Геоэкология

DOI: 10.35634/UdSU.2026.42.35.002

УДК 624.131

Н.В. Гончар, И.А. Антонова, О.М. Гуман

ПРИНЦИПЫ МОНИТОРИНГА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ РЕКУЛЬТИВАЦИИ НАРУШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ

Аннотация. Программы мониторинга, подготовленные на предприятиях, зачастую не учитывают свойства геологической среды, влияющей на состав почв, положение уровней подземных вод, наличие экзогенных процессов; воздействие на прилегающую территорию оценивается как кратность превышения фона или предельно допустимых концентраций. При рекультивации нарушенных земель складывается достаточно сложная картина взаимодействий как техногенного объекта, так и компонентов окружающей среды, формируются две подсистемы – искусственная эколого-геологическая и природно-техническая. Целью исследований было увязать тенденции развития и изменения компонентов окружающей среды (атмосферы, почв, грунтов, поверхностных и подземных вод) с учетом их экологических последствий для человека и других организмов в пределах нарушенных земель с мониторингом прилегающих территорий и, на основе этого, – разработать рекомендации и управляющие решения по оптимизации функционирования объекта, обеспечению экологически благоприятных условий его существования и устойчивого развития. Коркинский разрез – самый глубокий угольный разрез в Евразии. Методика исследований направлена на изучение тех параметров, которые позволяют вести комплексный мониторинг, включающий геомеханическую, гидрогеологическую и гидрохимическую составляющие. Применяется модельно ориентированный подход, начиная с прогноза поведения объекта исследований до процесса рекультивации и корректировки управляющих решений по результатам мониторинга. Процесс заполнения закладочным материалом ликвидирует эндогенные пожары в угольных породах, увеличивает устойчивость бортов за счет пригрузки их нижней части твердой фазой материала, увеличивает щелочность воды в техногенном водоеме, что снижает миграционную способность металлов. В настоящее время происходит улучшение качества атмосферного воздуха, воды, выполняются мероприятия по обеспечению устойчивости бортов разреза.

Ключевые слова: рекультивация, мониторинг окружающей среды, искусственная эколого-геологическая подсистема, природно-техногенная подсистема, закладочный материал, ликвидация горных выработок.

Для цитирования: Гончар Н.В., Антонова И.А., Гуман О.М. Принципы мониторинга окружающей среды при рекультивации нарушенных земель // Управление техносферой: электрон. журнал, 2026. Т. 9. Вып.2. С. 272–293. DOI: 10.35634/UdSU.2026.42.35.002

Введение

При рекультивации нарушенных земель, в частности горных выработок, в процессе проведения инженерно-экологических изысканий исполнитель ориентируется на СП 502.1325800.2021 «Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ», где есть требования, что специалисты должны дать предложения по организации мониторинга атмосферного воздуха, почв (или грунтов), водных объектов, подземных вод, физических воздействий, растительного покрова, а также экологического, радиационного, санитарно-эпидемиологического мониторинга в период строительства и эксплуатации объекта [1]. В то же время в период строительства и эксплуатации действуют другие нормативные документы, такие как ГОСТ Р 56059-2014 «Производственный экологический мониторинг. Общие положения», ГОСТ Р 56062-2014 «Производственный экологический контроль. Общие положения», ГОСТ Р 56063-2014 «Производственный экологический мониторинг. Требования к программам производственного экологического мониторинга», ГОСТ Р 56060-2014 «Производственный экологический мониторинг. Мониторинг состояния и загрязнения окружающей среды на территориях объектов размещения отходов», а также приказы Министерства природных ресурсов и экологии РФ № 798 от 30.11.2023, № 659 от 13.11.2024 и постановление Правительства РФ № 1679 от 30.11.2024, перечень которых отсутствует в указанном СП 502.1325800.2021 или они вышли после его утверждения.

Поэтому на действующих объектах в ходе выполнения инженерно-экологических изысканий приходится за основу принимать существующие на предприятиях программы мониторинга, в которых часто не учитываются свойства геологической среды, влияющей на состав почв, положение уровней подземных вод, наличие экзогенных процессов, а в программе мониторинга отслеживается воздействие на прилегающую территорию коэффициентов

концентрации элементов относительно превышения фона или предельно допустимых концентраций (ПДК).

При рекультивации нарушенных земель складывается достаточно сложная картина взаимодействий как техногенного объекта, так и компонентов окружающей среды, поэтому необходимо придерживаться основных принципов мониторинга. Мониторинг окружающей среды рассмотрен на примере Коркинского разреза – это система, состоящая из искусственной эколого-геологической подсистемы в границах разреза и природно-технической подсистемы за границами объекта [2].

Термин «мониторинг» вошел в научный оборот из англоязычной литературы и происходит от английского слова *monitoring* – контрольное наблюдение. У нас в стране одним из первых теорию мониторинга стал разрабатывать Ю.А. Израэль. Уточняя определение мониторинга окружающей среды, он сделал акцент не только на наблюдении, но и на прогнозе, введя в определение термина «мониторинг окружающей среды» антропогенный фактор как основную причину этих изменений [3]. В настоящее время под мониторингом окружающей среды понимают систему наблюдений, оценки и прогноза антропогенных изменений состояния окружающей природной среды, включая управление ЭГС, построенное на краткосрочных и долгосрочных прогнозах [2].

Цель экологического мониторинга – установление тенденций развития и изменения компонентов окружающей среды (атмосферы, почв, грунтов, поверхностных и подземных вод) с учетом их экологических последствий для человека и других организмов в пределах нарушенных земель и прилегающих территорий и, на основе этого, разработка рекомендаций и управляющих решений по оптимизации функционирования объекта, обеспечению экологически благоприятных условий его существования и устойчивого развития [4].

Задачи мониторинга окружающей среды при рекультивации нарушенных земель:

- оценить объект рекультивации – его положение в геологических структурах, характер пород, гидрогеологические условия, рельеф, состав пород и воды до рекультивации, наличие особых зон (леса, населенные пункты, месторождения и т.п.) вблизи границ данного объекта;

- оценить, на какие компоненты окружающей среды будет оказано влияние в ходе рекультивации и по окончанию ее – почвы, грунты, поверхностные и подземные воды, атмосферу, растительность и животный мир;

- дать прогноз процессам массообмена и трансформации вещества, которые в конечном счете оказывают воздействие на животный и растительный мир;

- ввести в систему мониторинга пространственно-временные границы воздействий, которые выходят за пределы санитарно-защитных зон и сроки эксплуатации месторождений.

Обоснование принципов мониторинга подземных вод при управлении риском на территориях предприятий высоких уровней экологической опасности приведено в работе [5]. Оно включает следующие основные принципы: системность, целенаправленность, модельную ориентированность, ситуационность, адаптивность (приспосабливаемость), стадийность. При рекультивации, если рассматривать принцип как основное правило деятельности [6], его можно сформулировать следующим образом – удержать воздействие рекультивируемого участка на ориентировочно-прогнозируемом допустимом уровне воздействия на окружающую среду благодаря регулирующим процессам естественного самоочищения (разбавление, сорбция, ионный обмен, соосаждение и др.) и управляющим инженерным мероприятиям.

Коркинский разрез – самый глубокий угольный разрез в Евразии, его глубина 493 м, длина по поверхности более 3000 м, ширина свыше 2500 м. За

время разработки карьера в течение 70 лет было извлечено около 250 млн т угля и 1,5 млрд т породы, объем выработки около 3 млрд м^3. Разрез прекратил свою работу 20.11.2017 года (эксплуатация началась в 1934 г.). Кроме открытых работ на Коркинском месторождении велись и подземные работы на шахте «Коркинская». На 2005 г. промышленные запасы угля до глубины 630 м составляли 33 млн т, что могло обеспечить работой разрез на 23 года. Для этого надо было провести разнос бортов разреза, переселить жителей, перенести промышленную площадку и Коркинский экскаваторно-вагоноремонтный завод. Но после возникновения сдвижения бортов разреза (первый крупный оползень на северо-западном борту произошел в 1945 г.), стволы шахты «Коркинская» были признаны аварийными, начали разрушаться здания (рис. 1). Было принято решение о поэтапном закрытии разреза и переселении части жителей п. Роза и г. Коркино. В бортах разреза регулярно фиксировались эндогенные пожары, что влияло не только на экологическую ситуацию в г. Коркино, но и всего региона, включая г. Челябинск [7, 8].

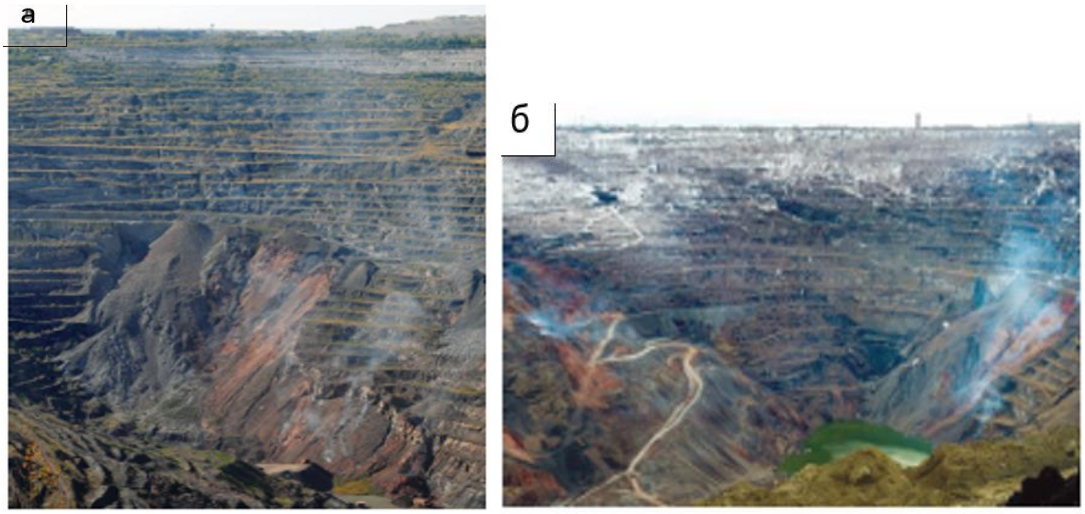


Рис. 1. Коркинский разрез до начала его рекультивации: a - оползни на северо-западном борту разреза, 2012 г., b - очаги эндогенных пожаров после вывода разреза из его эксплуатации [7]

Ликвидация карьерной выработки угольного разреза «Коркинский» осуществляется путем размещения в выработанном пространстве закладочного

материала, поступающего с обогатительной фабрики Томинского горно-обогатительного комбината (ТГОК). Заполнение разреза начато 1 ноября 2020 г. Карьерный водоотлив в это время был уже отключен, а урез накопленной карьерной воды находился на абсолютной отметке минус 141,44 м. На дне Коркинского разреза образовался техногенный водоем (рис. 2).



Рис. 2. Формирование карьерного озера при рекультивации, 2023 г. (Фото Захарова А.В.)

В настоящий момент разрез по глубине заполнен на 50% закладочным материалом (рис. 3).

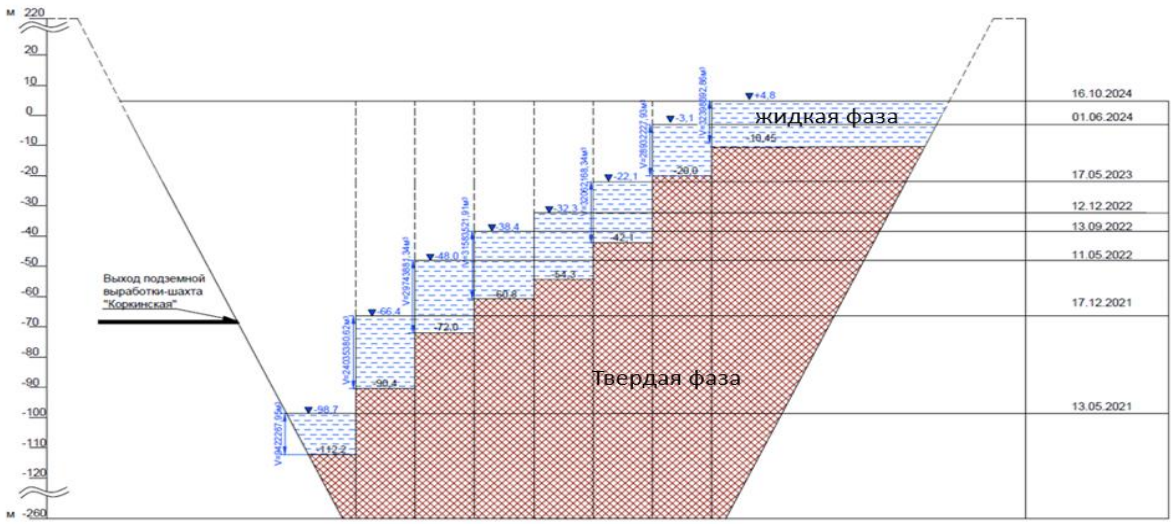


Рис. 3. Схема заполнения отработанной выработки закладочным материалом

Общий объем заполнения разреза, который планируется разместить в отработанной выработке, составит 886 млн м^3 закладочного материала. Отметка зеркала воды составит +210 м.

Этапность системы мониторинга состоит в том, что по мере заполнения разреза мониторинг искусственной эколого-геологической подсистемы расширит свои границы до природно-технической подсистемы за границами разреза, одновременно с этим необходимо отметить, что на сегодняшнем этапе мониторинг первой и второй подсистем идут параллельно.

Идея комплексного мониторинга для хвостохранилищ описана в диссертационной работе Ю.Г. Вишневской [9]. Начиная с 2017 г., в границах искусственной эколого-геологической подсистемы рекультивируемой выработки ведется комплексный мониторинг, включающий геомеханическую, гидрогеологическую и гидрохимическую составляющие. Причем все составляющие имеют модельную ориентированность, что позволяет уточнять проектируемую систему, корректировать работы на протяжении всего процесса рекультивации. Моделирование процесса позволяет опробовать различные варианты без необходимости выполнения дорогостоящих работ. Тестирование и валидация модели проводятся постоянно, что делает возможным своевременное обнаружение ошибок.

Анализ водного баланса отработанной выработки угольного разреза Коркинский выполнен для определения удельного объема подземных дренажных вод в общем объеме оборотного водоснабжения обогатительного производства. При составлении водного баланса формирования техногенного водоема в ходе ликвидации отработанной выработки угольного разреза «Коркинский» путем заполнения закладочным материалом Томинского месторождения учитывались приходные и расходные части [10]. К приходной части баланса отнесены – вода, поступающая с закладочным материалом; атмосферные осадки; подземный приток; к расходной части– потери на

испарение с поверхности водоема; объем подачи осветленной воды на оборотное водоснабжение обогатительной фабрики; объем воды, идущий на заполнение пор в массиве закладочного материала; заполнение объема карьерного водоема.

Геомеханические и геохимическая модели реализуются на этапе подъема уровня воды в разрезе до проектных отметок.

При решении задач устойчивости бортов разреза используются геодезические методы и модели, построенные с использованием аэрофотосъемки выработанного пространства ликвидируемого разреза, позволяющие отслеживать происходящие на откосах бортов и уступов, особенно на недоступных для прямого визуально-инструментального изучения участках (в опасных и оползневых зонах, в закладочных дорожках и т.п.) процессы. Параллельно с этим специалистами Уральского филиала ООО «МНЦ ГЕОМЕХ» были заложены марки (опознавательные знаки), позволяющие более точно привязывать снимаемую местность и создавать цифровые каркасы, по которым осуществляется более точное сравнение изменений, происходящих на откосах и дневной поверхности за оцениваемые промежутки времени.

Геомеханические модели, построенные численными методами, позволяют рассчитывать различные сценарии заполнения карьера и оценивать происходящие изменения напряженно-деформированного состояния пород [11].

Специалистами ООО НПФ «ММПИ» в 2021 г. была составлена геофильтрационная компьютерная модель Коркинского месторождения бурого угля с целью оценки изменения гидрогеодинамической ситуации в районе Коркинского разреза по мере его заполнения закладочным материалом. Прогноз по данной модели: в ближайшие три столетия уровень воды в Коркинском разрезе будет находиться на отметках не выше +210 м, а вокруг разреза будет сохраняться депрессионная воронка за счет большой величины испаряемости. Данное обстоятельство полностью исключает поступление воды из техногенного водоема Коркинского разреза в верхние водоносные горизонты и

ее подтягивание к подземным водозаборам. Прогнозируется, что через 300 лет, при отметке уровня воды +210 м, затапливаемый Коркинский разрез не будет оказывать влияния на подтопление г. Коркино Челябинской обл.

В границах природно-технической подсистемы реализуется системный мониторинг окружающей среды, включающий наблюдения за составом атмосферного воздуха, почв, подземных и поверхностных вод в границах зоны воздействия объекта. Пробуренные наблюдательные скважины вскрывают два основных водоносных комплекса - эоцен-верхнемеловой и триас-юрский угленосный. В 2024 г. уровни воды в разрезе по абсолютным отметкам поднялись до первых метров, а в скважинах – на абсолютные отметки 212-235 м, т.е. происходит разгрузка подземной воды в разрез. По преобладающим ветрам и на границах жилой застройки ведутся наблюдения за составом атмосферного воздуха, в этих же точках – за составом почв.

В границах искусственной рекультивируемой выработки ведутся наблюдения за минеральным составом закладочного материала, составом воды в техногенном озере, объемом заполнения разреза водой, устойчивостью уступов и бортов.

Минеральный состав закладочного материала определен Л.А. Деминой в Уральском государственном горном университете методом рентгеноспектрального микроанализа, отн. %: пирит – около 1, карбонат – 3, рутил – 1, клинохлор – 20, альбит – 32, биотит – 3, кварц – 40. Превышений содержаний загрязняющих химических компонентов в составе закладочного материала над установленным нормативами СанПиН 2.1.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» для почв не зафиксированы. В соответствии с п. 22 раздела IV СанПиН 2.1.3685-21, при отсутствии превышений ПДК/ОДК, закладочный материал соответствует допустимой категории загрязнения ($Z_c < 16$) [12].

В настоящее время химический состав осветленной воды карьерного озера сульфатный кальциево-натриевый, воды пресные и слабосолоноватые при минерализации 0,85-1,11, слабощелочные с pH = 8,17-8,68, величина общей жесткости 6,07-7,33°Ж, щелочность 1,20-1,40 мг-экв/л. Усредненная формула химического состава воды:

$$M0,95\frac{SO_4 77Cl1HCO_3 9}{Na54Ca36Mg8K2}pH8,4.$$

Химический состав техногенной воды в разрезе не меняется по глубине за период наблюдений 2017-2024 гг.

В формировании карьерного озера в Коркинском угольном разрезе в настоящее время принимают участие подземные воды водоносного комплекса эоцен-верхнемеловых отложений и водоносного комплекса терригенных пород верхнего триаса – нижней юры.

Подземные воды единого водоносного комплекса эоцен-верхнемеловых отложений защищены с поверхности мощной толщей глинистых пород ирбитской свиты и потому имеют состав, близкий к природному фону. Защищенность подземных вод высокая. По данным на 2023 г., химический состав водоносного комплекса эоцен-верхнемеловых отложений хлоридно-гидрокарбонатно-сульфатный, кальциево-магниево-натриевый, минерализация составила 1,37 г/дм^3, воды нейтральные с pH = 7,9. В концентрациях, превышающих нормативы качества питьевой воды по СанПиН 2.1.3685-21, выявлены магний, марганец.

Химический состав воды подземных вод водоносного комплекса терригенных пород верхнего триаса – нижней юры изучен в 2017 г. (до начала заполнения разреза закладочным материалом): по составу шахтных вод с участков высачивания в районе станции перекачки «Береговая», по выходам подземных вод в восточном борту. По состоянию на 2017 г. подземные воды водоносного комплекса терригенных пород верхнего триаса – нижней юры

имеют значительную минерализацию и жесткость, связанные с высокими концентрациями сульфат-иона, хлорид-иона. Состав воды хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатный, гидрокарбонатно-хлоридный, натриевый, минерализация 2,05-4,20 г/дм^3, нейтральные-слабощелочные с pH = 7,72-9,0. В концентрациях, превышающих нормативы качества питьевой воды по СанПиН 2.1.3685-21, выявлены натрий, хлориды, сульфаты, аммоний.

Самозатопление карьерной выработки за счет разгружающихся в нее подземных вод, без участия закладочного материала, привело бы к формированию соленого озера с высокими концентрациями ионов натрия, магния, хлоридов, сульфатов, соединений азотной группы.

Мониторинг атмосферного воздуха ведется в рамках природно-технической подсистемы в контрольных точках на границах санитарно-защитной и жилой зон в ходе производственного экологического контроля предприятия, а также при выполнении инженерно-экологических изысканий путем наблюдений за состоянием снегового покрова. Тенденций ухудшения качества атмосферного воздуха не выявлено.

Исследование загрязнения атмосферного воздуха методом снеговой съемки показало, что пылевая нагрузка на краю разреза меняется от 63,5 до 120,8 кг/сут/км^2, т.е. уровень загрязнения снегового покрова отработанной выработки угольного разреза по МР 5174-90 «Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных мест металлами по их содержанию в снежном покрове и почве» (1990 г.) – низкий (P < 250 кг/сут на км^2). Состав пылевой фазы снегового покрова: редкие зерна кварца, обломки угля, тонкая пыль, органика – семена березы, единичная сфера – металл. Это объясняется наличием грунтовых дорог, экскавацией горных пород, выбросами в атмосферу при горении как отвалов, так и пород карьера [13].

Химический состав фильтрата талого снега формируется в результате поступления с осадками различных химических элементов, поглощения

снеговым покровом газов, водорастворимых аэрозолей и взаимодействия со снеговым покровом твердых частиц, оседающих из атмосферы. При этом, если количество выпадающего со снегом твердого осадка характеризует запыленность территории, то фильтрат талого снега отражает степень загрязнения воздушного бассейна наиболее растворимыми формами элементов [13]. По результатам мониторинга за 2021-2023 гг. установлено, что в процессе заполнения разреза закладочным материалом происходит изменение состава снеговой воды с сульфатного и сульфатно-гидрокарбонатного, формирующегося в зоне горения углей, на гидрокарбонатный, что свидетельствует об улучшении качества атмосферного воздуха в районе рекультивации.

Контроль качества почв прилегающей к разрезу территории проводится в точках, сопряженных с пунктами контроля качества атмосферного воздуха. Согласно результатам мониторинга, на границе санитарно-защитной и жилой зон превышения концентраций загрязняющих веществ в почвах над установленным нормативами СанПиН 2.1.3685-21 не зафиксированы, тенденций ухудшения качества почв не выявлено. Таким образом, в настоящее время влияние работ по ликвидации отработанной выработки угольного разреза «Коркинский» на качество почв прилегающей территории не прослеживается.

С целью учета количественного взаимодействия водоносных горизонтов, атмосферных осадков и техногенных вод составлена балансовая модель формирования техногенного водоема при ликвидации отработанной выработки угольного разреза «Коркинский» путем заполнения закладочным материалом Томинского ГОКа. Схема балансовых составляющих Коркинского разреза приведена на рис. 4.

$$Б = (V1 + V2 + V3) - (V4 + V5 + V6 + V7)$$

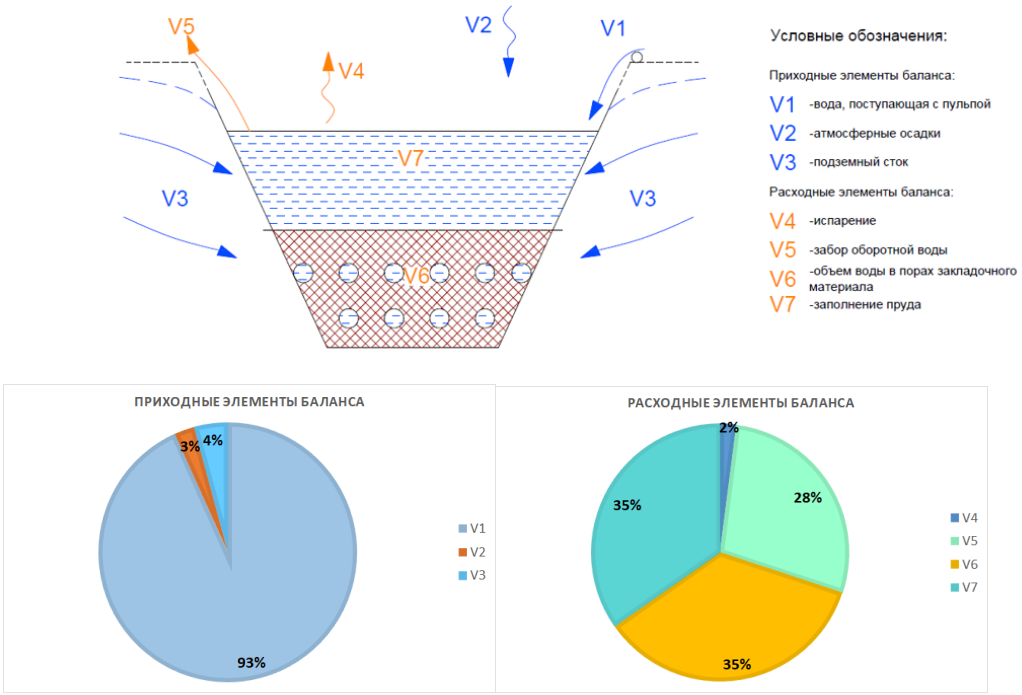


Рис. 4. Схема балансовых составляющих угольного разреза «Коркинский»

Результаты расчетов, основанные на фактических наблюдениях в течение расчетного года, показали, что основная часть прихода воды в балансе угольного разреза «Коркинский» обеспечивается за счет поступления воды из закладочного материала (93,3%). Доля притока подземных вод составляет 4,2% от всего объема воды, поступающего в отработанную выработку. Величина притока подземных вод в 15 раз меньше, чем разница между объемом поступления воды с закладочным материалом и объемом осветленной воды, откачиваемой для оборотного водоснабжения. Соответственно, подземные воды не играют значимой роли в объеме откачиваемой из карьера воды.

В зоне потенциального влияния отработанной выработки угольного разреза «Коркинский» создана сеть наблюдательных скважин для контроля за уровнем и качеством подземных вод. Наблюдательные гидрогеологические

скважины пробурены в 2017 г. по лучам в нескольких направлениях с целью установления формы депрессии уровней подземных вод на участке Коркинского разреза.

Химический состав подземных вод водоносного комплекса эоцен-мелового возраста преимущественно сульфатно-гидрокарбонатный, хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатный, по катионам смешанный, магниево-натриево-кальциевый, минерализация (по сухому остатку) 0,29-2,33 г/дм^3, воды от нейтральных до слабощелочных с pH = 6,8-7,9. В концентрациях, превышающих нормативы качества питьевой воды по СанПиН 2.1.3685-21, выявлены ионы натрия, магния, железа, марганца, сульфаты и нефтепродукты.

Химический состав подземных вод триас-юрского водоносного комплекса сульфатно-гидрокарбонатный, гидрокарбонатно-хлоридный, по катионам натриевый, натриево-магниево-кальциевый, минерализация (по сухому остатку) 1,68-3,31 г/дм^3, воды нейтральные с pH = 6,2-6,9. В концентрациях, превышающих нормативы качества питьевой воды по СанПиН 2.1.3685-21, выявлен аналогичный комплекс загрязнителей, характерный для водоносного комплекса эоцен-мелового возраста.

Ликвидация отработанной выработки угольного разреза «Коркинский» закладочным материалом не оказывает влияние на подземные воды прилегающих к угольному разрезу территорий, т.к. в настоящее время поток подземных вод направлен в сторону карьерной выработки, вокруг Коркинского разреза в процессе его отработки сформирована депрессионная воронка [14]. По результатам мониторинга тенденций ухудшения качества подземных вод по наблюдательным скважинам не выявлено.

Принцип ситуационности заключается в принятии управленческих решений. Первый этап рекультивации к настоящему времени завершен. В ходе его реализации на Коркинском разрезе локализованы все зарегистрированные в разрезе очаги эндогенных пожаров путем засыпки их инертными вскрышными

породами. Кроме того, проводится профилактика образования новых очагов самонагревания для предотвращения образования пожаров. Эти мероприятия привели к значительному улучшению экологической ситуации: выбросы загрязняющих веществ от пожаров на Коркинском разрезе сократились более чем в 200 раз – с 950 т в 2017 г. до 4,5 т в 2022 г. При проведении первого этапа по периметру разреза сооружен оградительный вал и построено ограждение для предотвращения попадания людей и животных в выработанное пространство. К моменту завершения первого этапа ликвидации разреза начаты горные работы на Томинском карьере, подготовлена инфраструктура для производства закладочного материала.

В ходе реализация второго этапа построены трубопроводы, насосные станции и начата подача закладочного материала по трубопроводам, смонтированным на северном и южном бортах разреза, до восточного борта.

Ближайшей задачей третьего этапа является пригрузка восточного борта закладочным материалом с целью сохранения его устойчивости в будущем. Сформирована комплексная система экологического, гидрогеологического и геомеханического мониторинга. Предусматриваются возврат оборотной воды на Томинский ГОК, проведение мониторинга состояния прибортового массива ликвидируемого разреза и состояния подземных вод вблизи него. На этом этапе отметка зеркала воды искусственного водоема должна достигнуть +155 м.

Четвертый этап ликвидации включает техническую и биологическую рекультивацию. При проведении технической рекультивации предусмотрены: частичное выполаживание верхних уступов до угла устойчивого откоса; очистка берм от осыпей и их планировка; засыпка нагорных и водоотводных канав; демонтаж электрических сетей трубопровода, площадки выпуска закладочного материала и других вспомогательных объектов; нанесение плодородного слоя почвы. В процессе биологической рекультивации будет выполнена посадка кустарниковой и древесной растительности и смеси трав на уступах и

по периметру горной выработки. На заключительном этапе рекультивации предусмотрено обустройство рекреационной зоны с организацией мест отдыха рядом с образовавшимся водоемом [7].

Принцип адаптивности проявляется в том, что искусственная эколого-геологическая подсистема – Коркинский разрез «приспосабливается» к изменениям как внутренних, так и внешних условий. Если до 2017 г. наблюдались оползни и в нижней части разреза, то в настоящее время они формируются чаще на верхних уступах и связаны, в основном, с увлажнением нескальных грунтов, а также на участках отработанных лав подземных очистных выработок значительной протяженности.

В качестве искусственной эколого-геологической подсистемы рассмотрен Коркинский угольный разрез, который в настоящее время в процессе рекультивации заполняется закладочным материалом, полученным при обогащении медно-порфировых руд. Данный процесс сопровождается мониторингом окружающей среды, который делится на две подсистемы, не связанные в настоящее время, но объединяющиеся в будущем. В пострекультивационный период заполненная карьерная выработка переходит из области разгрузки подземных вод в область питания водоносных горизонтов.

Процесс заполнения закладочным материалом ликвидирует эндогенные пожары в угольных породах, увеличивает устойчивость бортов за счет пригрузки их нижней части твердой фазой закладочного материала, увеличивает щелочность воды в техногенном водоеме, что снижает миграционную способность соединений тяжелых металлов.

Реализация разработанных принципов мониторинга окружающей среды с учетом принятых управленческих решений в настоящее время обеспечивает улучшение качества атмосферного воздуха, поверхностных и подземных вод, обеспечивает устойчивость бортов разреза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Косинова И.И., Курышев А.А., Бударина В.А. Роль инженерно-экологических изысканий в проектировании объектов ведущих уровней опасности // Инженерно-экологические изыскания – нормативно-правовая база, современные методы и оборудование: материалы общероссийской научно-практической конференции. М., 2020. С. 110 – 115.
2. Королев В.А. Экологическая геокибернетика: теория управления эколого-геологическими системами. М.: ООО Сам Полиграфист, 2020. 440 с.
3. Королев В.А. Мониторинг геологической среды. М.: Изд-во МГУ, 1995.
4. Гуман О.М., Захаров А.В., Макаров А.Б. Особенности локального экологического мониторинга окружающей среды объектов горно-промышленного производства на примере Среднего Урала // Известия вузов. Горный журнал, 2007. № 2. С. 56 – 59.
5. Галицкая И.В., Батрак Г.И. Обоснование принципов мониторинга подземных вод при управлении риском на территориях экологоопасных предприятий // Мониторинг. Наука и технологии. 2015. Вып. 4(25). С. 21 – 27.
6. Гуман О.М. Эколого-геологические условия полигонов твердых бытовых и промышленных отходов Среднего Урала. Автореф. дис. … докт. геол-мин. наук, Уральский государственный горный университет, Екатеринбург, 2009.
7. Гончар Н.В., Соколовский А.В., Терешина М.А. Проект комплексного освоения георесурсов // Рациональное освоение недр. 2023. № 3. С. 38 – 44.
8. Формирование гидрогеологических условий Челябинского угольного бассейна на постэксплуатационном этапе / Л.С. Рыбникова, П.А. Рыбников, А.Ю. Смирнов, И.В. Галицкая, Г.И. Батрак, О.В. Лысенко, В.С. Пономарев // Геоэкология. 2023. № 2. С. 3 – 18.
9. Вишневская Ю.Г., Закономерности техногенных изменений свойств глинистых пород в основании сооружений промышленной гидротехники: на примере хвостохранилищ «Фосфорит». Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук, Государственный горный институт им. Г.В. Плеханова, Санкт-Петербург. 1993.
10. Неретин А.В., Пятаков В.Г., Соколов А.С., Водный баланс хвостохранилища и его влияние на окружающую среду // Гидротехника. 2013. № 2. С. 63 – 65.
11. Кутепов Ю.Ю. Гидрогеомеханическое обоснование устойчивости бортов карьеров при размещении в них жидких промышленных отходов // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2024. № 9. С. 65 – 77.

12. Гуман О.М., Антонова И.А., Макаров А.Б., Гончар Н.В. Роль техногенных минеральных образований при рекультивации нарушенных земель в Уральском регионе. Инженерно-экологические изыскания – нормативно-правовая база, современные методы и оборудование, Материалы Общероссийской научно-практической конференции. М., 2023, С. 75 – 83.
13. Специфика снеговой съемки в пределах осваиваемых и действующих горнопромышленных районов Урала / Н.В. Гончар, А.Б. Макаров, О.М. Гуман, И.А. Антонова // Вестник МГТУ. 2024. Т. 27. № 2. С. 158 – 169.
14. Оценка защищенности водной среды при разработке крупных месторождений медно-порфировых руд. // Н.В. Гончар, И.А. Четверкин, А.И. Вишняк, И.В. Стариков // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2023. № 12-2. С. 16 – 26.

Поступила в редакцию: 13.03.2026

Сведения об авторах

Гончар Наталия Валерьевна
кандидат технических наук, АО «Русская медная компания», 620000 г. ул. Горького, д. 57, г. Екатеринбург, Россия.
E-mail: gonchar_nataliya@rcc-group.ru

Антонова Ирина Александровна
кандидат геолого-минералогических наук, ООО «Уралгеопроект», 620146, ул. Ак. Бардина, д. 48А, к. 144, г. Екатеринбург, Россия.
E-mail: Dolinina_ira@mail.ru

Гуман Ольга Михайловна
доктор геолого-минералогических наук
ООО «Уралгеопроект», ООО «Уралгеопроект», 620146, ул. Ак. Бардина, д. 48А, к. 144, г. Екатеринбург, Россия.
E-mail: Guman2007@mail.ru

N. V. Gonchar, I. A. Antonova, O. M. Guman

PRINCIPLES OF ENVIRONMENTAL MONITORING DURING RECLAMATION OF DISTURBED LANDS

Annotation. Monitoring programs developed at industrial enterprises often do not account for the properties of the geological environment that influence soil composition, groundwater levels, and the presence of exogenous processes; the impact on adjacent territories is typically assessed as the ratio of exceedance over background levels or maximum permissible concentrations. During the reclamation of disturbed lands, a rather complex pattern of interactions emerges between the technogenic object and environmental components, forming two subsystems – an artificial ecological-geological subsystem and a natural-technical subsystem. The aim of the research was to correlate the trends in development and changes in environmental components (atmosphere, soils, grounds, surface and groundwater) considering their ecological consequences for humans and other organisms within disturbed lands, in conjunction with monitoring of adjacent territories, and on this basis, to develop recommendations and management decisions for optimizing the functioning of the facility, ensuring ecologically favorable conditions for its existence and sustainable development. The Korkino open-pit mine is the deepest coal quarry in Eurasia. The research methodology is aimed at studying parameters that enable comprehensive monitoring, including geomechanical, hydrogeological, and hydrochemical components. A model-oriented approach is applied, starting from predicting the behavior of the research object through the reclamation process to adjusting management decisions based on monitoring results. The backfilling process eliminates endogenous fires in coal rocks, increases slope stability by loading their lower part with the solid phase of the backfill material, and increases water alkalinity in the technogenic reservoir, thereby reducing the migration capacity of metals. Currently, improvements in atmospheric air and water quality are being observed, and measures are being implemented to ensure the stability of the open-pit slopes.
Keywords: reclamation, environmental monitoring, artificial ecological-geological subsystem, natural-technogenic subsystem, backfill material, elimination of mine workings.

For citation: Gonchar N. V., Antonova I. A., Guman O. M. [Principles of environmental monitoring during reclamation of disturbed lands] *Upravlenie tekhnosferoi*, 2026, vol. 9, issue 2, pp. 272–293. DOI: 10.35634/UdSU.2026.42.35.002. (In Russ.).

REFERENCES

1. Kosinova I.I., Kuryshev A.A., Budarina V.A. Rol'inzhenerno-ehkologicheskikh izyskanii v proektirovanii ob"ektov vedushchikh urovnei opasnosti [The role of engineering and environmental surveys in the design of facilities of leading hazard levels]. *Inzhenerno-ehkologicheskie izyskaniya – normativno-pravovaya baza, sovremennye metody i oborudovanie: materialy obshcherossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii.* [*Engineering and environmental surveys – regulatory framework, modern methods and equipment: materials of the All-Russian scientific and practical conference*]. Moscow, 2020, pp. 110 – 115. (In Russ.).

2. Korolev V.A. *Ehkologicheskaya geokibernetika: teoriya upravleniya ehkologo-geologicheskimi sistemami*. [Ecological geocybernetics: theory of management of ecological and geological systems]. Moscow: OOO Sam Poligrafist, 2020, 440 p. (In Russ.).
3. Korolev V.A. *Monitoring geologicheskoi sredy*. [Monitoring of the geological environment]. Moscow: Publ., MGU, 1995. (In Russ.).
4. Guman O.M., Zakharov A.V., Makarov A.B. Osobennosti lokal'nogo ehkologicheskogo monitoringa okruzhayushchei sredy ob"ektov gorno-promyshlennogo proizvodstva na primere Srednego Urala [Features of local environmental monitoring of mining facilities on the example of the Middle Urals]. *Izvestiya vuzov. Gornyi zhurnal* [*Izvestiya vuzov. Mining Journal*]. 2007, no. 2, pp. 56 – 59. (In Russ.).
5. Galitskaya I.V., Batrak G.I. Obosnovanie printsipov monitoringa podzemnykh vod pri upravlenii riskom na territoriyakh ehkologoopasnykh predpriyatii [Substantiation of the principles of groundwater monitoring in risk management in the territories of environmentally hazardous enterprises]. *Monitoring. Nauka i tekhnologii* [*Monitoring. Science and technology*]. 2015, issue 4(25), pp. 21 – 27. (In Russ.).
6. Guman O.M. *Ehkologo-geologicheskie usloviya poligonov tverdykh bytovykh i promyshlennykh otkhodov Srednego Urala*. [Ecological and geological conditions of landfills of solid household and industrial waste in the Middle Urals]. Avtoref. dis. … dokt. geol-min. nauk, Ural'skii gosudarstvennyi gornyi universitet, Ekaterinburg, 2009. (In Russ.).
7. Gonchar N.V., Sokolovskii A.V., Tereshina M.A. Proekt kompleksnogo osvoeniya georesursov [The project of integrated development of georesources]. *Ratsional'noe osvoenie nedr* [*Rational development of the subsoil*]. 2023, no. 3, pp. 38 – 44. (In Russ.).
8. Rybnikova L.S., Rybnikov P.A., Smirnov A.Yu., Galitskaya I.V., Batrak G.I., Lysenko O.V., Ponomarev V.S. Formirovanie gidrogeologicheskikh uslovii Chelyabinskogo ugol'nogo basseina na postehkspluatatsionnom ehtape [Formation of hydrogeological conditions of the Chelyabinsk coal basin at the post-exploitation stage]. *Geoehkologiya* [*Geoecology*]. 2023, no. 2, pp. 3 – 18. (In Russ.).
9. Vishnevskaya Yu.G., *Zakonomernosti tekhnogennykh izmenenii svoistv glinistykh porod v osnovanii sooruzhenii promyshlennoi gidrotekhniki: na primere khvostokhranilishch «Fosforit».* [Patterns of man–made changes in the properties of clay rocks at the base of industrial hydraulic engineering structures: on the example of Phosphorite tailings ponds]. Avtoref. dis. ... kand. geol.-miner. nauk, Gosudarstvennyi gornyi institut im. G.V. Plekhanova, Sankt-Peterburg. 1993. (In Russ.).

10. Neretin A.V., Pyatakov V.G., Sokolov A.S., Vodnyi balans khvostokhranilishcha i ego vliyanie na okruzhayushchuyu sredu [The water balance of a tailings dump and its impact on the environment]. *Gidrotekhnika* [Hydraulic Engineering]. 2013, no. 2, pp. 63 – 65. (In Russ.).
11. Kutepov Yu.Yu. Gidrogeomekhanicheskoe obosnovanie ustoichivosti bortov kar'erov pri razmeshchenii v nikh zhidkikh promyshlennykh otkhodov [Hydrogeomechanical justification of the stability of the sides of quarries when liquid industrial waste is deposited in them]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [*Mining information and Analytical Bulletin*]. 2024, no. 9, pp. 65 – 77. (In Russ.).
12. Guman O.M., Antonova I.A., Makarov A.B., Gonchar N.V. Rol' tekhnogennykh mineral'nykh obrazovanii pri rekul'tivatsii narushennykh zemel' v Ural'skom regione. Inzhenerno-ehkologicheskie izyskaniya – normativno-pravovaya baza, sovremennye metody i oborudovanie [The role of technogenic mineral formations in the reclamation of disturbed lands in the Ural region. Engineering and environmental surveys – the regulatory framework, modern methods and equipment], *Materialy Obshcherossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [*Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference*]. Moscow, 2023, pp. 75 – 83. (In Russ.).
13. Gonchar N.V., Makarov A.B., Guman O.M., Antonova I.A. Spetsifika snegovoi s"emki v predelakh osvaivaemykh i deistvuyushchikh gornopromyshlennykh raionov Urala [Specifics of snow surveying within the developed and operating mining regions of the Urals]. *Vestnik MGTU.* [*Bulletin of the Moscow State Technical University*]. 2024, vol. 27, no. 2, pp. 158 – 169. (In Russ.).
14. Gonchar N.V., Chetverkin I.A., Vishnyak A.I., Starikov I.V. Otsenka zashchishchennosti vodnoi sredy pri razrabotke krupnykh mestorozhdenii medno-porfirovykh rud. [Assessment of the protection of the aquatic environment during the development of large deposits of copper porphyry ores]. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'* [*Mining Information and Analytical Bulletin*]. 2023, no. 12-2, pp. 16 – 26. (In Russ.).

Received: 13.03.2026

About the Authors

Natalia V. Gonchar
Candidate of Technical Sciences, JSC "Russian Copper Company", 57 Gorky St., Yekaterinburg, 620000, Russia.
E-mail: gonchar_nataliya@rcc-group.ru

Antonova Irina Aleksandrovna
Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Uralgeoproekt LLC, 620146, 48A Ak. Bardina str., room 144, Yekaterinburg, Russia.
E-mail: Dolinina_ira@mail.ru

Guman Olga Mikhailovna
Doctor of Geological and Mineralogical Sciences
Uralgeoproekt LLC, Uralgeoproekt LLC, 620146, Ak. Bardina str., 48A, room 144, Yekaterinburg, Russia. E-mail: Guman2007@mail.ru