

УДК 622.882+622.883 (470+571)

О НЕОБХОДИМОСТИ КОМПЛЕКСНОЙ ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ГОРНЫМИ РАБОТАМИ ЗЕМЕЛЬ

Гаврилов Владимир Леонидович¹,
gvlugorsk@mail.ru

Немова Наталья Анатольевна^{1,2},
nemova-nataly@mail.ru

Резник Александр Владиславович¹,
a-reznik@mail.ru

Косарев Николай Сергеевич^{1,2},
kosarevnsk@yandex.ru

Колесников Алексей Александрович^{1,2},
alexeykw@yandex.ru

¹ Институт горного дела им Н.А. Чинакала СО РАН,
Россия, 630091, г. Новосибирск, Красный пр., 54.

² Сибирский государственный университет геосистем и технологий,
Россия, 630108, г. Новосибирск, ул. Плехотного, 10.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью систематизировать сведения о способах и порядке получения данных для комплексной геоэкологической оценки техногенно нарушенных территорий исходя из первоначального состояния природных и измененных компонентов окружающей среды с происходящими в них процессами и явлениями. Это позволит получить сведения о территориях, которые необходимы для разработки способов и методов последующей рекультивации техногенно нарушенных земель горными работами.

Цель: анализ методических подходов, позволяющих с использованием различных методов и приёмов генерировать необходимый и достаточный объем первичной и синтезируемой на ее основе требуемой информации, переходить от общей к комплексной и детальной геоэкологической оценке нарушенных и/или планируемых к нарушению горными работами территорий и участков.

Объекты: техногенно нарушенные горными работами территории России в добывающих регионах.

Методы. Был выполнен предварительный отбор материалов, опубликованных в различных изданиях, начиная с 2000 г. Использовались российские (E-library, ВИНИТИ РАН) и международные (Scopus, GeoRef) информационные системы, сайты профильных и общенаучных журналов, фонды библиотек, материалы авторов. При формировании запросов применялись в различных комбинациях следующие основные термины и словосочетания: «геоэкологическая оценка», «методы оценки», «техногенно нарушенные территории», «дистанционное зондирование», «состояние окружающей среды». Из более 1000 предварительно выделенных публикаций, преимущественно отечественных, посвященных различным аспектам сбора и получения информации по оценке состояния окружающей среды в горнодобывающих районах, были отобраны более 150. Публикации анализировались с учетом максимально полного представления по регионам и изданиям. Дополнительно использовались материалы, опубликованные федеральными и региональными органами управления и контроля. Наиболее важные и представительные вошли в обзор.

Результаты. Рассмотрены существующие и перспективные методы сбора информации и подготовки к дальнейшей обработке различных видов данных, используемых при геоэкологической оценке техногенно нарушенных горными работами территорий. Обозначены экологические, экономические и социальные проблемы, вызываемые влиянием горных работ, решение которых требует генерации различных видов информации. Сформулирована роль измеряемых в различных шкалах, достоверных и представительных первичных данных для корректной оценки их воздействия на основные компоненты окружающей среды. Рассмотрено влияние условий отработки угольных и рудных месторождений на экологическую обстановку территорий. Показана необходимость применения комплекса методов сбора и обработки информации, подбираемых с учётом особенностей каждой территории освоения и специфики разработки месторождений различных полезных ископаемых.

Ключевые слова:

Окружающая среда, месторождения, полезные ископаемые, горные работы, техногенно нарушенные земли, информация, методы сбора, вскрышиная порода, отходы.

Введение

Удовлетворение запросов постоянно увеличивающегося населения планеты предполагает рост объемов добычи и потребления различных видов полезных ископаемых. Несмотря на ужесточение требований к рациональному, технологически и экономически эф-

фективному, экологически безопасному природо- и недропользованию, количество получаемых отходов и выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду (ОС) приводят к появлению серьезных признаков наступающего, как минимум регионального экологического кризиса [1, 2].

На начало 2022 г., по данным Росприроднадзора, площадь нарушенных земель в стране составила 1091,9 тыс. га. Значительная их часть, как и в целом за последние 10 лет, приходилась на земли промышленности. По данным Росстат по состоянию на 2022 г. доля выхлопов, производимых в процессе ведения горных работ по добыче полезных ископаемых, составляла более 42 % от общего объема выбросов загрязняющих атмосферу веществ от стационарных источников.

Имеющиеся темпы и качество восстановления техногенно нарушенных земель были и остаются низкими: по состоянию на 2022 г. в стране рекультивировано всего 139,8 тыс. га [1]. Понимая необходимость преодоления такой неблагоприятной ситуации, государство предпринимает определённые меры. Например, Энергетической стратегией РФ на период до 2035 г. для уменьшения отрицательного воздействия предприятий топливно-энергетического комплекса на ОС декларировано увеличение доли: площади рекультивируемых земель к площади изымаемых для нужд производства с 61,5 % в 2018 г. до 80 % к 2035 г.; утилизированных и обезвреженных отходов в общем объеме образованных отходов, соответственно, с 52,6 до 85 %, в том числе золошлаков с 8,4 до 50 %.

При ведении горных работ экологическую угрозу может представлять вновь образуемая техногенная геосреда, включающая: земли, нарушенные горными предприятиями (карьеры, разрезы, отвалы пород, промплощадки, склады сырья и продуктов обогащения); земли для складирования отходов добычи полезных ископаемых, их обогащения и утилизации (склады, шламо- и хвостохранилища, золоотвалы электростанций и котельных); территории, загрязнённые выносами опасных и потенциально опасных веществ с пылью, аэрозолями, растворами; заброшенные объекты хозяйственной деятельности (населенные пункты, не рекультивированные по различным причинам объекты недропользования, промышленные предприятия, складские площадки, места стихийного сбора отходов и мусора).

При отработке месторождений большие площади земель, имеющих различное целевое назначение, ценность и пригодность к восстановлению [3], выводятся из альтернативного оборота на длительные сроки, часть из них даже после технической и биологической рекультивации теряет первоначальные свойства или деградирует полностью [4]. Ведение горных работ, особенно открытых, оказывает негативное влияние на все компоненты ОС. Согласно действующим нормативным документам техногенно нарушенные земли, остающиеся после отработки месторождений горнодобывающими предприятиями, должны быть приведены в экологически безопасное состояние с рекультивацией, ликвидацией ущерба, накопленного за предыдущие периоды, нейтрализацией последствий поступления в экосистемы токсичных веществ, химических, радиоактивных и иных отходов [5–7]. Для этого на землях, техногенно изменённых в старопромышленных районах и в районах с текущей и пер-

спективной добычей, необходимо проведение мероприятий по организации прогноза и мониторинга их состояния [8], разработке комплекса критериев, способствующих определению допустимого уровня воздействия на ОС для разных этапов эксплуатации месторождений в разных регионах и для различных видов полезных ископаемых.

Изучение степени воздействия как отдельных источников нарушения и загрязнения, так и всего их комплекса на компоненты ОС является важной научно-практической задачей. Разработка нормативных документов, программ и методов в области взаимодействия человека с ОС и их успешная последующая реализация должны способствовать тому, что одновременно с планами увеличения добычи будут решены и вопросы восстановления и использования нарушенных ландшафтов, сохранения природного разнообразия. Использование максимально полных при текущем уровне развития науки и техники оценок для принятия адаптируемых под условия конкретных месторождений и территорий решений предопределяет экологически сбалансированное развитие добывающих отраслей с исследованием и всесторонней оценкой воздействия горных проектов на компоненты ОС, включая применение систем поддержки принятия решений и определение экологических рисков [5, 9–14].

Для изучения влияния негативных факторов, характерных при освоении месторождений для горнодобывающих районов (деградация земель, развитие карста, суффозии, эрозии, дефляции, загрязнение подземных и поверхностных вод, почвенного и растительного покрова, атмосферного воздуха, нарушение горного массива и др.) в качестве входных параметров мониторинга и управления следует использовать критерии, позволяющие определить уровень техногенной нагрузки. Выбор комплекса методов оценки нарушенной территории зависит от особенностей региона, на территории которого находятся горнодобывающие предприятия, класса опасности продукции и отходов, производимой ими. Оцениваются размеры территорий, подвергающихся техногенному воздействию; нормируются параметры санитарно-защитных зон; определяются границы влияния, загрязнения и превышения предельно допустимых концентраций (ПДК); прогнозируется ожидаемое снижение биологической или экономической продуктивности земель под действием естественных и антропогенных факторов.

Полученные данные позволяют переходить к разработке экологически ориентированных для конкретных условий техногенно нарушенной среды рекомендаций с ранжированием планируемых к использованию мероприятий по эффективности и очередности. Как результат – определение направления устойчивого развития территорий с внедрением наилучших доступных технологий, минимизирующих негативное влияние на ОС горных работ, с возвратом земель в квази первоначальное состояние.

На сегодняшний день имеется большое количество способов и методов получения достоверных и

представительных первичных данных, измеряемых в различных шкалах, для оценки нарушенных территорий с различным уровнем точности. Количество, качество, надежность и представительность информации варьирует от региона к региону. В старопромышленных областях (Урал, Донбасс) наблюдения могут вестись на протяжении ста и более лет, в других районах (Кузбасс, КАТЭК, Кольский полуостров) – в течение десятилетий. Во вновь осваиваемых регионах (Якутия, Крайний Север, Полярный Урал) такие данные могут иметь временной промежуток в несколько лет или отсутствовать. В такой ситуации в каждом регионе целесообразно применение индивидуально настраиваемого комплекса критериев и методов получения исходной информации, достаточной для подготовки и принятия рациональных решений, корректируемых при реализации различных этапов освоения месторождений. Решение рассматриваемого вопроса в рамках межотраслевого и межрегионального взаимодействия позволяет создать надежную информационную, технологическую и научную основу для прогнозирования и обеспечения устойчивого экологического и социально-экономического развития горнодобывающих регионов с максимально возможной реабилитацией геосреды.

Изложенное выше определяет актуальность систематизации сведений о способах и порядке получения данных для всесторонней геоэкологической оценки техногенно нарушенных территорий, исходя из первоначального состояния природных и измененных компонентов ОС с происходящими в них процессами и явлениями. Целью работы является анализ подходов, позволяющих с использованием различных методов и приёмов генерировать необходимый и достаточный объем первичной и синтезируемой на ее основе требуемой информации, переходить от общей к комплексной и детальной геоэкологической оценке нарушенных и/или планируемых к нарушению горными работами территорий и участков.

Материалы и методы исследования

Для максимально полного учёта предлагаемых различными авторами способов и методов получения и обработки разнообразных первичных и производных данных, которые используются для различных геоэкологических оценок нарушенных территорий, целесообразно применять подход, включающий несколько этапов проведения комплексной оценки техногенно нарушенных территорий (рис. 1). Предлагаемый алгоритм использования широкого спектра достоверной информации о измененных территориях (натурные наблюдения, инструментальные и лабораторные исследования, данные инженерно-геологических и экологических изысканий, открытые информационные источники, нормативные документы и др.) позволяет формировать и использовать индивидуально настраиваемый под каждый объект комплекс методов сбора информации, оценки территорий и синтеза рекомендаций с набором мероприятий, ориентированных на непрерывное совершенствование и

эффективность недропользования с минимальными экологическими рисками.



Рис. 1. Алгоритм комплексной геоэкологической оценки техногенно-нарушенных территорий

Fig. 1. Algorithm for a comprehensive geoeological assessment of technogenically disturbed territories

При подготовке статьи был выполнен предварительный отбор материалов, опубликованных в различных изданиях, начиная с 2000 г. Использовались российские (E-library, ВИНТИ РАН) и международные (Scopus, GeoRef) информационные системы, сайты профильных и общенаучных журналов, фонды библиотек, материалы авторов. При формировании запросов применялись в различных комбинациях следующие основные термины и словосочетания: «геоэкологическая оценка», «методы оценки», «техногенно нарушенные территории», «дистанционное зондирование», «состояние окружающей среды». Из более 1000 предварительно выделенных публикаций, преимущественно отечественных, посвященных различным аспектам сбора и получения информации по оценке состояния ОС в горнодобывающих районах, были отобраны более 150.

Публикации анализировались с учетом максимально полного представления по регионам и изданиям. Наиболее важные вошли в обзор. Дополнительно использовались материалы, опубликованные Комитетами по охране ОС, земельным ресурсам и землеустройству, Госкомстатом России и другими органами управления и контроля.

Представленные материалы дополняют опубликованные в последнее время в научных журналах сведения о различных аспектах экологически ориентированного недропользования, акцентируя внимание на необходимости рационального комплексирования и использования всех видов первичных данных, доступных для получения при текущем уровне научно-технического развития [5, 9, 15–20].

Влияние условий отработки угольных и рудных месторождений на экологическую обстановку территорий

Выше отмечалось, что эффективность комплексного подхода к оценке техногенно нарушенных территорий в добывающих регионах зависит от наличия, актуальности, полноты, достоверности и представительности информации о месторождении с прилегающей территорией, способах его освоения. Большое многообразие, сложность и неопределенность условий освоения залежей и связанного с этим техногенного нарушения геосреды и загрязнения ОС ведёт к тому, что на разных объектах недропользования планируемые или используемые подходы при выполнении данных работ могут отличаться друг от друга.

Рассмотрим ряд примеров сбора и использования информации для оценки техногенно нарушенных территорий при разработке угольных и рудных залежей. Отметим также целесообразность использования для этого наземной и космической съемки, геоинформационных систем (ГИС), горно-геологической информационной системы (ГГИС) и веб-технологий, интегрирующих разнородные данные для роста информативности мониторинга горнотехнических объектов, оперативности анализа их состояния, создания баз данных (БД) с информацией для: разработки экологически безопасных технологий освоения территорий, обнаружения видов и причин нарушения земель; классификации видов нарушений; создания тестовых участков нарушенных земель; прослеживания динамики происходящих изменений за определенный промежуток времени и построения карт.

Разработка угольных месторождений. Основным источником поступления в почву токсичных веществ от промышленности является осаждение газопылевых выбросов и сброс сточных вод [21–36], а доминирующими выбросами загрязняющих веществ в атмосферу от подземной разработки являются газообразные вещества (в основном метан) и пылеобразные выбросы от открытой разработки [21, 22]. Вследствие этого, например, на Сагарлыкском породном отвале Бачатского разреза в Кузбассе, основу субстрата которого составляют вскрышные и вмещающие породы, за 20 лет почвообразование не восстановилось и не сформировался растительный покров. Территории такого типа могут практически навсегда сохранять признаки техногенной пустыни, функционирующей в режиме эоклина, как территории, резко отличающейся от естественных природных ландшафтов. На отвалах Кедровского разреза выполнена типизация нарушенных земель по степени их пригодности к рекультивации с выделением: полностью, частично, медленно и практически не восстанавливающихся территорий. Сильное влияние горного производства на атмосферу проявляется в виде выноса пыли, источниками которой являются буровзрывные работы, забои, технологические дороги, горнотранспортное оборудование, угольные склады, узлы пересыпки угля и горной массы, породные отвалы, котельные. Особую опасность представляет пыль, содержащая токсичные элементы.

Основными загрязнителями, поступающими в реки от Райчихинского разреза (Амурская область), являются, к примеру, взвешенные вещества, нефтепродукты, фенолы, соединения азота, железа, хрома, бария, алюминия, марганца, свинца, ванадия, стронция, меди, цинка. На нарушенных территориях под воздействием дождевых и талых вод происходит процесс естественного выщелачивания металлов с образованием загрязненных стоков. Гидросфера дополнительно загрязняется в результате смыва осевшей пыли, вынесенной из горных пород. Установлено, что на степень загрязнения территорий напрямую влияет их удаленность от источников загрязнения. Оценка воздействия Кангаласского разреза (Якутия) на изменение основных компонентов ландшафтов показала, что в зависимости от расстояния до источников выбросов увеличивается содержание взвешенных веществ, изменяется минеральный состав воды с превышением предельных концентраций по ряду микроэлементов. Зона влияния предприятия зачастую увеличивается за счет прилегающих территорий, используемых им для своих нужд. [27]. Так, в Тульской области техногенные территории, представленные терриконами и отвалами, оказывают также негативное влияние на компоненты ОС. Почвенный анализ по водородному показателю показал, что территории вблизи терриконов относятся к сильнокислым и среднекислым, кислотная фильтрация просачивается в землю, воздействуя на водные ресурсы, а для предотвращения её негативного влияния необходимо проводить мероприятия, нейтрализующие токсичность сульфидосодержащих пород [32]. В Львовско-Вольнском угольном бассейне более 70 % отходов, находящихся в терриконах, составляют глинистые аргиллиты, способные задерживать тяжелые металлы, а в сульфидной сере содержатся ртуть и мышьяк. Большое содержание серы в породных отвалах способствует формированию ореолов кислых вод у терриконов, которые, кроме химического загрязнения грунтов, загрязняют и атмосферный воздух.

Золоотвалы тепловых угольных электростанций, являясь частью современной городской среды, занимают определенное место среди различных форм техногенно нарушенных ландшафтов. Общепринятые в почвоведении методы исследования золоотвалов в Новосибирской области позволили сделать вывод о целесообразности проведения мероприятий по рекультивации, т. к. агрохимические свойства почв являются неблагоприятными для самовосстановления нарушенной территории [33].

Компоненты ОС являются объектом дистанционного мониторинга и исследования, при которых можно отслеживать негативное воздействие горного производства на ОС, включающее определение элементного состава почв и загрязняющих веществ в атмосферном воздухе.

Разработка рудных месторождений. В отличие от негативного влияния на компоненты ОС горных работ при разработке угольных месторождений, заключающегося в образовании взвешенных частиц и осаждении газопылевых выбросов, воздействие на

ОС от рудных месторождений заключается в повышенной концентрации тяжелых токсичных металлов в почве и атмосфере, а также вынос этих веществ за пределы прилегающих территорий; в увеличении концентрации рассолов и высокоминерализованных вод в поверхностных водотоках. Например, на Далдынском кимберлитовом поле в Якутии геоэкологическая обстановка определяется повышенными концентрациями хрома, никеля, кобальта, титана, меди, ниобия, лития, бериллия в микроэлементном составе почв, донных отложениях и поверхностных водах; на промышленной площадке Удачинского ГОКа сформировано три полигона захоронения дренажных вод в многолетнемерзлые породы, где наибольшую опасность вызывает риск попадания высокоминерализованных вод в поверхностные водотоки. Фиксировать сброс рассолов в реку можно с использованием дистанционного зондирования, позволяющего отслеживать возможные попадания высокоминерализованных вод в поверхностные водотоки [33]. В Мурманской области из-за наличия в воздухе большого количества загрязняющих веществ погибают леса, а выбросы диоксида серы в районе Норильского промышленного центра приводят к выпадению кислотных дождей. Подобное негативное влияние горнодобывающих предприятий проявляется далеко за их пределами [35]. Аналогичные картины можно наблюдать и в других регионах страны (Приморский край, Урал, Якутия и др.). Оценка воздействия фтор перерабатывающего производства в Забайкалье подтвердила увеличение размеров загрязнения техногенным материалом прилегающих территорий. Отвалы тонкодисперсных отходов руд и вмещающих пород являются источниками загрязнения ОС тяжелыми металлами, которые мигрируют воздушными и водными путями с формированием локальных площадей с высокими концентрациями ряда химических соединений [36].

В старопромышленных добывающих районах, например, на Среднем Урале, техногенное воздействие имеет продолжительный и сложный характер, охватывающий все компоненты ОС. К наиболее существенным негативным последствиям изменения геоэкологической обстановки относятся: трансформация гидродинамических условий; активизация карстовых и оползневых процессов; подтопление, нарушение водного баланса, оседание земной поверхности; загрязнение вод; проявление геодинамических процессов; опустынивание территорий. Для адекватного управления этими процессами необходимо проведение геоинформационного мониторинга, включающего: оборудование наблюдательных пунктов; регулярные опробования; анализ и интерпретацию полученных результатов; оценку и выявление основных источников загрязнения; обоснование управленческих решений для снижения техногенной нагрузки [37]. Комплексный анализ компонентов геологической среды в районе Дегтярского месторождения на Урале показал, что по истечении 25-летнего периода пост-эксплуатации его территория представляет собой экологически опасную зону, находящуюся, к тому же,

в области питания источника питьевого водоснабжения Екатеринбурга. Территория участка нарушена горными работами, ландшафт классифицирован как опасный природно-техногенный объект [38].

Анализ оценки техногенно нарушенных территорий при отработке угольных и рудных месторождений полезных ископаемых показал, что влияние на ОС в целом является негативным, но параметры этого воздействия различны и поэтому необходимо применять различные методы и критерии оценивания. В такой ситуации использование комплексного методического подхода при оценке техногенно нарушенных территорий при отработке месторождений дает новые направления устойчивого экологически сбалансированного недропользования.

Способы получения исходных данных для геоэкологической оценки территорий

При оценке территорий учитываются социально-экономические, технологические и пространственные факторы исследуемого объекта. Следует отметить важность инженерно-геологических критериев оценки изучаемых объектов и методов прогнозирования последствий геодинамического взаимодействия природной и техногенной сред, детально исследуемых в рамках инженерной геологии. К социально-экономическим можно отнести факторы, которые основываются на взаимодействии общества с ОС и адаптации к изменяющимся внутренним и внешним воздействиям; к технологическим – факторы, учитывающие негативное влияние на ОС. Пространственные служат основой для устойчивого развития социально-экономической системы, позволяющей нормировать антропогенные нагрузки для поддержания нормального функционирования естественных экосистем.

Оценка территории, на которой расположено месторождение и где предусматривается ведение горных работ, предполагает определение её стоимости в соответствии с поставленной целью, являющейся основой для выбора методики оценки. Основными используемыми подходами являются: сравнительный, доходный и затратный. Сущность первого заключается в применении совокупности методов оценки, основанных на определении стоимости объекта путём сравнения изучаемого земельного участка с аналогом; затратный основывается на предположении, что рассматриваемый участок не может стоить больше, чем затраты на мероприятия по восстановлению, охране и защите от потенциальных негативных воздействий на аналогичный участок. Последний метод представляет собой оценку стоимости земельного участка, основанную на определении ожидаемых доходов от его коммерческого использования, когда стоимость участка зависит от величины ожидаемых будущих доходов, а рыночная стоимость определяется на уровне величины эффективного капиталовложения, обеспечивающего доходность, равную доходности данного объекта. Экологическая реабилитация территории существенно влияет на кадастровую и рыночную оценку земель, позволяет учитывать экологиче-

ские, социальные и другие аспекты при обосновании перспективных вариантов дальнейшего использования данной территории.

К критериям оценки, по которым определяется уровень техногенной нагрузки, относятся: коэффициент экологической стабильности, индекс сбалансированности, фактор стабилизации, соответствие технологической нагрузки экологической ёмкости ландшафта [39], степень фитотоксичности почв, экологические шкалы Л.Г. Раменского [40], нормализованный разностный вегетационный индекс NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) [16], немецкий экологический индекс DUX (Deutscher Umwelt Index) [41], степень поврежденности лесонасаждений, интегральный показатель состояния нарушенных земель [42], критерий нетронутости экологических систем [30], индексы социального, экономического развития, напряженности экологической ситуации [43] и др.

Использование ретроспективных данных, включающих физико-географические и природно-климатические условия, первоначальное состояние и категории земель, их промышленное использование, площадь нарушенности, позволяет на первоначальном этапе оценки техногенно измененных территорий дать необходимую информацию для составления информационно-аналитических БД, дополняемых мощными возможностями ГИС, ГГИС для отстраивания с их помощью карт инженерно-геологического, эколого-экономического и иного районирования. Комплексное использование этих инструментов позволяет получать своевременную и достоверную информацию о состоянии земель, их количественных и качественных характеристиках для подготовки и принятия управленческих решений о размещении горнодобывающих объектов и минимизации воздействия на ОС [44]. Картирование опасности объектов горнодобывающей отрасли позволяет ранжировать предприятия по основным индексам и численным значениям геоэкологических индикаторов [43].

Для оценки техногенно нарушенных территорий используется постоянно расширяющийся спектр методов, приёмов и способов. Он включает: визуальные (картометрические, полевые, органолептические), инструментальные (тахеометрическая съёмка, стереофотограмметрический метод, наземное лазерное сканирование), лабораторные (элементный и механический анализ, морфологический метод изучения грунтов, изучение минералогического состава) и дистанционные (аэро- и спутниковые, стереометрические съёмки). Разнообразные методы компьютерного моделирования и обработки данных позволяют на основе первичных и производных от них сведений анализировать дистанционные снимки, полученные с применением различных технологий, строить цифровые карты, ортофотопланы, создавать цифровые модели техногенно измененных территорий с различной детальностью и точностью, выполнять их кластеризацию по заданным критериям.

Анализ опыта их использования показывает, что применение только одного из методов, как правило, не даёт полной картины о нейтральности или нега-

тивности воздействию техногенно нарушенных территорий на компоненты ОС. Использование, например, только полевых и инструментальных методов диагностики позволят определять загрязнение территорий и оценить функциональное состояние экосистемы. Представление о границах этих загрязнений даёт составление карт. А лабораторные исследования формируют наши представления об элементном составе и физико-механических свойствах минерального сырья, пород и грунтов, их морфологии [45].

Визуальными наблюдениями могут выявляться объекты воздействия различных технологий, транспорта и коммуникаций, вызывающих нарушения и изменения состояния ОС. Визуализация сводится не только к определению границ нарушений или техногенного ландшафта, но и к определению зон деградации и опустынивания земель, территорий, подверженных повышенному загрязнению атмосферного воздуха, подземных и поверхностных вод, почв и зон смещения горных пород.

Инструментальные исследования заключаются в полевом измерении выделения газов и пыли; определении предельно допустимых концентраций вредных примесей; фото- и лазерном сканировании для создания геолого-структурных моделей нарушенных территорий с геодезической привязкой и тахеометрической съёмкой; использовании стереофотограмметрического метода для определения метрической характеристики объектов и их положения, позволяющего с высокой точностью и достоверностью готовить горно-графическую документацию; получение объёмного плана техногенно нарушенных территорий. Применение тепловизоров позволяет получить инфракрасные изображения с распределением температур исследуемой поверхности по всей площади, что, в свою очередь, может служить инструментом мониторинга на каждом этапе технологического процесса горного производства.

Лабораторные исследования необходимы для определения микробиологического состояния флоры территорий по показателям: плодородие, содержание гумуса, площадь вторично засоленных почв, глубина смытости почвенных горизонтов, площадь обнаженных коренных пород, площадь ветровой эрозии, задержанность песчаных почв, уровень активной микробной биомассы, содержания общего азота, хлоридов, хлорофоса, хлорамина, метанола, мышьяка, тяжелых фенолов, сернистых соединений, цианидов, радиоактивных веществ, различных микроорганизмов, определение кислотности и щелочности, определение техногенного загрязнения и др. На основании данных, полученных в результате почвенных исследований, составляется паспорт почвы, содержащий фиксированный набор данных, необходимых для целей ее рационального использования и охраны.

Инженерно-геологические изыскания и экологический мониторинг позволяют систематизировать информацию о физико-механических свойствах грунтов и пород.

Ориентация на геопространственные данные способствует разработке методологических подходов,

алгоритмов и методик анализа, математических моделей для аналогичных проектов, а использование технологий искусственного интеллекта дает толчок для более полной цифровой трансформации решаемых задач. В рамках дистанционных наблюдений возможны прогнозы состояния земель, содержащие расчетный [46], теоретический и картографический материал, характеристику нарушенных земель, получаемую с помощью инженерно-геологических изысканий и экологического мониторинга. На основе прогнозов можно разрабатывать рекомендации, включающие мероприятия, направленные на улучшение качественного состояния земель, например, связанных с защитой почв от эрозии и селевых потоков.

На основе данных аэро- и космоснимков можно: выделять участки природных комплексов, трансформированных различными видами хозяйственной деятельности; осуществлять построение камеральных версий карт, содержащих слои специализированной информации, иллюстрирующие полученные в ходе интерпретации снимков предварительные выводы [47]; определять площади нарушенных территорий с оценкой возможности их самовосстановления и самозарастания, антропогенную изменчивость, уровень деградации почв, зоны выносы опасных и особо опасных веществ.

Использование комплексного подхода к оценке воздействия объектов накопленного вреда и загрязнения земель позволяет использовать не только современные цифровые методы интерпретации данных, но и интегрировать в исследования ретроспективные сведения о состоянии территорий промышленного освоения. Необходимо осуществлять мониторинг ОС горнопромышленных территорий в постэксплуатационный период, так как на подобных участках может происходить активизация опасных геологических, геохимических и геодинамических процессов. Метод, основанный на принципах эколого-географического картографирования, даёт возможность системно рассматривать антропогенные факторы формирования территориальной экологической обстановки. Изучение разнородной информации и проведение комплексных эколого-географических оценок базируется на статистических данных изучаемой территории, дополняемых картографическим «подкреплением», позволяющим осмыслить территориальные аспекты проблем качества ОС. Карта выступает наглядным и доступным результатом проводимых территориальных исследований [48].

Междисциплинарный характер проблемы предполагает учёт результатов исследований в различных научных областях для совершенствования теоретических подходов и методологии комплексного управления процессами рационального экологически сбалансированного взаимодействия природных и технических систем [49–57].

Рассмотренные в обзоре методы сбора, подготовки и обработки различных видов данных позволяют на более высоком качественном уровне перейти к оценке состояния и рисков нерационального использования месторождений и техногенно изменённых территорий. Логика развития исследований связана с

позападным движением: 1) изучение природного потенциала месторождений [58] и связанных с их освоением прилегающих территорий; 2) выявление особенностей постоянно изменяющегося во времени геопространства на основе разномасштабного 2D- и 3D-моделирования территорий и их локальных участков (месторождений, пластов, рудных зон, отвалов, складов) на основе высокоточного позиционирования, геометризации и кластеризации [59]; 3) определение тенденций развития технологий изменения земель и недр с оценкой реальных и потенциальных рисков нарушения природной среды; 4) оценка состояния и рисков использования техногенно изменённых или планируемых к формированию территорий при добыче, переработке и утилизации полезных ископаемых территорий; 5) разработка механизмов ресурсосберегающего технологически, экологически и экономически сбалансированного природо- и недропользования на землях различного назначения, ценности и пригодности к естественному или искусственному восстановлению.

Выводы

Важным способом снижения негативного воздействия горных работ на компоненты ОС является улучшение качества принимаемых и реализуемых решений, ориентированных на снижение разнообразных геоэкологических рисков. Основой для оценки состояния техногенно нарушаемых земель является разнообразная постоянно актуализируемая ретроспективная и текущая первичная и синтезированная информация об исходном состоянии территорий хозяйственного освоения.

Для совершенствования информационных ресурсов и унифицированного доступа к ним целесообразно формировать постоянно пополняемые БД, являющиеся информационно-аналитической основой для решения различных задач геоэкологической оценки техногенно изменённых горными работами территорий. БД должны настраиваться под решение конкретных задач с постоянной интеграцией в них новых видов информации и последующим созданием на этой основе баз знаний и систем поддержки принятия решений.

Максимально объективная системная оценка текущего уровня и прогнозного состояния техногенно нарушенных горными работами территорий достигается использованием индивидуально настраиваемых под конкретные объекты и условия методов инструментальных, полевых, лабораторных и модельных цифровых исследований, совершенствуемых по мере развития науки и практики.

Сведения, полученные такой системной оценкой, необходимы для разработки документов долгосрочного планирования и текущего управления с перечнем мероприятий, обеспечивающих эффективное, устойчивое и экологически сбалансированное недропользование.

Следует учитывать тот факт, что одной из основных проблем при решении задач восстановления и возвращения в хозяйственный оборот нарушенных

земель было и остаётся несовершенство регулирующих данные вопросы правовой базы, где большая часть существующих нормативно-правовых актов посвящена проблемам использования и охраны земель, а не их восстановлению.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. 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.
2. Michieka N.M. Energy and the environment: the relationship between coal production and the environment in China // Natural Resources Research. – 2014. – V. 23. – № 2. – P. 285–298. DOI: 10.1007/s11053-013-9223-7.
3. О нарушении земель при освоении МСБ восточной части Новосибирской области / В.Л. Гаврилов, Н.А. Немова, А.В. Резник, Н.С. Косарев, М.И. Смык, К.Е. Медведева // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. – 2022. – Т. 9. – № 2. – С. 69–77.
4. Анализ экологических проблем в угледобывающих районах / О.М. Зиновьева, Л.А. Колесникова, А.М. Меркулова, Н.А. Смирнова // Уголь. – 2020. – № 10. – С. 62–67.
5. Техногенное воздействие на окружающую среду в Российской Арктике на примере Норильского промышленного района / Н.В. Юркевич, И.Н. Ельцов, В.Н. Гуреев, Н.А. Мазов, Н.В. Юркевич, А.В. Еделев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 12. – С. 230–249.
6. Assessment of surface ecological quality of grassland mining area and identification of its impact range / Aman Fang, Menghe Bao, Weiqiang Chen, Jihong Dong // Natural Resources Research. – 2021. – V. 30. – № 5. – P. 3819–3837. DOI: org/10.1007/s11053-021-09868-8
7. A coupling method for eco-geological environmental safety assessment in mining areas using PCA and catastrophe theory / Xiaofei Sun, Huaiyong Shao, Xiaoyu Xiang, Linguo Yuan, Yingzhi Zhou, Wei Xian // Natural Resources Research. – 2020. – V. 29. – № 6. – P. 4133–4148. DOI: org/10.1007/s11053-020-09682-8
8. Карпухин С.С., Бровка Е.А., Игнатьев В.Ф. Аэрокосмическое и картографическое обеспечение экологического мониторинга территорий интенсивного недропользования // Маркшейдерский вестник. – 2004. – № 4. – С. 52–56.
9. Environmental impact assessment based on group decision-making methods in mining projects / N. Rikhtegar, N. Mansouri, A.A. Oroumieh, A. Yazdani-Chamzini, E.K. Zavadskas, S. Kildienė // Economic Research-Ekonomska Istraživanja. – 2014. – V. 27. – № 1. – P. 378–392.
10. Jordan G., Abdaal A. Decision support methods for the environmental assessment of contamination at mining sites // Environ Monit. – 2013. – V. 185. – P. 7809–7832. DOI: ORG/10.1007/S10661-013-3137-Z.
11. Ecological risk assessment of land destruction in large open-pit mine / Sun Qi, Bai Zhongke, Cao Yingui, Xie Miaomiao, Hu Xingding, Jiang Yanzhu, Lu Yuanqing // Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering. – 2015. – V. 31. – № 17. – P. 278–288. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.17.03
12. Chang Qing, Liu Dan, Liu Xiaowen. Ecological risk assessment and spatial prevention strategy of land damage in mining cities // Chinese Journal of Agricultural Engineering. – 2013. – V. 20. – P. 245–254. DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.20.032.
13. Future scenarios of environmental vulnerability mapping using grey analytic hierarchy process / S. Sahoo, A. Dhar, A. Debsarkar et al. // Natural Resources Research. – 2019. – V. 28. – № 4. – P. 1461–1483. DOI: org/10.1007/s11053-019-09462-z
14. 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. – V. 28. – № S1. – P. 31–42. DOI: org/10.1007/s11053-018-9419-y
15. Reclamation of waste storage sites of the mining industry in the Russian Federation / A.V. Edelev, N.V. Yurkevich, V.N. Gureev, N.A. Mazov // Journal of Mining Science. – 2022. – V. 58. – № 6. – P. 168–186. DOI: 10.15372/FTPRP120220618
16. Ostapenko S.P., Mesyats S.P. Recovery dynamics of mining-altered natural ecosystems by satellite data // Journal of Mining Science. – 2022. – V. 58. – № 5. – P. 155–166. DOI: 10.1134/S1062739122050155
17. Васильев С.М. и др. Обзор основных методов и способов оценки нарушенных земель сельскохозяйственного назначения с использованием данных дистанционного зондирования. – Ново-черкасск: Изд-во ВИНТИ РАН, 2018. – 65 с.
18. Оценка пылеаэрозольного загрязнения в зоне влияния цементного завода на основе изучения снегового покрова (Новосибирская область) / Д.А. Володина, А.В. Таловская, Е.Г. Язиков, А.Ю. Девятова, А.В. Еделев // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 10. – С. 69–85.
19. Казбулатова Г.М., Мичурин С.В., Карамова А.М. Геоэкологическая оценка состояния поверхностных вод Авзянского золоторудного района республики Башкортостан // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 8. – С. 139–152.
20. Высоцкий С.П., Козырь Д.А. Экологический мониторинг породных отвалов горнопромышленных агломераций // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 11. – С. 37–46.
21. Трапезникова И.С. Эколого-экономическая оценка территорий (на примере Кемеровской области) // Экономика природопользования. – 2010. – № 4. – С. 74–78.
22. Степанов Ю.А., Часовников С.Н., Корчагина Т.В. Оценка экологической ситуации в Кемеровской области при воздействии техногенных массивов // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2006. – № 2 (66). – С. 50–54.
23. Харина Г.В., Алешина Л.В. Аккумуляция тяжелых металлов в почвах Свердловской области // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 2. – С. 173–183.
24. Шабанов М.В., Маричев М.С. Геохимические аномалии тяжелых металлов в почвах при родных и антропогенных ландшафтов (на примере Красноуральского промузла) // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2022. – Т. 333. – № 6. – С. 230–239.
25. Investigation of environmental-concern trace elements in coal and their combustion residues from thermal power plants in Eastern India / D. Saha, D. Chatterjee, S. Chakravarty et al. // Natural Resources Research. – 2019. – V. 28. – № 4. – P. 1505–1520. DOI: ORG/10.1007/S11053-019-09451-2
26. 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. – V. 750. DOI: ORG/10.1016/J.SCITOTENV.2020.141535.
27. Ноговицын Д.Д., Николаева Н.А., Шеина З.М. Комплексная оценка воздействия Кангаласского угольного разреза на состояние природной среды // Наука и образование. – 2006. – № 2. – С. 73–78.
28. Chabukdhara M., Singh O.P. Coal mining in northeast India: an overview of environmental issues and treatment approaches // International Journal of Coal Science & Technology. – 2016. – № 3 (2). – P. 87–96. DOI: org/10.1007/s40789-016-0126-1
29. Chugh Y.P., Behum P.T. Coal waste management practices in the USA: an overview // International Journal of Coal Science & Technology. – 2014. – № 1 (2). – P. 163–176. DOI: org/10.1007/s40789-014-0023-4
30. Грязнов О.Н., Елохина С.Н. Геоэкологические критерии оценки золоотвалов на тепловых электростанциях в пределах Уральского региона // Известия Вузов. Горный журнал. – 2005. – № 6. – С. 32–39.
31. Мусихина Е.А., Головнева Т.И. Задача комплексной оценки антропогенного загрязнения почв на территории Иркутской области // Экологические риски и экономические ущербы. – 2008. – № 3. – С. 73–76.

32. Киреева А.С. Современное состояние и экологическая оценка влияния породных отвалов предприятий угольной промышленности // Известия ТулГУ. Науки о Земле. – 2022. – Вып. 1. – С. 62–71.
33. Коротченко И.С., Первышина Г.Г., Мучкина Е.Я. Воздействие процесса сжигания углей Ирша–Бородинского разреза на депонирование тяжелых металлов в почве (на примере Минусинской ТЭЦ) // Уголь. – 2020. – № 6. – С. 67–69.
34. Легостаева Я.Б., Гололобова А.Г. Особенности распределения микроэлементов в почвах фоновых и импактных зон на участках алмазодобычи на Северо-Западе Сибирской платформы // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332. – № 9. – С. 142–153.
35. Лукьянова Н.В., Мясков А.В. Влияние горной промышленности на особо охраняемые природные территории // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 6. – С. 323–330.
36. Михайленко В.Н. Исследование характера загрязнения территории Забайкалья техногенными отходами горного производства // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 3. – С. 151–154.
37. Геоинформационный мониторинг для решения экологических задач горнопромышленных территорий Среднего Урала / С.В. Корнилов, Л.С. Рыбникова, П.А. Рыбников, А.Ю. Смирнов // Горная промышленность. – 2022. – № 1S. – С. 127–133.
38. Елохина С.Н., Киндлер А.А. Мониторинг состояния недр в период горнопромышленной постэксплуатации на Урале (Дегтярский участок) // Известия Уральского государственного горного университета. – 2020. – Вып. 1 (57). – С. 105–117. DOI: 10.21440/2307-2091-2020-1-105-117.
39. Евтушкова Е.П. Экологическое состояние земель сельскохозяйственного назначения на юге Тюменской области // Агропродовольственная политика России. – 2016. – № 12 (60). – С. 51–53.
40. Бузук Г.Н. Экологические шкалы Л.Г. Раменского: новые возможности // Бюллетень Брянского отделения РБО. – 2018. – № 1 (13). – С. 37–43.
41. Гридин В.Г., Чамкина Т.И. Показатели устойчивого развития и оценка с их помощью состояния окружающей среды Кузбасса // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2007. – № 12. – С. 180–191.
42. Куприянов А.Н., Манаков Ю.А. Интегральный показатель состояния нарушенных земель после добычи угля // Вестник КрасГАУ. – 2010. – № 3. – С. 29–35.
43. Kalabin G.V. Ecological sustainability indicators of the mining industry areas in Russia // Journal of Mining Science. – 2020. – V. 56. – № 3. – P. 175–183.
44. Гамм Т.А., Калиев А.Ж. Дифференциация территории по экологическим показателям техногенной нагрузки // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2004. – № 9. – С. 98–101.
45. Hsai-Yang Fang, Chaney R.C. Introduction to environmental geotechnology // Taylor and Francis Group. – 2016. – P. 726. DOI: ORG/10.1201/9781315374734
46. Использование результатов дистанционного зондирования в оценке восстановления экосистемы на территориях с открытой угледобычей в регионах Урала / И.В. Зеньков, Ю.П. Юрonen, Г.А. Карачева, О.О. Стукова, В.Н. Вокин, Е.В. Кирышина, Ж.В. Миронова, Т.А. Верегенова // Уголь. – 2020. – № 10. – С. 68–71.
47. Makarov D.V., Konina O.T., Goryachev A.A. Dusting suppression at tailings storage facilities // Journal of Mining Science. – 2021. – V. 57. – № 4. – P. 160–170.
48. Пономаренко М.Р., Кутепов Ю.И., Шабаров А.Н. Информационно-аналитическое обеспечение мониторинга состояния объектов открытых горных работ на базе технологий веб-картографии // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2022. – № 8. – С. 56–70.
49. Шипилова А.М., Семина И.С. Оценка почвенно-экологического состояния техногенных ландшафтов Кузбасса в зависимости от технологии рекультивации нарушенных земель // Известия Уральского государственного горного университета. – 2017. – № 3. – С. 53–56.
50. Сенченко Д.С. Основные критерии оценки нарушенных горным производством земель для проведения учебно-рекреационной рекультивации // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2008. – № 11. – С. 153–159.
51. Mel'nikov N.N., Mesyats S.P., Volkova E.Yu. Methodological approach to restoration of ecosystem functions in the industrially generated lands // Journal of Mining Science. – 2014. – V. 50. – P. 190–198.
52. 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. – V. 1. – P. 1–9. DOI: 10.1155/2014/483862.
53. Loures L., Panagopoulos T. Sustainable reclamation of industrial areas in urban landscapes // Transactions on Ecology and the Environment. – 2007. – V. 102. – P. 791–800. DOI: 10.2495/SDP070752.
54. Bascetin A. A decision support system using analytical hierarchy process (AHP) for the optimal environmental reclamation of an open-pit mine // Environ Geol. – 2007. – V. 52. – P. 663–672. DOI: org/10.1007/s00254-006-0495-7.
55. Mapping the timing of cropland abandonment and recultivation in northern Kazakhstan using annual Landsat time series / A. Dara, M. Baumann, T. Kuemmerle, D. Pflugmacher, A. Rabe, N. Hölzel, J. Kamp, M. Freitag, P. Hostert // Remote sensing of environment. – 2018. – V. 213. – P. 49–60. DOI: org/10.1016/j.rse.2018.05.005.
56. Ecological restoration uncontaminated soils of Kokdzhon phosphate mining area (Zhambyl region, Kazakhstan) / M. Toktar, G. lo Papa, F.E. Kozybayeva, C. Dazzi // Ecological Engineering. – 2016. – V. 86. – P. 1–4. DOI: org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.080.
57. Alavi I., Ebrahimabadi A., Hamidian H. Choosing the most proper plant types in reclamation of an open-pit mine // Journal of Mining Science. – 2022. – V. 58. – № 1. – P. 170–181.
58. Немова Н.А., Резник А.В., Карпов В.Н. Моделирование процесса восстановления земель как часть цифровизации месторождений // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2021. – Т. 2. – № 3. – С. 322–331.
59. Trofimetz L.N., Panidi E.A., Kikin P.M. Integration of data of the remote sensing, GIS, and gamma-spectrometric analysis to study soil material redistribution // The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. V. XLIII-B4-2021XXIV ISPRS Congress (2021 ed.). – Nice, France, 2021. – V. 43. – P. 147–152.

Поступила: 28.04.2023 г.

Прошла рецензирование: 18.05.2023 г.

Информация об авторах

Гаврилов В.Л., кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории открытых горных работ, Институт горного дела им Н.А. Чинакала СО РАН.

Немова Н.А., кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории открытых горных работ, Институт горного дела им Н.А. Чинакала СО РАН; доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, Сибирский государственный университет геосистем и технологий.

Резник А.В., кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории открытых горных работ, Институт горного дела им Н.А. Чинакала СО РАН.

Косарев Н.С., кандидат технических наук, доцент кафедры маркшейдерского дела и геодезии, Сибирский государственный университет геосистем и технологий; старший научный сотрудник лаборатории открытых горных работ, Институт горного дела им Н.А. Чинакала СО РАН.

Колесников А.А., кандидат технических наук, доцент кафедры картографии и геоинформатики, Сибирский государственный университет геосистем и технологий; старший научный сотрудник лаборатории открытых горных работ, Институт горного дела им Н.А. Чинакала СО РАН.

UDC 622.882+622.883 (470+571)

ON THE NEED FOR A COMPREHENSIVE GEOECOLOGICAL ASSESSMENT OF LANDS DISTURBED BY MINING

Vladimir L. Gavrilov¹,
gvlugorsk@mail.ru

Natalya A. Nemova^{1,2},
nemova-nataly@mail.ru

Alexander V. Reznik¹,
a-reznik@mail.ru

Nikolay S. Kosarev^{1,2},
kosarevnsk@yandex.ru

Aleksey A. Kolesnikov^{1,2},
alexeykw@yandex.ru

¹ Chinakal Institute of Mining SB RAS,
54, Krasny avenue, Novosibirsk, 630091, Russia.

² Siberian State University of Geosystems and Technologies,
10, Plakhotny street, Novosibirsk, 630108, Russia.

The relevance of the study is caused by the need to systematize information on the methods and procedure for obtaining data for a comprehensive geoecological assessment of territories disturbed by mining, based on the initial state of natural and modified components of the environment with the processes and phenomena occurring in it. This enables us to obtain information about the territories required for the development of methods and techniques for the subsequent reclamation of lands disturbed by mining.

Objective: using various methods and techniques, to analyze methodological approaches that allow generating the necessary and sufficient volume of primary and required information synthesized on its basis, to proceed from a general to a comprehensive and detailed geoecological assessment of territories and areas disturbed and/or planned to be disturbed by mining operations.

Objects: Russian territories in mining regions disturbed by mining operations.

Methods. Pre-selection of materials published since 2000 was carried out. Russian (E-library, VINITI RAS) and international (Scopus, GeoRef) information systems, websites of specialized and general scientific journals, library collections, and authors' materials were used. When querying, the following basic terms and phrases were used in various combinations: «geoecological assessment», «assessment methods», «territories disturbed by mining», «remote sensing», «environmental condition». Of more than 1000 pre-identified publications, mostly Russian, devoted to various aspects of collecting and obtaining information on assessing the environmental condition in mining areas, more than 150 were selected. Publications were analyzed taking into account the most complete representation by region and publication. Additionally, materials published by federal and regional management and control authorities were used. The most important and representative ones were included in the review.

Results. Existing and promising methods for collecting various data used in the geoecological assessment of territories disturbed by mining are considered. If required, these data will be further processed. Environmental, economic and social problems caused by the influence of mining operations are identified, the solution of these problems requires the generation of various information. The role of reliable and representative primary data measured on various scales is formulated to make a correct assessment of their impact on basic environmental components. The influence of the conditions of mining coal and ore deposits on environmental situation of the territories is considered. The necessity of using a set of methods for collecting and processing information, selected with regard to peculiarities of each mining area and mining specifics of various mineral deposits, is shown.

Key words:

Environment, deposits, minerals, mining operations, lands disturbed by mining, information, collection methods, overburden, waste.

The research was carried out at the expense of the Russian Science Foundation grant no. 23-27-10057 and the NSO grant no. r-60 «Development of a methodology for assessing the condition of technogenically disturbed lands in the Novosibirsk region and forecasting directions for their alternative use».

REFERENCES

1. Trubetskoy K.N., Galchenko Yu.P. Environmental aspects of the technological paradigm of the mineral and raw resources complex under a sustainable development of nature and society. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*, 2022, vol. 1, pp. 18–38. In Rus.
2. Michieka N.M. Energy and the environment: the relationship between coal production and the environment in China. *Natural Resources Research*, 2014, vol. 23, no. 2, pp. 285–298. DOI: 10.1007/s11053-013-9223-7.
3. Gavrilov V.L., Nemova N.A., Reznik A.V., Kosarev N.S., Smyk M.I., Medvedeva K.E. On the violation of land during the development of SMEs in the eastern part of the Novosibirsk Region. *Fundamental and applied issues of mining sciences*, 2022, vol. 9, no. 2, pp. 69–77. In Rus.
4. Zinovieva O.M., Kolesnikova L.A., Merkulova A.M., Smirnova N.A. Analysis of environmental problems in coal mining areas. *Ugol*, 2020, no. 10, pp. 62–67. In Rus.

5. Yurkevich N.V., Eltsov I.N., Gureev V.N., Mazov N.A., Yurkevich N.V., Edelev A.V. Technogenic impact on the environment in the Russian Arctic on the example of the Norilsk industrial region. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2021, vol. 332, no. 12, pp. 230–249. In Rus.
6. 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, no. 5, pp. 3819–3837. DOI: org/10.1007/s11053-021-09868-8
7. Xiaofei Sun, Huaiyong Shao, Xiaoyu Xiang, Linguo Yuan, Yingzhi Zhou, Wei Xian. A coupling method for eco-geological environmental safety assessment in mining areas using PCA and catastrophe theory. *Natural Resources Research*, 2020, vol. 29, no. 6, pp. 4133–4148. DOI: org/10.1007/s11053-020-09682-8
8. Karpukhin S.S., Brovko E.A., Ignatiev V.F. Aerospace and cartographic support of ecological monitoring of areas of intensive subsoil use. *Mine Surveying Bulletin*, 2004, no. 4, pp. 52–56. In Rus.
9. Rikhtegar N., Mansouri N., Oroumieh A.A., Yazdani-Chamzini A., Zavadskas E.K., Kildienė S. Environmental impact assessment based on group decision-making methods in mining projects. *Economic Research-Ekonomska Istraživanja*, 2014, vol. 27, no. 1, pp. 378–392.
10. Jordan G., Abdaal A. Decision support methods for the environmental assessment of contamination at mining sites. *Environ Monit*, 2013, no. 185, pp. 7809–7832. DOI: ORG/10.1007/S10661-013-3137-Z.
11. Sun Qi, Bai Zhongke, Cao Yingui, Xie Miaomiao, Hu Xingding, Jiang Yanzhu, Lu Yuanqing. Ecological risk assessment of land destruction in large open-pit mine. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2015, vol. 31, no. 17, pp. 278–288. DOI: 10.11975/j.issn.1002-6819.2015.17.03
12. Chang Qing, Liu Dan, Liu Xiaowen. Ecological risk assessment and spatial prevention strategy of land damage in mining cities. *Chinese Journal of Agricultural Engineering*, 2013, vol. 20, pp. 245–254. DOI: 10.3969/j.issn.1002-6819.2013.20.032.
13. Sahoo S., Dhar A., Debsarkar A. Future scenarios of environmental vulnerability mapping using grey analytic hierarchy process. *Natural Resources Research*, 2019, vol. 28, no. 4, pp. 1461–1483. DOI: org/10.1007/S11053-019-09462-z
14. 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, no. S1, pp. 31–42. DOI: org/10.1007/s11053-018-9419-y
15. Edelev A.V., Yurkevich N.V., Gureev V.N., Mazov N.A. Reclamation of waste storage sites of the mining industry in the Russian Federation. *Journal of Mining Science*, 2022, vol. 58, no. 6, pp. 168–186. In Rus. DOI: 10.15372/FTP20220618
16. Ostapenko S.P., Mesyats S.P. Recovery dynamics of mining-altered natural ecosystems by satellite data. *Journal of Mining Science*, 2022, vol. 58, no. 5, pp. 155–166. In Rus. DOI: 10.1134/S1062739122050155
17. Vasiliev S.M. *Obzor osnovnykh metodov i sposobov otsenki narushemykh zemel selskohozyaystvennogo naznacheniya s ispolzovaniem dannykh distantsionnogo zondirovaniya* [Overview of the main methods and methods for assessing disturbed agricultural land using remote sensing data]. Novochoerkassk, VINITI RAN Publ., 2018. 65 p.
18. Volodina D.A., Talovskaya A.V., Yazikov E.G., Devyatova A.Yu., Edelev A.V. Assessment of dust and aerosol pollution in the zone of influence of the cement plant based on the study of snow cover (Novosibirsk region). *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2022, vol. 333, no.10, pp. 69–85. In Rus.
19. Kazbulatova G.M., Michurin S.V., Karamova A.M. Geoecological assessment of the state of surface waters of the Avzyansky gold mining region of the Republic of Bashkortostan. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2022, vol. 333, no. 8, pp. 139–152. In Rus.
20. Vysotsky S.P., Kozyr D.A. Environmental monitoring of waste dumps of mining agglomerations. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2021, vol. 332, no. 11, pp. 37–46. In Rus.
21. Trapeznikova I.S. Ecological and economic assessment of territories (on the example of the Kemerovo region). *Economics of Nature Management*, 2010, no. 4, pp. 74–78. In Rus.
22. Stepanov Yu.A., Chasovnikov S.N., Korchagina T.V. Assessment of the ecological situation in the Kemerovo region under the influence of man-made massifs. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2006, no. 2 (66), pp. 50–54. In Rus.
23. Kharina G.V., Aleshina L.V. Accumulation of heavy metals in soils of the Sverdlovsk region. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2022, vol. 333, no. 2, pp. 173–183. In Rus.
24. Shabanov M.V., Marichev M.S. Geochemical anomalies of heavy metals in soils of natural and anthropogenic landscapes (on the example of the Krasnoyarsk industrial hub). *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2022, vol. 333, no. 6, pp. 230–239. In Rus.
25. Saha D., Chatterjee D., Chakravarty S. Investigation of environmental-concern trace elements in coal and their combustion residues from thermal power plants in Eastern India. *Natural Resources Research*, 2019, vol. 28, no. 4, pp. 1505–1520. DOI: ORG/10.1007/S11053-019-09451-2
26. 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. DOI: ORG/10.1016/J.SCITOTENV.2020.141535.
27. Nogovitsyn D.D., Nikolaeva N.A., Sheina Z.M. Comprehensive assessment of the impact of the Kagalassky coal mine on the state of the natural environment. *Science and Education*, 2006, no. 2, pp. 73–78. In Rus.
28. Chabukdhara M., Singh O.P. Coal mining in northeast India: an overview of environmental issues and treatment approaches. *International Journal of Coal Science & Technology*, 2016, no. 3 (2), pp. 87–96. DOI: org/10.1007/s40789-016-0126-1
29. Chugh Y.P., Behum P.T. Coal waste management practices in the USA: an overview. *International Journal of Coal Science & Technology*, 2014, no. 1(2), pp. 163 – 176. DOI: org/10.1007/s40789-014-0023-4
30. Gryaznov O.N., Elohina S.N. Geoecological criteria for assessing ash dumps at thermal power plants within the Ural region. *Izvestiya Vuzov. Mining magazine*, 2005, no. 6, pp. 32–39. In Rus.
31. Musikhina E.A., Golovneva T.I. The task of a comprehensive assessment of anthropogenic soil pollution in the territory of the Irkutsk region. *Ecological risks and economic damages*, 2008, no. 3, pp. 73–76. In Rus.
32. Kireeva A.S. The current state and environmental assessment of the impact of rock dumps of coal industry enterprises. *News of the Tula state university. Sciences of Earth*, 2022, vol. 1, pp. 62–71. In Rus.
33. Korotchenko I.S., Pervyshina G.G., Muchkina E.Ya. Influence of the process of burning coals from the Irsha-Borodinsky open pit mine on the deposition of heavy metals in the soil (on the example of the Minusinsk CHPP). *Ugol*, 2020, no. 6, pp. 67–69. In Rus.
34. Legostaeva Ya.B., Gololobova A.G. Features of distribution of microelements in soils of background and impact zones at diamond mining sites in the North-West of the Siberian Platform. *Bulletin of the Kuzbass State Technical University*, 2021, vol. 332, no. 9, pp. 142–153. In Rus.
35. Lukyanova N.V., Myaskov A.V. Impact of the mining industry on specially protected natural areas. *Mining Informational and analytical bulletin*, 2007, no. 6, pp. 323–330. In Rus.
36. Mikhailenko V.N. Investigation of the nature of contamination of the territory of Transbaikalia by technogenic waste from mining. *Mining Informational and analytical bulletin*, 2008, no. 3, pp. 151–154. In Rus.
37. Kornilkov S.V., Rybnikov P.A., Smirnov A.Yu. Geoinformation monitoring for solving environmental problems in the mining areas of the Middle Urals. *Russian mining industry*, 2022, no. 1S, pp. 127–133. In Rus.
38. Elokhina S.N., Kindler A.A. Monitoring the state of the subsoil during the mining post-operation period in the Urals (Degtyarsky site). *News of the Ural State Mining University*, 2020, vol. 1 (57), pp. 105–117. In Rus. DOI: 10.21440/2307-2091-2020-1-105-117.
39. Evtushkova E.P. Ecological state of agricultural land in the south of the Tyumen region. *Agro-food policy of Russia*, 2016, no. 12 (60), pp. 51–53. In Rus.
40. Buzuk G.N. Ecological scales L.G. Ramensky: new opportunities. *Bulletin of the Bryansk branch of the RBO*, 2018, no. 1 (13), pp. 37–43. In Rus.
41. Gridin V.G., Chamkina T.I. Indicators of sustainable development and assessment with their help of the state of the environment of

- Kuzbass. *Mining Informational and analytical bulletin*, 2007, no. 12, pp. 180–191. In Rus.
42. Kupriyanov A.N., Manakov Yu.A. Integral indicator of the state of disturbed lands after coal mining. *The Bulletin of KrasGau*, 2010, no. 3, pp. 29–35. In Rus.
 43. Kalabin G.V. Ecological sustainability indicators of the mining industry areas in Russia. *Journal of Mining Science*, 2020, vol. 56, no. 3, pp. 175–183.
 44. Gamm T.A., Kaliev A.Zh. Differentiation of the territory according to environmental indicators of technogenic load. *Vestnik Orenburg State University*, 2004, no. 9, pp. 98–101. In Rus.
 45. Hsai-Yang Fang, Chaney R.C. Introduction to environmental geotechnology. *Taylor and Francis Group*, 2016, pp. 726. DOI: ORG/10.1201/9781315374734
 46. Zenkov I.V., Yuronen Yu.P., Karacheva G.A., Stukova O.O., Vokin V.N., Kiryushina E.V., Mironova Zh.V., Veretenova T.A. Using the results of remote sensing in the assessment of ecosystem restoration in areas with open-pit coal mining in the regions of the Urals. *Ugol*, 2020, no. 10, pp. 68–71. In Rus.
 47. Makarov D.V., Konina O.T., Goryachev A.A. Dusting suppression at tailings storage facilities. *Journal of Mining Science*, 2021, vol. 57, no. 4, pp. 160–170.
 48. Ponomarenko M.R., Kutepov Yu.I., Shabarov A.N. Information and analytical support for monitoring the state of open-pit mining facilities based on web mapping technologies. *Mining Informational and analytical bulletin*, 2022, no. 8, pp. 56–70. In Rus.
 49. Shipilova A.M., Semina I.S. Evaluation of the soil-ecological state of technogenic landscapes of Kuzbass depending on the technology of reclamation of disturbed lands. *News of the Ural State Mining University*, 2017, no. 3, pp. 53–56. In Rus.
 50. Senchenko D.S., The main criteria for assessing lands disturbed by mining for educational and recreational reclamation. *Mining Informational and analytical bulletin*, 2008, no. 11, pp. 153–159. In Rus.
 51. Mel'nikov N.N., Mesyats S.P., Volkova E. Yu. Methodological approach to restoration of ecosystem functions in the industrially generated lands. *Journal of Mining Science*, 2014, vol. 50, pp. 190–198.
 52. 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. 1, pp. 1–9. DOI: 10.1155/2014/483862.
 53. Loures L., Panagopoulos T. Sustainable reclamation of industrial areas in urban landscapes. *Transactions on Ecology and the Environment*, 2007, vol. 102, pp. 791–800. DOI: 10.2495/SDP070752.
 54. Bascetin A. A decision support system using analytical hierarchy process (AHP) for the optimal environmental reclamation of an open-pit mine. *Environ Geol*, 2007, vol. 52, pp. 663–672. DOI: org/10.1007/s00254-006-0495-7.
 55. Dara A., Baumann M., Kuemmerle T., Pflugmacher D., Rabe A., Hölzel N., Kamp J., Freitag M., Hostert P. Mapping the timing of cropland abandonment and recultivation in northern Kazakhstan using annual Landsat time series. *Remote sensing of environment*, 2018, vol. 213, pp. 49–60. DOI: org/10.1016/j.rse.2018.05.005.
 56. Toktar M., Lo Papa G., Kozybayeva F.E., Dazzi C. Ecological restoration uncontaminated soils of Kokdzhon phosphate mining area (Zhambyl region, Kazakhstan). *Ecological Engineering*, 2016, vol. 86, pp. 1–4. DOI: org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.080.
 57. Alavi I., Ebrahimabadi A., Hamidian H. Choosing the most proper plant types in reclamation of an open-pit mine. *Journal of Mining Science*, 2022, vol. 58, no. 1, pp. 170–181.
 58. Nemova N.A., Reznik A.V., Karpov V.N. Modeling the process of land restoration as part of the digitalization of deposits. *Interexpo Geo-Siberia*, 2021, vol. 2, no. 3, pp. 322–331. In Rus.
 59. Trofimez L.N., Panidi E.A., Kikin P.M. Integration of data of the remote sensing, GIS, and gamma-spectrometric analysis to study soil material redistribution. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 2021, vol. 43, pp. 147–152.

Received: 28 April 2023.

Reviewed: 18 May 2023.

Information about the authors

Vladimir L. Gavrilov, Cand. Sc., leading researcher, Chinakal Institute of Mining SB RAS.

Natalya A. Nemova, Cand. Sc., senior researcher, Chinakal Institute of Mining SB RAS; associate professor, Siberian State University of Geosystems and Technologies.

Alexander V. Reznik, Cand. Sc., senior researcher, Chinakal Institute of Mining SB RAS.

Nikolay S. Kosarev, Cand. Sc., associate professor, Siberian State University of Geosystems and Technologies; senior researcher, Chinakal Institute of Mining SB RAS.

Aleksey A. Kolesnikov, Cand. Sc., associate professor, Siberian State University of Geosystems and Technologies; senior researcher, Chinakal Institute of Mining SB RAS.