камень, добыча которого снизилась на 10 %). Исходя из этого, можно говорить о том, что площадь нарушенных земель горными работами ежегодно увеличивается [38-40].

Для апробации разрабатываемой методики оценки техногенно измененных горными работами территорий с последующим их ранжированием по уровню воздействия на компоненты ОС была сформирована матрица, состоящая из техногенных объектов и оценочных критериев.

На основе полученных данных, интегрированных в описанную базу данных, на рассматриваемой территории выделены 106 земельных участков, нарушенных горными работами, и используемые территории, где складируется добытое минеральное сырье и продукты его переработки. Для оценки состояния нарушенных территорий НСО использовалась кластеризация, позволяющая разделить техногенные объекты на группы [28, 29].

По виду и характеру антропогенного воздействия, приведшего к техногенной нарушенности, 87 объектов были отнесены к «выработанным пространствам по добыче полезных ископаемых», восемь – к «производственным объединениям», три – к «свалкам ТБО», шесть – к «золоотвалам».

По фактору экологической нагрузки на компоненты ОС с проведением количественной оценки площади нарушений лабораторными исследованиями на содержание ПДК опасных и особо опасных элементов (загрязняющих веществ) были выделены следующие подгруппы:

• условно техногенно ненарушенные в количестве трех объектов, к которым были отнесены затопленные, брошенные или самозаросшие выработанные пространства по добыче полезных ископаемых, при исследовании которых были выявлены превышения ПДК по воде;

• слабо техногенно нарушенные (для соотнесения была принята доля площади нарушений менее 0,5 %) в количестве 85 техногенных объектов, из них в трех выявлены превышения ПДК в почве и воде, в пяти – превышения ПДК в воде, в двух – в воздухе;

• средне техногенно нарушенные (доля площади нарушений от 0,5 до 1,0 %) в количестве 12 объектов, всего один объект имеет превышения ПДК в воздухе;

• сильно техногенно нарушенные (доля площади нарушений от 1,0 до 3,0 %) в количестве двух объектов, в которых превышения ПДК не обнаружены;

• чрезвычайно техногенно нарушенные (доля площади нарушений более 3,0 %) в количестве двух объектов, в которых превышения ПДК не обнаружены.

В НСО, по данным Росстата, численность населения составляет более 2,7 млн чел., а Новосибирск, где проживает более 1,6 млн чел., был отнесен к высокой степени населенности, при этом некоторые районы области, где имеются природные ресурсы и ведутся горные работы, отличаются низкой плотностью населения. По степени населенности (плотности населения) на территории НСО из 106 техногенных объектов были выделены 87 с выработанным пространством по добыче полезных ископаемых, из которых 65 отнесены к низкой степени населенности с плотностью до 10 чел./км^2, что составляет 75 %, 17 – к средней степени с плотностью до 100 чел./км^2 (19 %) и пять к высокой степени с плотностью более 100 чел./км^2 (6 %). Группа «производственные объединения»

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

также была разделена по степени населенности: низкая степень – шесть объектов, средняя – два объекта; группа «свалки ТБО»: низкая степень – два объекта, средняя – один объект, высокая – один объект; группа «золоотвалы»: низкая степень – два объекта, средняя – четыре объекта. Анализ данных показал, что всего шесть объектов относятся к высокой степени населенности, что позволяет сделать вывод о том, что техногенно нарушенные земельные участки с высокой плотностью населения находятся в основном в городской черте.

На основе данных Государственного доклада «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2024 году»[4] по НСО и данных из опубликованных исследований были рассмотрены компоненты ОС.

Атмосферный воздух. В период с 2019 по 2022 гг. в районе Новосибирска наблюдался некоторый рост среднегодовой концентрации пыли с превышением ПДК в ряде случаев на 80-90 %. Мониторинг атмосферного воздуха на наличие диоксида углерода и серы, озона, углекислого газа, взвешенных частиц пыли в концентрациях, превышающих ПДК, показал, что в трех из 14 точек наблюдения зафиксированы превышения. В г. Искитим за этот же период наблюдался значительный, более чем в 2,5 раза, рост среднегодовой концентрации пыли, в 2022 г. ее содержание составило 3,7 ПДК. Это дополнительно подтверждается изучением космических снимков, на которых видно, как далеко может мигрировать угольная пыль от действующего Колыванского месторождения антрацита Горловского угольного бассейна до данного поселения (рис.2).

Почва. С 2019 по 2022 гг. на трех участках в Искитимском районе с развитой добычей минерального сырья выявлено превышение ПДК по стронцию – в 10 раз, по барию и свинцу – в три раза. Экологическое состояние почв Новосибирска отнесено к умеренно опасным по содержанию олова и кадмия. Периодический мониторинг почв золоотвалов ТЭЦ-2, ТЭЦ-3, ТЭЦ-4, ТЭЦ-5 показывает, что по содержанию бенз(а)пирена, цинка, меди и свинца ПДК не превышаются.

Вода. Поверхностные водные объекты государственного водного фонда НСО представлены водотоками (реки, ручьи и осушительные каналы) – более 7 тыс. и водоемами (водохранилище, озера, пруды, болота) – свыше 6 тыс. Доля малых водотоков длиной менее 10 км составляет 94,2 % от общего количества водотоков региона. Современное состояние большинства поверхностных водных объектов и прибрежных территорий не соответствует действующим экологическим и градостроительным требованиям. На изменение естественного режима и неблагополучное состояние

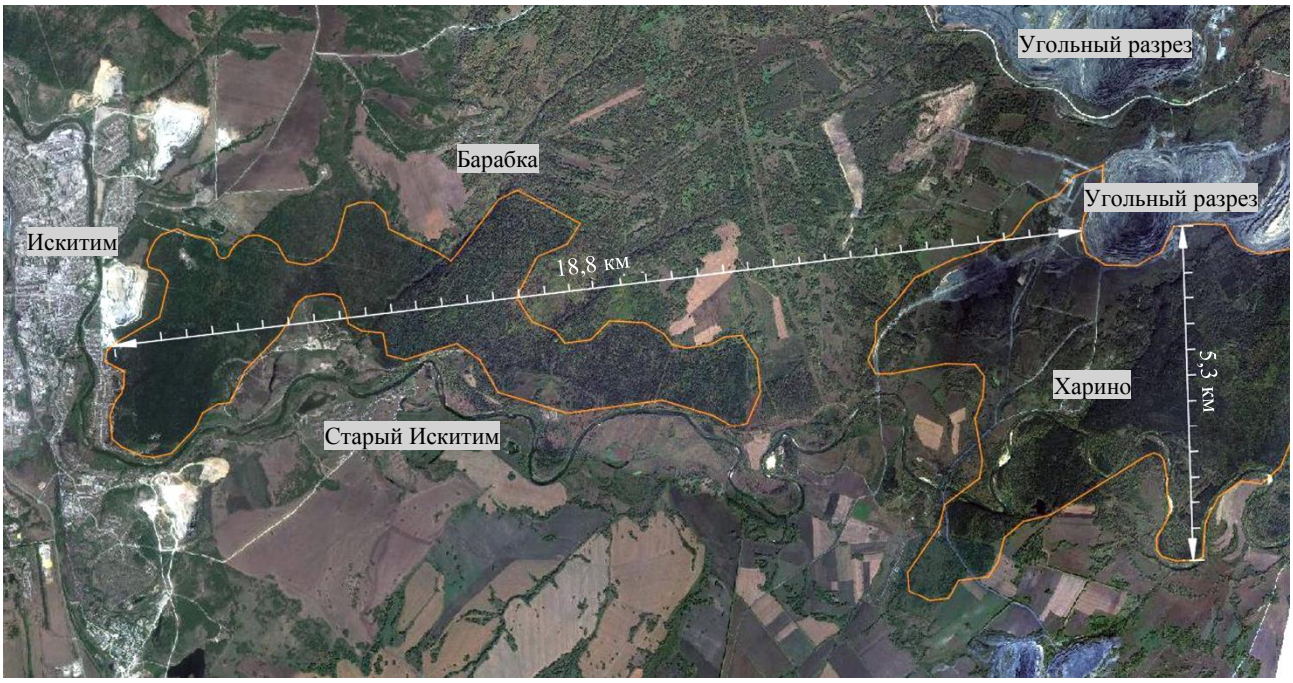


Рис.2. Миграция угольной пыли от действующего угольного разреза

[4] О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2024 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; ВНИИ Экология, 2025. 721 с.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

водных объектов НСО влияют антропогенные нагрузки (выпуски сточных вод, сбросы загрязняющих веществ, размещение объектов в водоохранных зонах и прибрежных защитных полосах и т.д.); естественные факторы (циклические колебания уровня воды, связанные с климатическими изменениями, «цветение» воды, вызванное массовым развитием цианобактерий, недостаток кислорода); техногенные причины, вызывающие ухудшение формирования стоков на водосборах и режима водных объектов (регулирование стока рек, отчленение дамбами озер и водотоков, сооружения и карьерные разработки в русле). Качество поверхностных водотоков, расположенных в черте городов и крупных населенных пунктов НСО, за исключением р. Обь, относится к классу грязных и экстремально грязных. Основные загрязняющие вещества – нефтепродукты, фенолы, ХПК, марганец, алюминий, цинк, медь, железо общее, азот нитритный, азот аммонийный[5].

Исследование химического состава дренажных вод, разрабатываемых, отработанных и затопленных карьеров по добыче строительного камня для щебня, угля, мрамора, песка, показало [37, 38], что воды гранитных и угольных карьеров имеют нейтральный показатель pH, а песчаных и мраморных – в основном щелочной. В угольных карьерах развиты более минерализованные воды с величиной общей минерализации до 1171 мг/дм^3, что соответствует слабосолоноватым водам, тогда как остальные дренажные воды ультрапресные или пресные. По рассчитанным геохимическим коэффициентам, в песчаных и мраморных карьерах в большей степени накапливаются натрий, кальций и магний, тогда как в гранитных и угольных – кремний. Рост натрия в растворе связан с процессами антропогенного загрязнения. В дренажных водах гранитных карьеров «Борок» и «Скалинский» содержание растворенного в воде кислорода было в 1,3-1,5 раза ниже предельно допустимой концентрации загрязняющего вещества в воде водного объекта рыбохозяйственного значения (ПДК$_{рх}$), а концентрация сульфатов – в 1,2-2 раза выше. Максимальная концентрация сульфатов в дренажных водах (в 2-5 раз выше ПДК$_{рх}$) отмечена в угольных карьерах «Ургунский», «Горловский» и «Колыванский». Наиболее высокие концентрации радионуклидов установлены в водах гранитных массивов, где содержание урана достигает 1,40 мг/дм^3, а тория – $2{,}16\cdot10^{-3}$ мг/дм^3, что вполне логично, так как их породы аккумулируют в себе некогерентные элементы [34]. Таким образом, сброс дренажных вод при разработке месторождений твердых полезных ископаемых в водотоки восточных районов НСО не оказывает значительное негативное влияние на качество природных вод.

В процессе разработки месторождений открытым способом часто возникает необходимость отвода с участка работ поверхностных вод путем переноса рек и ручьев за границы горного отвода и создания искусственного русла. Это приводит к полной трансформации экосистемы водотока, восстановление которой возможно только через длительный период. Примером такой трансформации может служить ручей Ургунчик, приток второго порядка р. Бердь. В результате переноса ручья за границы лицензионного горного отвода участка «Ургунский» Горловского угольного разреза АО «Сибирский Антрацит», сток ручья посредством направляющей дамбы был перенаправлен в искусственное русло. В ручей осуществляется сброс очищенных сточных (карьерных) вод, при этом природная вода соответствует нормативам ПДК$_{рх}$ и санитарно-гигиеническим нормативам практически по всем показателям. Однако все показатели, характеризующие состояние растительного покрова водотока как в русле, так и в водоохранной зоне, свидетельствуют о кризисном состоянии его экосистемы. Таким образом, причиной такого состояния явился перенос русла ручья Ургунчик. В настоящее время его экосистема находится в стадии формирования, что объясняет низкое видовое разнообразие растительности и доминирование видов-индикаторов неблагополучного состояния водотока.

Снизить степень негативного воздействия призвана рекультивация нарушенных земель [1, 11], включающая не только карьеры, но и отвалы горных пород. На участке р. Малый Елбаш (Колыванское месторождение антрацита Горловского бассейна), где была проведена рекультивация отвалов вскрышных пород, состояние растительного покрова в русле реки и водоохранной зоне было удовлетворительным. Отмечены высокие видовое разнообразие и степень проективного покрытия водной и прибрежно-водной растительности. По индексу сапробности вода на этом участке по трофо-сапробиологическим показателям соответствовала классу вод удовлетворительной чистоты.

[5] О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2024 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; ВНИИ Экология, 2025. 721 с.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

© А.В.Резник, Н.А.Немова, Д.А.Новиков, Е.Ю.Зарубина, В.Л.Гаврилов, А.А.Колесников, Н.С.Косарев, 2026

Так как НСО находится в зоне повышенного регионального фона по радиоактивным элементам, был проведен анализ содержания радионуклидов в воде и радиоактивности горных пород. Допустимое содержание природных радионуклидов в минеральном сырье и материалах, продукции с их использованием (природный и искусственный камень, изделия из керамики, керамогранит и т.п.), требования по обеспечению радиационной безопасности при обращении с ними устанавливаются СанПиН 2.6.1.2523-09. В течение 2022-2024 гг. в ИНГГ СО РАН было изучено более 200 образцов горных пород, отобранных в разрабатываемых карьерах при бурении водозаборных скважин (керн и шлам) и естественных выходах коренных пород на дневную поверхность, представленных гранитоидами приобского и барлакского комплексов (P_3-T_1, T_{1-2}) [34]. Исследования приобского комплекса показали, что породы характеризуются в целом невысокими концентрациями урана (1-3 г/т) и тория (1-16 г/т). В отдельных образцах лейкогранитов (вероятно, в дайковых телах) участка «Горский» содержание урана может достигать 8 г/т, тория – 25 г/т. Высокие содержания урана и тория установлены в барлакском гранит-лейкогранитовом мезоабиссальном комплексе, которые в среднем составляют 21 и 36 г/т соответственно, что характеризуется отнесением этих образцов по величине $A_{эф}$ к III классу.

Изучение радиоактивности водовмещающих пород, отобранных в разрезе угленосных отложений, вскрытых карьерами в Горловском угольном бассейне НСО (рис.3) и на ряде других объектов, показало, что в магматических породах содержания урана и тория в среднем составляют 9,6 и 17,7 г/т, а в осадочных породах – 2,5 и 4,6 г/т. Установлено, что в наибольшей степени обогащены ураном (до 65,1 г/т) и торием (до 108,8 г/т) интрузивные комплексы Колыванского гранитоидного массива. Этот факт подтверждается высоким значением коэффициента $A_{эф}$, который составляет здесь 1216-1377. Большинство изученных объектов не представляют опасности для населения, что соответствует отнесению горных пород из этих объектов к I классу опасности радиационной безопасности строительных материалов. Радиоактивность дренажных вод находится

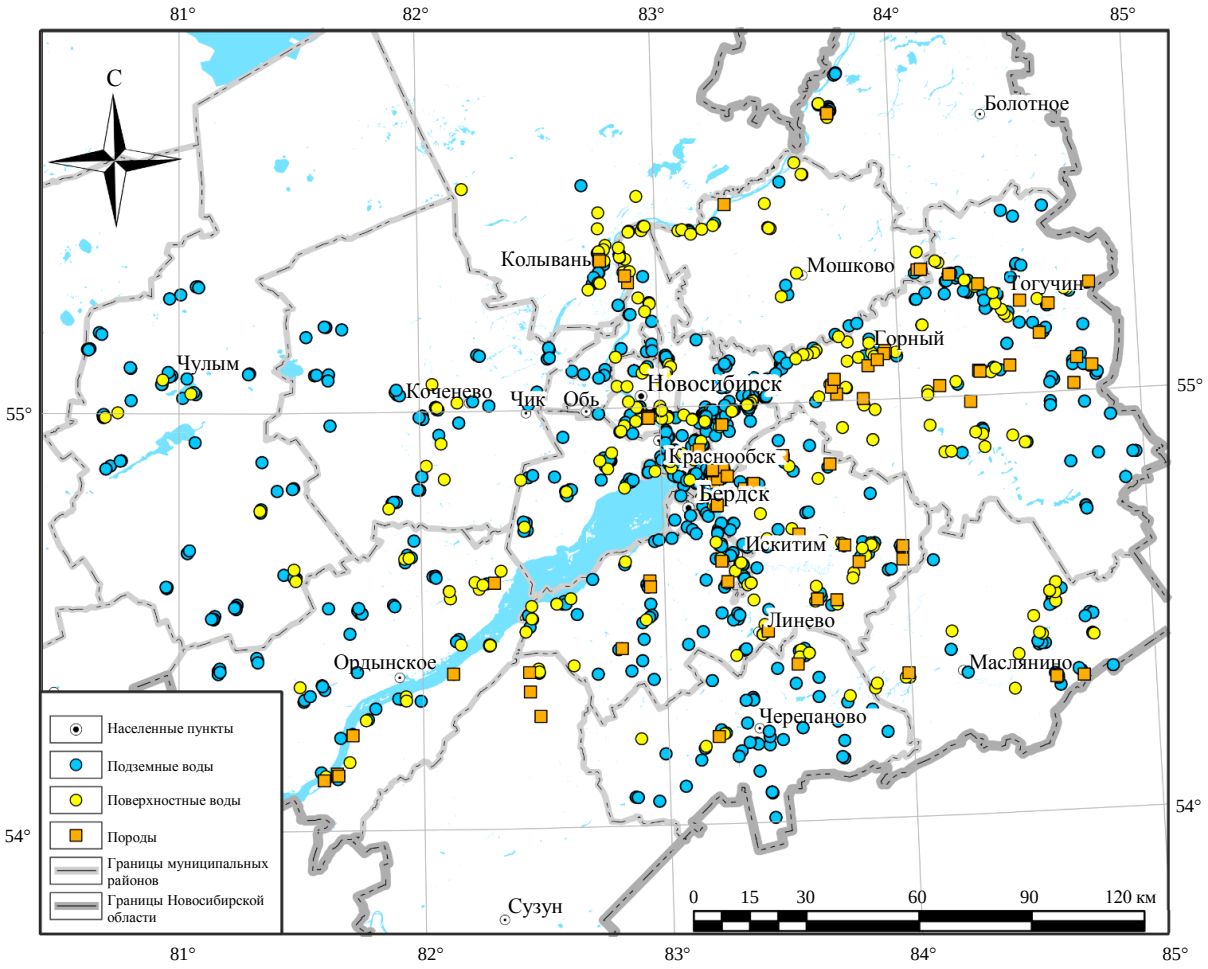


Рис.3. Расположение точек отбора проб на радиоактивность природных вод и горных пород

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

в прямой взаимосвязи с распределением радиоактивных элементов во вмещающих горных породах [34]. Особенностью НСО является наличие гранитных плит с высоким содержанием природного урана, который при распаде выделяет ^{222}Rn, обусловленный наличием рассеянных радиоактивных минералов. В связи с этим одним из важных критериев для оценки техногенно нарушенных земель в НСО является параметр, показывающий содержание радионуклидов в воде [34].

На основе собранных данных по предложенным критериям сформирована матрица нарушенных земель с целью последующего ранжирования их по уровням влияния. Данная матрица включает объекты и уровни воздействия на ОС и состояние земельных участков. Она позволяет рассматривать нарушенные территории всесторонне, выступая в качестве инструмента стратегического анализа для дальнейшего планирования социально-экономического развития региона.

В качестве объектов матрицы оценки рассмотрим карьеры, добывающие различные виды твердых полезных ископаемых открытым способом и расположенные в разных районах НСО. К примеру, карьеры «Кировский» и «Борок» расположены соответственно в Новосибирском и Октябрьском районах Новосибирска, а разрез «Горловский» и месторождение рассыпного золота на р. Кинтереп – в Искитимском и Маслянинском районах области соответственно (рис.4). Часть рассматриваемых объектов находится в черте города, что оказывает существенное влияние не только на компоненты ОС, но и на население. Основными видами воздействия при добыче различных типов твердых полезных ископаемых являются отчуждение земель различной категории, выбросы вредных веществ при добыче, дроблении и транспортировке, шум, нарушение экосистем рек и водоемов, изменение ландшафта, пыление в процессе ведения горных работ и др.

В ходе анализа были выявлены дополнительные факторы, оказывающие специфическое негативное воздействие на ОС. Например, основным полезным ископаемым, добываемым в карьере «Борок» (рис.4, *а*), является роговик, из которого получают щебень. В связи с этим основное воздействие на ОС связано с выбросами вредных веществ при дроблении, а также с влиянием на водные ресурсы, а именно с изменением гидрологического режима, поскольку карьер находится в старом русле р. Иня. На р. Кинтереп (рис.4, *в*) добывают россыпное золото гидромеханизированным способом, при этом основным воздействием является существенное изменение ландшафта по

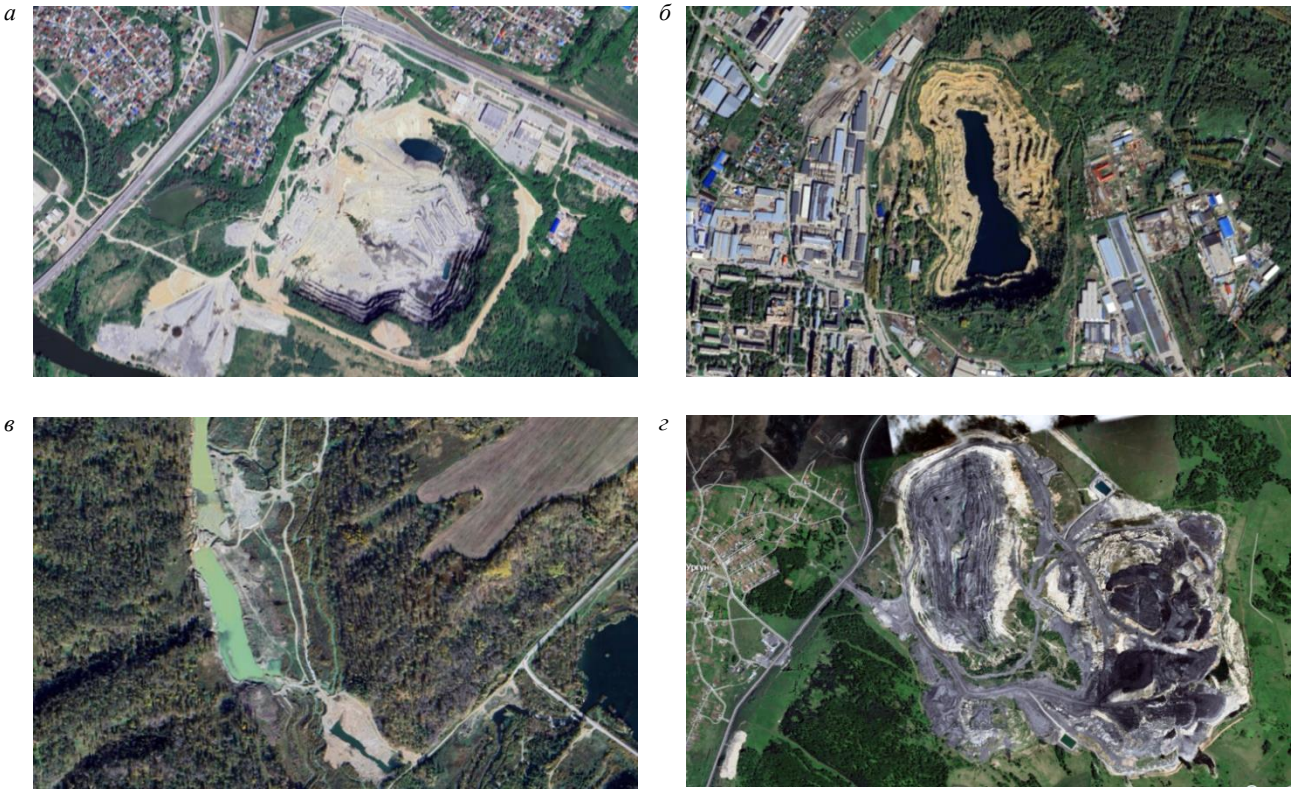


Рис.4. Техногенные объекты, нарушенные горными работами:
а – карьер «Борок»; *б* – карьер «Кировский»; *в* – р. Кинтереп; *г* – разрез «Горловский»

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

© А.В.Резник, Н.А.Немова, Д.А.Новиков, Е.Ю.Зарубина, В.Л.Гаврилов, А.А.Колесников, Н.С.Косарев, 2026

обоим берегам реки. Отдельно стоит отметить разрез по добыче угля (рис.4, *г*), основным негативным фактором которого является угольная пыль, способная мигрировать на очень большие расстояния (см. рис.2).

Проведенный анализ воздействия каждого из отобранных объектов выявил их существенные различия как по типу негативного влияния, так и по интенсивности. Для того чтобы перейти от описательной характеристики к сравнительной оценке и последующему ранжированию, указанные объекты были сведены в матрицу оценки нарушенных горными работами земельных участков (табл.3).

Таблица 3

Матрица оценки техногенно нарушенных земель НСО из перечня[6] [34]

Критерии оценивания	Перечень техногенно нарушенных земель, согласно ДЗЗ				Карьер «Кировский» (песок)	Разрез «Горловский» (уголь)	Река Кинтерей (золото)	Карьер «Борок» (камень строительный)
Уровень техногенной нарушенности территории (количественная оценка)	ТН < 0,5 %		Условно техногенно ненарушенные					
	0,5 % < ТН < 1 %		Слабо техногенно нарушенные					
	1 % < ТН < 3 %		Средне техногенно нарушенные					
	3 % < ТН < 10 %		Сильно техногенно нарушенные					
	10 % < ТН		Чрезвычайно техногенно нарушенные					
Содержание опасных и особо опасных элементов в ОС (определение площади зоны превышения ПДК)	Лабораторные исследования на содержание ПДК опасных и особо опасных элементов компонентов ОС	Суммарный показатель загрязнения почв комплексом металлов	$Z_ф$ < 16	Допустимая				
			16 < $Z_ф$ < 32	Умеренно опасная				
			32 < $Z_ф$ < 128	Опасная				
			$Z_ф$ > 128	Чрезвычайно опасная				
		Содержание ЗВ в воде	Превышает ПДК по фторидам					
			Не превышает ПДК по фторидам					
		Содержание ЗВ в воздухе	Превышает ПДК					
			Не превышает ПДК					
Содержание радионуклидов в воде (Rn)	Суммарная объемная активность радионуклидов		Превышает 1,0 Бк/м^3					
			Не превышает 1,0 Бк/м^3					
	Общая альфа-активность		Превышает 0,2 Бк/кг					
			Не превышает 0,2 Бк/кг					
	Общая бета-активность		Превышает 1,0 Бк/кг					
			Не превышает 1,0 Бк/кг					
Радиоактивность горных пород (U, Ra, Th, K)	Показатель эффективной удельной активности природных радионуклидов		Превышает 370 Бк/кг					
			Не превышает 370 Бк/кг					
Степень населенности (плотность населения)	До 10 чел./км^2			Низкая				
	10-100 чел./км^2			Средняя				
	Свыше 1000 чел./км^2			Высокая				
Комплексный показатель антропогенной нагрузки водоемов и водотоков, расположенных рядом с предприятиями	ПАН[6] ≤ 4,2 усл.м^3/м^3		Очень чистая	Низкая				
	4,2 ≤ ПАН[6] ≤ 10,8 усл.м^3/м^3		Чистая					
	10,8 ≤ ПАН[6] ≤ 24 усл.м^3/м^3		Умеренно загрязненная	Средняя				
	24 ≤ ПАН[6] ≤ 70 усл.м^3/м^3		Загрязненная	Высокая				
	70 ≤ ПАН[6] ≤ 135 усл.м^3/м^3		Грязная					
Категории и угодья земельных ресурсов	Земли сельхозназначения							
	Земли промышленности							
	Земли особо охраняемых территорий и объектов							
	Земли лесного фонда							
	Земли водного фонда							
Наличие территорий с прошлым экологическим ущербом	Имеется							
	Не имеется							
Наличие территорий с особым статусом	Имеется							
	Не имеется							
Особенности природно-климатических условий	Имеются							
	Не имеются							
Вид антропогенного воздействия, приведшего к техногенной нарушенности земли	Добыча полезных ископаемых							
	Производственно-промышленные объединения							
	Золоотвалы ТЭЦ							
	Свалки ТБО							

[6] Ежегодник. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2022 году. Обнинск: Тайфун, 2023. 139 с.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

Анализ матрицы, представленной в табл.3, позволяет сделать промежуточный вывод о неоднородности техногенного воздействия горно-добывающих объектов на территории НСО. Оценка нарушенных земель по предложенным критериям (уровень влияния на ОС, категория земель, тип воздействия) подтверждает необходимость разработки дифференцированных программ рекультивации. Полученные данные могут служить основой для стратегического планирования социально-экономического развития региона, позволяя определить приоритетные направления для восстановления земель и минимизации экологических рисков.

Заключение

В результате анализа литературных данных и нормативных документов была показана необходимость регулярного комплексного мониторинга техногенных объектов, проведение лабораторных и полевых исследований с целью определения уровня экологической безопасности. Регулярный мониторинг компонентов природной среды позволит оценить экологический ущерб от нарушения и загрязнения земель, конечной целью которого является установление размера затрат, необходимых для предупреждения и устранения последствий негативных явлений, а также выбора направления последующего восстановления техногенно нарушенных земель.

Существующие методики проведения оценки техногенного влияния на ОС не полностью учитывают специфику региона, а необходимые исследования проводятся перед началом ведения горных работ, что не позволяет в полной мере учитывать возможные экологические риски. Для своевременного получения качественно-количественных данных с целью оценки влияния техногенно нарушенных земель на природную среду необходимо увеличивать количество стационарных постов для постоянного мониторинга в режиме реального времени. Использование данных дистанционного зондирования позволит наглядно оценить, на какие расстояния могут мигрировать взвешенные частицы.

Предложенный авторами новый подход, основу которого составляют геоинформационная база данных техногенно нарушенных земель и сформированная матрица для оценки ряда антропогенных объектов, включающая такие критерии, как вид антропогенного воздействия, содержание опасных и особо опасных элементов в ОС, радиоактивность горных пород, плотность населения и др., позволил комплексно оценить нарушенные горными работами территории НСО с целью последующего ранжирования их по уровням экологической нагрузки и выбора оптимальных направлений дальнейшего их использования.

Комплексная оценка нарушенных горными работами земель необходима для разработки экспертной системы, основанной на перечне предложенных критериев, и может быть расширена и объединена по показателям, сформированным в разных шкалах. Однако для реализации предложенной системы необходима полная, качественная и достоверная информация о горных объектах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Hsai-Yang Fang, Chaney R.C.* Introduction to Environmental Geotechnology. CRC Press, 2016. 677 p. DOI: 10.1201/9781315374734

2. *Prasad G., Ramesh M.V.* Spatio-Temporal Analysis of Land Use/Land Cover Changes in an Ecologically Fragile Area – Alappuzha District, Southern Kerala, India // Natural Resources Research. 2019. Vol. 28. Iss. 1 (Suppl.). P. 31-42. DOI: 10.1007/s11053-018-9419-y

3. *Moomen A.-W., Bertolotto M., Lacroix P., Jensen D.* Inadequate adaptation of geospatial information for sustainable mining towards agenda 2030 sustainable development goals // Journal of Cleaner Production. 2019. Vol. 238. № 117954. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.117954

4. *Michieka N.M.* Energy and the Environment: The Relationship Between Coal Production and the Environment in China // Natural Resources Research. 2014. Vol. 23. Iss. 2. P. 285-298. DOI: 10.1007/s11053-013-9223-7

5. *Aman Fang, Menghe Bao, Weiqiang Chen, Jihong Dong.* Assessment of Surface Ecological Quality of Grassland Mining Area and Identification of Its Impact Range // Natural Resources Research. 2021. Vol. 30. Iss. 5. P. 3819-3837. DOI: 10.1007/s11053-021-09868-8

6. *Rikhtegar N., Mansouri N., Oroumieh A.A. et al.* Environmental impact assessment based on group decision-making methods in mining projects // Economic Research-Ekonomska Istraživanja. 2014. Vol. 27. Iss. 1. P. 378-392. DOI: 10.1080/1331677X.2014.966971

7. *Еделев А.В., Юркевич Н.В., Гуреев В.Н., Мазов Н.А.* Проблемы рекультивации складированных отходов горнорудной промышленности в Российской Федерации // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2022. № 6. С. 168-186. DOI: 10.15372/FTPRPI20220618

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

8. *Остапенко С.П., Месяц С.П.* Изучение по спутниковым данным динамики восстановления природных экосистем, нарушенных при освоении георесурсов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2022. № 5. С. 155-166. DOI: 10.15372/FTPRPI20220515

9. *Голик В.И., Разоренов Ю.И., Лукьянов В.Г.* Эколого-экономические аспекты ресурсосбережения при разработке месторождений полезных ископаемых // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 6. С. 18-27.

10. *Ramazanova E., Seung Hwan Lee, Woojin Lee.* Stochastic risk assessment of urban soils contaminated by heavy metals in Kazakhstan // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 750. № 141535. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.141535

11. *Hao Bing-yuan, Kang Li-Xun.* Mine Land Reclamation and Eco-Reconstruction in Shanxi Province I: Mine Land Reclamation Model // The Scientific World Journal. 2014. Vol. 2014. № 483862. DOI: 10.1155/2014/483862

12. *Янин Е.П.* Особенности воздействия на окружающую среду разработки угольных месторождений // Экологическая экспертиза. 2019. № 6. С. 2-59.

13. *Мурзин М.А.* Горные предприятия как источник экологических рисков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 2. С. 374-383.

14. *Казанин О.И., Мустафин М.Г., Мешков А.А.* Анализ причин провалов земной поверхности при отработке угольного пласта Байкаимский на шахте «Красноярская» ОАО «СУЭК-Кузбасс» // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 4. С. 257-261.

15. *Лобанова Т.В., Трофимова О.Л., Ижболдина С.В., Лобанов С.А.* Геомеханическое обоснование ликвидации провала на участке «Новый Шерегеш» Шерегешевского месторождения // Наукоемкие технологии разработки и использования минеральных ресурсов. 2023. № 9. С. 70-77.

16. *Писарев В.С., Канушин В.Ф., Еременко А.А.* Определение зоны возможного оседания земной поверхности с использованием методов гравиразведки при отработке слепых рудных тел // Вестник СГУГиТ. 2024. Т. 29. № 3. С. 32-42.

17. *Прохоров Д.О., Стась Г.В., Болгова А.И., Овсянников М.С.* Ранжирование техногенных минеральных образований по степени влияния на окружающие земли // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2022. Вып. 1. С. 113-124.

18. *Ивлиева М.С.* Оценка техногенного воздействия при разработке карьера с помощью безмерных экологических индексов // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2023. Вып. 3. С. 547-550.

19. *Sun Qi, Bai Zhongke, Cao Yingui et al.* Ecological risk assessment of land destruction in large open-pit mine // Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. 2015. Vol. 31. № 17. P. 278-288. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.17.037

20. *Питулько В.М., Кулибаба В.В.* Экологический риск-анализ исходной фондовой информации по типам объектов накопленного ущерба на региональном и муниципальном уровне // Региональная экология. 2019. № 1 (55). С. 90-107. DOI: 10.30694/1026-5600-2019-1-90-107

21. *Мельников Н.Н., Месяц С.П., Волкова Е.Ю.* Методологический подход к решению проблемы восстановления экосистемных функций техногенных ландшафтов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2014. № 6. С. 190-198.

22. *Алави И.И., Ибрахимабади А., Хамидиан Х.* Выбор посадочного материала для восстановления земель после окончания эксплуатации карьера // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2022. № 1. С. 170-181. DOI: 10.15372/FTPRPI20220118

23. *Гордеев А.В.* Особенности кадастровой оценки земель под промышленными объектами с учетом их техногенного загрязнения // Вестник СГУГиТ. 2016. Вып. 4 (36). С. 225-236.

24. *Fernandez Milan B., Kapfer D., Creutzig F.* A systematic framework of location value taxes reveals dismal policy design in most European countries // Land Use Policy. 2016. Vol. 51. P. 335-349. DOI: 10.1016/j.landusepol.2015.11.022

25. *Мурзин М.А.* Горные предприятия как источник экологических рисков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2016. № 2. С. 374-383.

26. *Тикунов В.С., Черешня О.Ю.* Напряженность экологической ситуации в регионах России: методика расчета и визуализации // География и природные ресурсы. 2016. № 2. С. 166-174.

27. *Пронькин И.С.* Экологическое планирование как способ рекультивации выработанных глиняных карьеров // Вестник Московского государственного областного университета. Серия: Естественные науки. 2017. № 1. С. 77-82. DOI: 10.18384/2310-7189-2017-1-77-82

28. *Тронин А.А.* Ранжирование регионов России по уровню экологической безопасности // Региональная экология. 2019. № 1 (55). С. 5-12. DOI: 10.30694/1026-5600-2019-1-5-12

29. *Будько О.Н., Селюжицкая Т.В.* Ранжирование регионов Беларуси на основе разработки системы эколого-экономических показателей // Экономика. Управление. Инновации. 2019. № 1 (5). С. 11-16.

30. *Железнов Я.А.* Зонирование территории Кемеровской области по уровню техногенной нагрузки с учетом экологического фактора // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Науки о Земле». 2021. Т. 35. С. 19-32. DOI: 10.26516/2073-3402.2021.35.19

31. *Косарев Н.С., Колесников А.А., Резник А.В. и др.* Использование геопространственных данных для оценки состояния техногенно нарушенных земель // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. 2023. № 6. С. 190-197. DOI: 10.15372/FTPRPI20230617

32. *Трубецкой К.Н., Галченко Ю.П.* Экологические аспекты технологической парадигмы минерально-сырьевого комплекса при устойчивом развитии природы и общества // Известия ТулГУ. Науки о Земле. 2022. Вып. 1. С. 18-38. DOI: 10.46689/2218-5194-2022-1-1-18-38

33. *Xiaofei Sun, Huaiyong Shao, Xiaoyu Xiang et al.* A Coupling Method for Eco-Geological Environmental Safety Assessment in Mining Areas Using PCA and Catastrophe Theory // Natural Resources Research. 2020. Vol. 29. Iss. 6. P. 4133-4148. DOI: 10.1007/s11053-020-09682-8

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0

34. *Деркачев А.С., Максимова А.А., Новиков Д.А. и др.* Природа радиоактивности дренажных вод карьеров Новосибирской области // Горные науки и технологии. 2022. Т. 7. № 3. С. 216-230. DOI: 10.17073/2500-0632-2022-3-216-230

35. *Немова Н.А., Резник А.В.* О необходимости ранжирования техногенно нарушенных земель по уровню влияния на окружающую среду // Инновационные перспективы Донбасса: Материалы 10-й Международной научно-практической конференции, 28-30 мая 2024, Донецк. В 6 томах. Т. 6. Перспективные технологии в геологоразведочной и нефтегазовой отраслях, геодезии и маркшейдерии. Донецк: Донецкий национальный технический университет, 2024. С. 14-23.

36. *Резник А.В., Семьянова Д.В., Медведева К.Е.* Ранжирование техногенно нарушенных земель на основе оценки их состояния // Рекультивация нарушенных земель: технологии, эффективность и биоразнообразие. Сборник научных трудов всероссийской научно-практической конференции, 1-3 октября 2024, Новокузнецк, Россия. Новокузнецк: Сибирский государственный индустриальный университет, 2024. С. 258-261.

37. *Мешков Г.Б., Петренко И.Е., Губанов Д.А.* Итоги работы угольной промышленности России за 2023 год // Уголь. 2024. № 3 (1178). С. 18-29. DOI: 10.18796/0041-5790-2024-3-18-29

38. *Sahoo S., Dhar A., Debsarkar A., Kar A.* Future Scenarios of Environmental Vulnerability Mapping Using Grey Analytic Hierarchy Process // Natural Resources Research. 2019. Vol. 28. Iss. 4. P. 1461-1483. DOI: 10.1007/s11053-019-09462-z

39. *Changxun Yu, Berger T., Drake H. et al.* Geochemical controls on dispersion of U and Th in Quaternary deposits, stream water, and aquatic plants in an area with a granite pluton // Science of The Total Environment. 2019. Vol. 663. P. 16-28. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.293

40. *El Mezayen A.M., Ibrahim E.M., El-Feky M.G. et al.* Physico-chemical conditions controlling the radionuclides mobilisation in various granitic environments // International Journal of Environmental Analytical Chemistry. 2022. Vol. 102. Iss. 4. P. 970-986. DOI: 10.1080/03067319.2020.1729758

***Авторы*: Александр Владиславович Резник,** *канд. техн. наук, старший научный сотрудник* (*Институт горного дела им. Н.А.Чинакала СО РАН, Новосибирск, Россия*), http://orcid.org/0000-0002-0077-3404, **Наталья Анатольевна Немова,** *канд. техн. наук, старший научный сотрудник* (*Институт горного дела им. Н.А.Чинакала СО РАН, Новосибирск, Россия*), *nemova-nataly@mail.ru*, http://orcid.org/0000-0002-5050-611X, **Дмитрий Анатольевич Новиков,** *д-р геол.-минерал. наук, главный научный сотрудник* (*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А.Трофимука СО РАН, Новосибирск, Россия*), https://orcid.org/0000-0001-9016-3281, **Евгения Юрьевна Зарубина,** *канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник* (*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Барнаул, Россия*), https://orcid.org/0000-0002-0006-3103, **Владимир Леонидович Гаврилов,** *канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник* (*Институт горного дела им. Н.А.Чинакала СО РАН, Новосибирск, Россия*), https://orcid.org/0000-0002-2401-455X, **Алексей Александрович Колесников,** *канд. техн. наук, доцент* (*Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, Россия*), https://orcid.org/0000-0002-4761-4072, **Николай Сергеевич Косарев,** *канд. техн. наук, старший научный сотрудник* (*Институт горного дела им. Н.А.Чинакала СО РАН, Новосибирск, Россия*), *доцент* (*Сибирский государственный университет геосистем и технологий, Новосибирск, Россия*), https://orcid.org/0000-0003-1806-3651.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья опубликована в открытом доступе по лицензии CC BY 4.0