

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УЩЕРБА ПРИ СБРОСЕ ШАХТНЫХ ВОД ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ В РЕКУ БЕРЕЗОВКУ

Карпенко Н. П., Супрун В. А.

ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL DAMAGE UPON DISCHARGE OF MINE WATERS OF THE GOLD ORE DEPOSIT INTO THE BEREZOVKA RIVER

Karpenko N. P., Suprun V. A.

Аннотация

В статье рассматриваются результаты проведенных исследований по изучению геоэкологических условий разработки Березовского золоторудного месторождения в Свердловской области и его влияния на окружающую среду. Установлено, что ухудшение состояния окружающей обстановки тесным образом связано с длительной эксплуатацией месторождения и сбросом в больших объемах шахтных и рудничных вод в поверхностные водные объекты. Выполнено обследование шахтных вод, изучен состав, концентрации загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов, нефтепродуктов и взвешенных частиц. Для оценки экологического ущерба, причиненного реке Березовка, были использованы основные теоретические и методологические положения теории анализа геоэкологических рисков и оценки экологического ущерба, причиненного водному объекту в результате сброса загрязненных рудничных вод. Проведена количественная оценка эколого-экономического ущерба, причиненного реке Березовка в результате сброса некачественных шахтных вод при эксплуатации «Березовского рудника». Практическая значимость исследований заключается в том, что рассчитанный эколого-экономический ущерб может быть направлен на разработку компенсационных природоохранных мероприятий по реализации инновационных современных технологий глубокой очистки шахтных вод, применение которых позволит получить питьевую воду для населения и улучшить экологическую ситуацию в рассматриваемом регионе.

Ключевые слова: золоторудное месторождение, окружающая среда, геоэкологический риск, шахтные воды, водоприемы, эколого-экономический ущерб, питьевое водоснабжение, природоохранные технологии.

Введение

Высокие антропогенные нагрузки на окружающую среду наносят огромный экологический ущерб, который не всегда может быть восстановлен. На территории Свердловской области находятся и функционируют большое количество промышленных предприятий, которые недоста-

Abstract

The article discusses results of studying geo-ecological conditions for the development of the Berezovsky gold ore deposit in the Sverdlovsk Region and its impact on the environment. It is established that environmental deterioration is closely related to the long-term operation of the deposit and discharge of large amounts of mine waters into surface water bodies. A survey of mine waters was performed, the composition and concentrations of pollutants, including heavy metals, petroleum products and suspended particles, were studied. To assess the environmental damage caused to the Berezovka River, main theoretical and methodological provisions of the theory of analysis of geo-ecological risks and assessment of environmental damage caused to the water body as a result of discharging contaminated mine waters were used. A quantitative assessment of the environmental and economic damage caused to the Berezovka River as a result of discharging poor-quality mine waters during the operation of the Berezovsky mine was carried out. Practical significance of the research lies in the fact that the calculated environmental and economic damage can be used to develop compensatory environmental measures for implementation of innovative technologies of deep mine-water treatment, the use of which will provide drinking water for the population and improve the environmental situation in the region under consideration.

Keywords: gold ore deposit, environment, geo-ecological risk, mine waters, water inflows, environmental and economic damage, drinking water supply, environmental technologies.

точно эффективно очищают сточные воды или сбрасывают их в поверхностные понижения и водоемы, что создает весьма напряженную экологическую ситуацию в области. Анализ показал, что в целом по области фиксируется весьма неблагоприятная геоэкологическая обстановка, причиной которой является сброс промышлен-

ных неочищенных стоков ведущими отраслями народного хозяйства — горнодобывающей и горнопромышленной. Так, в горнодобывающей отрасли интенсивная эксплуатация минеральных и сырьевых ресурсов привела к тому, что на территории Свердловской области претерпели существенные изменения и трансформацию естественные ландшафты, почвы, поверхностные водоемы, подземные воды, в которых часто наблюдаются необратимые процессы. Одним из источников загрязнения окружающей среды является золоторудное месторождение твердых полезных ископаемых — «Березовский рудник».

Актуальность исследований связана с изучением проблемы по снижению антропогенной нагрузки на природную среду в результате разработки месторождений твердых полезных ископаемых. Для территории Березовского золоторудного месторождения Свердловской области проблема снижения антропогенной нагрузки является особенно актуальной и связана, прежде всего, с загрязнением окружающей территории в результате длительной эксплуатации месторождения и сброса в больших объемах шахтных вод в природные компоненты. Поэтому вопросы по разработке технических решений и мероприятий по смягчению антропогенной нагрузки на природную среду и улучшению геоэкологических условий рассматриваемой территории являются актуальными и имеют большую практическую значимость. Изучению геоэкологических проблем последствий освоения месторождений полезных ископаемых посвящены работы Н. И. Бородаевского [1], Е. Е. Войтинской [2], В. М. Гольдберга [3], В. И. Газды [3], В. Е. Земских [6], Т. Л. Калыбекова [7], В. Г. Капустина [8], Н. П. Карпенко [10, 13], Д. А. Манукьяна [14, 16] и др. Однако большая часть исследований не достаточно полно отражает диагностику, характер и масштабы формирования негативных последствий при освоении месторождений твердых полезных ископаемых и рассматривает их без учета эколого-экономических потерь, наносимых природной среде при функционировании месторождений.

Методы и материалы исследований

Объект исследований. Золоторудное месторождение «Березовский рудник» находится в пределах крупного Урало-Тобольского анти-

клинория, имеет крупные тектонические разломы и представлено такими магматическими горными породами, как габбро, гипербазиты и гранитоиды. Данное месторождение считается одним из первых золоторудных месторождений, которое было открыто в России еще в 1748 году и свое название получило от речки Березовки. Водосбор р. Березовки небольшой, а сама река является правым притоком р. Пышмы, в окрестностях которой и были найдены крупнейшие в России месторождения россыпного и рудного золота [1].

Разработка Березовского золоторудного месторождения ведется подземным способом, связана с большими объемами рудничных и шахтных вод, которые отводятся за пределы месторождения. Суммарная производительность отбора этих вод достаточно большая и составляет около 40 тыс. м³/сут. Дополнительными источниками объема рудничных вод являются аварийные стоки из городских подземных коммуникаций [2].

Эффективная подземная разработка месторождений твердых полезных ископаемых связана, как правило, с непрерывной откачкой шахтных вод и их сбросом в отстойники, пруды-накопители, овраги, балки, естественные понижения, близлежащие реки и водоемы. Непосредственный сброс шахтных вод в естественные понижения и поверхностные водоемы наносит огромный экологический ущерб окружающей среде, что существенно снижает ее экологическую безопасность. В настоящее время на шахте работают две водоотливные установки на горизонтах 162 и 512 метров.

Оценка исследований по анализу геоэкологической обстановки объекта исследований показала, что основные негативные последствия, которые проявляются в результате разработки Березовского золоторудного месторождения, связаны со сбросом неочищенных шахтных вод в реку Березовку, ухудшающие ее качество. Поэтому ставилась задача по оценке геоэкологических рисков и экологических ущербов, которые возникают в окружающей среде, и, в частности, по оценке вреда, который наносится реке Березовке в результате сброса в нее некачественных шахтных и дренажных вод данного месторождения.

Методы исследований. Решение поставленной проблемы основывалось на теоретических

и методологических положениях теории анализа, идентификации и оценки рисков, в соответствии с которыми возможно получить количественные расчеты по оценке геоэкологических рисков и экологических ущербов окружающей среде, наносимых антропогенными источниками загрязнения. Так, в рамках этого подхода геоэкологический риск определяется как вероятность возникновения негативных последствий и возможных финансовых потерь от ухудшения состояния параметров окружающей среды в результате точечного воздействия источников антропогенного происхождения на отдельные эколого-ресурсные компоненты [10, 12].

Геоэкологический риск в сфере разработки месторождений полезных ископаемых может быть определен как вероятность возникновения отрицательных последствий, вызываемых извлечением минеральных ресурсов из месторождений, отчуждением земель под складирование отработанных отвалов, сбросом дренажных, шахтных и рудничных вод в естественные понижения и водоемы в природном ландшафте, приводящих к экологическим ущербам, определяется следующей зависимостью [9, 11]:

$$R = \sum_{i=1}^n P_i k_i \cdot \sum_{j=1}^m U_j k_j, \quad (1)$$

где P_i — вероятность возникновения негативных последствий от i -го воздействующего фактора; (U_j) ущерб от j -го фактора; k_i, k_j — вес фактора (весовой коэффициент); i, j — количество факторов.

Среди основных факторов, которые влияют на геоэкологический риск, высокий удельный вес принадлежит масштабу и длительности антропогенных воздействий на природную среду, вызванных отбором минеральных и сырьевых ресурсов при разработке месторождения полезных ископаемых. Экологический ущерб связывается либо с разрушением отдельных компонентов природной среды, либо с ухудшением параметров их состояния и приводящих к соответствующим потерям. Размеры экологического ущерба следует оценивать набором оценочных характеристик по различным компонентам природной среды [13].

Оценка геоэкологического риска может выражаться в количественной и качественной формах. Количественная оценка определяется как

вероятность наступления негативных процессов ($P = 0 \dots 1$) для определенного временного интервала (1 год, 3 года, 10 лет), а оценка экологических ущербов выражается, как правило, в денежном виде. Качественную оценку определяют через градации возможности наступления нежелательных последствий. При этой оценке предлагается следующий подход к ранжированию рисков: маловероятны при $P_{\text{н}} < 0,2$; возможны при $P_{\text{н}} = 0,2 \dots 0,4$; вероятны при $P_{\text{н}} = 0,4 \dots 0,7$ и весьма вероятны при $P_{\text{н}} > 0,7$ [15].

Основная трудность исследований в области анализа и идентификации риска является выявление и оценка неопределенности, с которой приходится сталкиваться при изучении функционирования объектов геологоразведки. Применительно к этим объектам неопределенность вызывается недостаточно полной и не всегда обоснованно достоверной информацией о характере формирования негативных процессов, масштабах и особенностях развития, законах формирования экологического ущерба, их величинах и т. д.

Отличительная особенность исследований по оценке геоэкологических рисков на объектах разработки месторождений твердых полезных ископаемых — наличие факторов стохастической неопределенности классического типа. Главным фактором проявления геоэкологического риска является неопределенность представлений о природной среде [4, 5].

Прежде всего, это связано с недостаточной изученностью тектонических условий и геологического строения формирования пластовой залежи и рудного тела. Кроме того, неопределенность связана и с исходной гидрогеологической информацией — геофильтрационных, емкостных и других параметрах, свойствах горных пород и водоносных горизонтов, их изменчивости и неоднородности, которые сформировались в результате взаимодействия физических, физико-химических процессов в природной среде. Все это определяет возможные объемы сбросных шахтных и рудничных вод и снижение уровня экологической безопасности окружающей среды.

Понятие экологической безопасности и геоэкологического риска на объектах разработки месторождений твердых полезных ископаемых

взаимосвязаны. Дать количественную оценку степени взаимосвязи (B) риска и уровня экологической безопасности месторождения твердых полезных ископаемых можно следующим образом [11]:

$$B = 1 - \left(\sum_{i=1}^{n,m} R_{i,j} \cdot W_{i,j} \right), \quad (2)$$

где $\sum_{i=1}^{n,m} R_{i,j} \cdot W_{i,j}$ — уровень суммарного риска функционирования объекта $\sum R_{i,j} \in [0,1]$;

$W_{i,j}$ — весовой коэффициент ущерба от возникновения соответствующего геоэкологического риска.

Степень экологической безопасности функционирования объекта будет максимальной $B \approx 1$ при минимальных суммарных рисках $\sum R \approx 0$. И наоборот, при максимальных суммарных рисках степень экологической безопасности функционирования объекта будет минимальной.

Основным негативным процессом, который возникает при разработке месторождений полезных ископаемых и имеет высокую вероятность возникновения, является сброс некачественных шахтных и рудничных вод в поверхностные водоемы и реки.

Понятие экологического ущерба, как правило, связывается с ухудшением состояния отдельного компонента природной среды и, как следствие, снижением соответствующих экономических потерь. В качестве основного методологического подхода по оценке экологического ущерба, причиненного водному объекту в результате сброса некачественных шахтных вод при эксплуатации «Березовского рудника», была использована методика оценки размера вреда, наносимого водному объекту, разработанная в соответствии с Водным кодексом. Данная методика используется для количественной оценки экологического ущерба (в денежном выражении), который причиняется сбросами промышленных стоков поверхностным водным объектам. Количественная оценка эколого-экономического ущерба может проводиться по следующей зависимости [20]:

$$Y = K_{вр} \cdot K_B \cdot K_{ин} \cdot \sum_{i=1}^n H_i \cdot M_i \cdot K_{из}, \quad (3)$$

где Y — размер экологического вреда, тыс. руб.; $K_{вр}$ — коэффициент учета природно-климатических

условий; K_B — коэффициент учета экологических факторов; $K_{ин}$ — коэффициент индексации экономического развития, характеризующий инфляцию; H_i — таксы для начисления экологического ущерба, тыс. руб./т; M_i — масса сброшенного i -го загрязняющего вещества, т; $K_{из}$ — коэффициент, учитывающий интенсивность негативного воздействия загрязняющих веществ на водный объект.

В соответствии с основными положениями данной методики масса сброшенного загрязняющего вещества шахтных вод определяется по формуле:

$$M_i = Q(C_{фi} - C_{ди})T \cdot 10^{-6}, \quad (4)$$

где M_i — масса сброшенного i -го загрязняющего вещества, т; i — загрязняющее вещество, по которому вычисляется размер вреда; Q — расход вод с превышением содержания i -го загрязняющего вещества, м³/ч; $C_{фi}$ — средняя фактическая за период сброса концентрация i -го загрязняющего вещества в сбросных водах за период времени T , мг/дм³; $C_{ди}$ — допустимая концентрация i -го загрязняющего вещества в пределах норматива предельно допустимого сброса загрязняющих веществ в водные объекты, мг/дм³.

Результаты исследований и обсуждение

Анализ проведенных исследований позволил установить, что длительная эксплуатация месторождения (более 270 лет) привела к ухудшению экологических и геоэкологических условий, а именно: загрязнению почв, поверхностных и подземных вод различными загрязнителями, в том числе тяжелыми металлами, высокое содержание которых причиняет существенный экологический вред окружающей среде. В процессе исследований по данным эксплуатации и результатов непосредственных наблюдений за водоотливом шахтных вод было установлено, что суммарная величина общих притоков шахтных вод на месторождении составляет 600–800 м³/ч. Геологическими исследованиями было отмечено, что в отдельных местах при пересечении горными выработками разломных тектонических и ослабленных геологических областей суммарные объемы водопритоков могут значительно увеличиваться.

Обследование шахтных водопритоков выполнялось в непосредственной близости от стволов шахт «Южная» и «Северная», по которым в настоящее время производится подъём воды. Далее

700 метров от этих стволов маршруты не уходили. Дело в том, что строительство и поддержание протяжённого водовода внутри подземных горных выработок экономически нецелесообразно. Расчеты показали, что себестоимость питьевой воды может стать соизмеримой с обычными подземными водозаборами, удалёнными от города Берёзовский [23].

Вода к водосборникам поступает с разных направлений и по разным горизонтам. Перед обследованием ставилась задача по изучению магистральных водопритоков к водоподъёмным стволам и оценке возможности их использования для питьевого водоснабжения. При этом были использованы следующие критерии:

- химический состав воды в магистральном водопритоке должен соответствовать питьевым стандартам после необходимой водоподготовки;
- в пределах подземных горных выработок, участвующих в формировании данного магистрального водопритока, должна быть возможность выделения зоны санитарной охраны строгого режима (полное ограничение доступа туда людей и техники). Данный критерий может выполняться только на полностью выработанных участках месторождения;
- дебит магистрального водопритока должен быть достаточен для добычи воды с учётом экономической рентабельности, поэтому водопритоки с дебитом менее 10 л/с не рассматривались как перспективные;
- в горной выработке должна быть возможность сооружения небольшой плотины для сглаживания неравномерности водопритоков и установки насосного оборудования.

Магистральные водопритоки изучались как визуально, так и инструментально. В процессе визуального обследования оценивался примерный дебит подземного водотока, а также органолептические показатели воды (мутность, цветность, запах). Параллельно проводилось инструментальное измерение температуры воды и её электропроводности, связанной с минерализацией прямой зависимостью. Измерение проводилось прибором АТТ-5703 (производитель Lutron Electronic Enterprise Co., Тайвань). Низкая температура и невысокая электропроводность воды косвенно свидетельствовали о её высоком качестве. Использование прибора АТТ-5703 являлось

экспресс-методом, позволяющим в полевых условиях быстро оценить относительную перспективность разных магистральных водопритоков для питьевого водоснабжения.

Водопритоки к шахте «Южная» исследовались на горизонтах 112, 212, 262, 314 (цифры означают глубины выработок). На шахте «Северная» исследовались только водопритоки, поступающие на 162-й горизонт (остальные горизонты данной шахты представлялись заведомо бесперспективными с точки зрения питьевого водоснабжения).

Из всех обследованных магистральных водопритоков были отобраны пробы воды на сокращённый химический анализ (макрокомпоненты и специфические компоненты). Перспективные водопритоки были опробованы на полный химический анализ с широким перечнем тяжёлых металлов, специфических для данного месторождения [23].

Схемы расположения опробованных магистральных водопритоков по шахтам «Южная» и «Северная» показаны на рисунках 1 и 2.

Проведенные исследования по изучению гидрогеохимических показателей рудничных вод шахты «Южная» золоторудного месторождения вод позволили установить, что в составе этих вод содержится большое количество тяжелых металлов, таких как цинк, мышьяк, нефтепродукты, медь, железо, а также отмечено незначительное содержание хлоридов, сульфатов, взвешенных частиц, магния и кальция. Содержание различ-

Таблица 1

Состав и концентрация загрязняющих веществ шахтных вод

Загрязняющие вещества	Концентрация загрязняющих веществ, мг/л
Мышьяк	0,02
Нефтепродукты	0,12
Цинк	0,29
Медь	0,44
Железо	8,7
Хлориды	31,4
Взвешенные частицы	34,5
Магний	41,65
Кальций	63,1
Сульфаты	162,8
pH	7,4–7,5
Сухой остаток	491

ных загрязняющих веществ в шахтных водах «Березовского рудника» показано в табл. 1.

Установлено, что ежегодный водоотлив рудником составляет 14 400 тыс. м³ воды, из которых только 3,5 % используется на собственные производственные нужды, 0,4 % реализуется на другие цели, а значительная их часть (96,1 %) сбрасывается в неочищенном виде в реку Березовку.

Исследованиями выявлено, что в процессе разработки Березовского золоторудного месторождения происходит нарушение целостности и структуры природного ландшафта. Так, после извлечения золота, грунты исходного геологического массива перемешиваются и возвращаются обратно в отработанное пространство в виде отходов горных работ. В результате этого отмечаются следующие негативные последствия: провалы и проседания земной поверхности в застроенной части г. Березовского, подпор и подтопление территории города после ликвидации рудника и т. д. Зональные почвы этой части региона имеют достаточно низкий естественный природный потенциал, невысокий уровень плодородия, почвы быстро истощаются и подвергаются различным деградиционным процессам, при которых возрастает доля переуплотненных земель с разрушением структуры.

Исходные данные результатов для оценки эколого-экономического ущерба сброса шахтных вод в р. Березовку представлены в табл. 2.

Расчет эколого-экономического ущерба вреда, причиненного реке Березовке при сбросе в нее шахтных вод, производился по формуле (1). Расчетные данные сведены в табл. 3.

Размер эколого-экономического ущерба, который причинен р. Березовке в результате сброса шахтных сточных вод, составляет 1 062 975 020 рублей. Как видно из таблицы, основную долю в оценке экологического ущер-

ба приходится на сброс таких загрязняющих веществ, как медь и железо. Рассчитанный экологический ущерб (в денежном выражении) должен быть направлен на компенсацию негативных последствий освоения рудника для разработки современных технологий и технических решений, связанных с системами очистки сточных вод, которые позволят значительно снизить антропогенную нагрузку в регионе, улучшить геоэкологические условия и повысить экологическую безопасность окружающей среды района исследований.

В целях повышения экологической безопасности окружающей среды в районе разработки месторождения «Березовский рудник» и проведения комплекса мероприятий от риска возникновения нежелательных негативных процессов необходимо проведение мониторинговых исследований в рамках импактного геосистемного экологического мониторинга. Мониторинг предполагает проведение непрерывных наблюдений и контроль за основными показателями природной среды, оценку текущего состояния и прогноз для предупреждения развития нежелательных негативных последствий. На основе геоэкологического мониторинга формируется информационная база, необходимая для выявления и оценки характера рисков, масштабов и законов распределения экологических ущербов, а также источников и причин возникновения нежелательных процессов и последствий [17, 24].

Заключение

1. Строительство крупных жилых комплексов в городе Екатеринбурге и его пригородах создает еще одну очень важную проблему, связанную с обеспечением населения этой части региона питьевой водой, решать которую можно за счет глубокого очищения шахтных вод. Строительство нового водопровода обойдется области и городу

Таблица 2

Результаты испытаний сброса шахтных вод

Вещества	C_{ϕ} среднее, мг/дм ³	$C_{д}$, мг/дм ³	Кратность превышения	Класс опасности
Нефтепродукты	0,12	0,05	В 2,4 раз	3
Цинк	0,29	0,01	В 29 раз	3
Медь	0,44	0,001	В 440 раз	3
Железо	8,7	0,1	В 87 раз	3

C_{ϕ} — фактическая концентрация загрязняющих веществ в сточных водах, мг/дм³;
 $C_{д}$ — допустимая концентрация загрязняющих веществ в сточных водах, мг/дм³.

Размер вреда, причиненного водному объекту

Загрязняющее вещество	C_{ϕ} средняя мг/дм ³	$C_{д}$ мг/дм ³	Превышение C_{ϕ} среднее / $C_{д}$ (раз)	H_p руб./т	$K_{из}$	M_p т	$H_i \times M_p$ тыс. руб.	У, тыс. руб.
Нефтепродукты	0,12	0,05	2,4	670	1	0,49	328,3	951,758
Цинк	0,29	0,01	29	4350	2	0,22	957	13 871,951
Медь	0,44	0,001	440	12 100	5	3,1	37 510	543 716,715
Железо	8,7	0,1	В 87 раз	4350	5	8	34 800	504 434,596

очень дорого (миллиарды рублей), поэтому весьма перспективным становится решать поставленную проблему за счет более глубокого очищения шахтных вод. Глубина шахты «Южная» Березовского золоторудного месторождения в настоящее время достигла 712 м, и на этой глубине запасы золота на тонну руды составляют 1,13 грамм. Это свидетельствует о том, что запасы золота на этой шахте практически выработаны. Благодаря станку kernового бурения шахта будет добывать золото еще примерно 10–15 лет, после чего перестанет существовать как добычный участок.

2. Согласно принятым СНиПам, СанПиНам и нормативно-методическим документам принято считать, что если техническая вода будет полностью соответствовать уровню питьевой воды, то рудником одновременно будут решены несколько проблем. Прежде всего, это обеспечение своего предприятия не только водой для технических целей, но и для питьевого водоснабжения, и, как следствие, отказ от дорогостоящих услуг управления службами «Водоканала» [21, 22]. Кроме того, решается проблема улучшения геоэкологических условий окружающей среды территории города Березовска.

3. Специфика подземной разработки месторождений полезных ископаемых связана с непрерывным водоотливом шахтных вод и их сбросом без очистки на очистных сооружениях в пруды-накопители. Как правило, карьерные и шахтные воды характеризуются большими расходами, высокой минерализацией, отличаются высокой жесткостью, содержанием тяжелых металлов, хлоридов и сульфатов, взвешенных веществ, соединений азота и содержанием органических загрязнений. Сброс шахтных вод в поверхностные водоемы наносит огромный экологический ущерб окружающей среде. Поэтому шахтные воды следует рассматривать с одной стороны как источник загрязнения окружающей среды,

а с другой — после соответствующей очистки как дополнительный источник водоснабжения для различных отраслей народного хозяйства [18].

4. Рассчитанный эколого-экономический ущерб может быть направлен в качестве компенсационных природоохранных мероприятий на разработку и реализацию современных инновационных технологий по глубокой очистке шахтных вод, применение которых позволит получить дополнительный источник питьевой воды для населения и улучшить экологическую ситуацию в рассматриваемом регионе.

5. Необходимость снижения экологической нагрузки на водные объекты, а также постоянное ужесточение контроля природоохранных органов требует применения современных технологий и оборудования для очистки карьерных и шахтных вод до норм сброса в поверхностные водоемы. Анализ показывает, что большинство подземных шахт России практически не решает проблему утилизации сточных вод. Применяются малоотходные и устаревшие технологии, которые не позволяют очистить сточные воды до требуемых предельно допустимых значений. Для очистки шахтной воды до уровня нормативных значений и кондиций для питьевого водоснабжения необходима глубокая очистка воды от механики, органики, железа, марганца, хлора, сероводорода и других соединений [19, 22].

6. Для рассматриваемого региона рекомендуется применение перспективных инновационных технологий, которые позволяют осуществлять глубокую очистку загрязненных вод и сочетают современные мембранные методы очистки воды, отличающиеся высокой эффективностью и невысоким потреблением применяемых реагентов: фильтры глубинной очистки, современные системы микро- и ультрафильтрации для финишной глубокой очистки вод от механических и колло-

идных примесей, системы баромембранного разделения высокоминерализованных вод, обратно-осмотическое обессоливание и т. д.

Литература

1. Бородаевский, Н. И. и Бородаевская, М. Б. (1947). Березовское рудное поле. М.: Metallurgizdat, 264 с.
2. Войтинская, Е. Е., Чечвий, Т. С. и Шайдурова, Н. А. (2008). Под знаком золота: Березовский рудник. Прошлое, настоящее, будущее: XVIII — начало XXI века. Екатеринбург: Сократ, 60 с.
3. Гольдберг, В. М. и Газда, В. И. (1984). Гидрогеологические основы охраны подземных вод от загрязнения. М.: Недра, 262 с.
4. Жабин, В. Ф., Карпенко, Н. П. и Ломакин, И. М. (2013). Фильтрационная расчетная схематизация тонкослоистых сред и надежность инженерных решений. Природообустройство, № 2, сс. 65–71.
5. Жабин, В. Ф., Карпенко, Н. П. и Ломакин, И. М. (2013). Формирование гетерогенной среды и регулирование режима грунтовых вод в задачах природообустройства. Монография. М.: МГУП, 208 с.
6. Земских, В. Е. (2015). Золото и люди Березовского рудника. Екатеринбург: Издательство УГГУ, сс. 39–47.
7. Калыбеков, Т. К. (2011). Обоснование возникновения экологического риска при открытой разработке месторождений. Известия научно-технического общества «КАХАК», Алматы, № 2 (32), сс. 95–99.
8. Капустин, В. Г. (2010). География Свердловской области (Часть 1: Природа региона и проблемы экологии): Учебное пособие по курсу «География Свердловской области». Екатеринбург, Средне-Уральское книжное издательство, 223 с.
9. Карпенко, Н. П. (2009). Структура и оценка геоэкологических рисков. Природообустройство, № 3, сс. 45–50.
10. Карпенко, Н. П. (2014). Анализ защитных свойств пород зоны аэрации и оценка защищенности грунтовых вод в зоне сброса загрязняющих стоков. Природообустройство, № 2, сс. 70–74.
11. Карпенко, Н. П. (2014). Геоэкологический риск: анализ, оценки, управление. Монография. Германия, Palmarium Academic Publishing, 145 с.
12. Карпенко, Н. П. (2013). Основы диагностики формирования негативных последствий при антропогенных нагрузках для управления геоэкологическими рисками. В: Международная научно-практическая конференция «Мелиорация и проблемы восстановления сельского хозяйства России» (Костяковские чтения), 20-21 марта 2013. М.: Изд-во ВНИИА, сс. 289–293.
13. Карпенко, Н. П. (2010). Управление техноприродными системами на основе геоэкологических рисков. В: XVIII Международная конференция «Проблемы управления безопасностью сложных систем», декабрь 2010. М.: РГГУ, сс. 312–316.
14. Карпенко, Н. П. и Манукьян, Д. А. (2009). Геоэкологические проблемы природообустройства. Природообустройство, № 3, сс. 69–74.
15. Карпенко, Н. П. и Манукьян, Д. А. (2009). Проблемы экологической безопасности в задачах природообустройства. В: XVII Международная научная конференция «Проблемы управления безопасностью сложных систем», декабрь 2009. М.: РГГУ, сс. 256–260.
16. Карпенко, Н. П. и Манукьян, Д. А. (2011). Системный подход при оценке геоэкологических рисков и экологической безопасности функционирования техноприродных систем. В: XIX Международная конференция «Проблемы управления безопасностью сложных систем», декабрь 2011. М., РГГУ, сс. 263–267.
17. Карпенко, Н. П. и Супрун, В. А. (2018). Построение алгоритма управления геоэкологическими рисками на месторождениях полезных ископаемых. Евразийский Союз Ученых, № 12-1 (45), сс. 4–7.
18. Карпенко, Н. П. и Супрун, В. А. (2018). Перспективы использования шахтных вод для питьевого водоснабжения на Березовской золоторудной шахте «Южная». В: Международная научно-практическая конференция, посвященная 130-летию Н. И. Вавилова, 5–7 декабря 2017 года. Доклады ТСХА. Вып. 290. Часть 2. М.: РГАУ-МСХА имени К. А. Тимирязева, сс. 54–56.
19. Карпенко, Н. П. и Фризен, Е. В. (2013). Учет и управление экологическими рисками для здоровья и жизни населения в условиях роста антропогенных нагрузок. В: Международная конференция «Проблемы комплексного обустройства техноприродных систем», 16–18 апреля 2013 года. Ч. IV. М.: МГУП, сс. 144–151.
20. Манукьян, Д. А. и Карпенко, Н. П. (2009). Теория и методология ведения мониторинга техноприродных систем. Монография. М.: МГУП, 307 с.
21. Минприроды России (2009). Методика исчисления размера вреда, причиненного водным объектам вследствие нарушения водного законодательства. М.: Минприроды России, 35 с.
22. Главный государственный санитарный врач Российской Федерации (2002). СанПин 2.1.4.1110-02. Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения. М.: Госкомсанэпиднадзор, 16 с.
23. Государственная система санитарно-эпидемиологического нормирования Российской Федерации (1996). СанПиН 2.1.4.559-96. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. М.: Госкомсанэпиднадзор, 111 с.
24. Супрун, В. А. и Карпенко, Н. П. (2018). Обследование шахтных водопритоков и химического состава шахтной воды на золоторудной шахте «Южная» для питьевого водоснабжения. В: 4-я Международная научно-практическая конференция «Актуальные вопросы в науке и практике (часть 4)». Уфа: Изд-во «Дендра», сс. 257–263.

References

1. Borodaevsky, N. I. Borodaevskaya, M. B. (1947). *Beryozovskoye rudnoye pole [Berezovsky ore field]*. Moscow: Metallurgizdat, 264 p. (in Russian).
2. Voytinskaya, Ye. Ye., Chechviy, T. S., Shaydurova, N. A. (2008). *Pod znakom zolota: Beryozovsky rudnik, Proshloye, nastoyashcheye, budushcheye: XVIII – nachalo XXI veka [Under the sign of gold: Berezovsky mine. The past, the present, and the future: 18th – the beginning of the 21st centuries]*. Yekaterinburg: Sokrat, 60 p. (in Russian).

3. Goldberg V. M., Gazda, V. I. (1984). *Gidrogeologicheskiye osnovy okhrany podzemnykh vod ot zagryazneniya* [Hydrogeological fundamentals of groundwater protection against pollution]. Moscow: Nedra, 262 p. (in Russian).
4. Zhabin, V. F., Karpenko, N. P., Lomakin, I. M. (2013). Filtratsionnaya raschyotnaya skhematizatsiya tonkosloistykh sred i nadyozhnost inzhenernykh resheniy [Filtration design schematization of thin-layer media and reliability of engineering decisions]. *Environmental Engineering*, No. 2, pp. 65–71 (in Russian).
5. Zhabin, V. F., Karpenko, N. P., Lomakin, I. M. (2013). *Formirovaniye heterogennoy sredy i regulirovaniye rezhima gruntovykh vod v zadachakh prirodoobustroystva* [Formation of the heterogeneous environment and regulation of groundwater conditions in tasks of environmental engineering]. Monograph. Moscow: Moscow State University of Environmental Engineering, 208 p. (in Russian).
6. Zemskikh, V. Ye. (2015). *Zoloto i lyudi Beryozovskogo rudnika* [Gold and men of the Berezovsky mine]. Yekaterinburg: Publishing House of the Ural State Mining University, pp. 39–47 (in Russian).
7. Kalybekov, T. K. (2011). Obosnovaniye vozniknoveniya ekologicheskogo riska pri otkrytoy razrabotke mestorozhdeniy [Substantiation of occurrence of ecological risk at open-cast mining of deposits]. *Izvestiya nauchno-tekhnicheskogo obshchestva "KAKHAK"*, No. 2 (32), pp. 95–99 (in Russian).
8. Kapustin, V. G. (2010). Geografiya Sverdlovskoy oblasti (Chast I: Priroda regiona i problemy ekologii): uchebnoye posobiye po kursu "Geografiya Sverdlovskoy oblasti" [Geography of the Sverdlovsk Region (Part I: Nature of the region and environmental problems): textbook for the course "Geography of the Sverdlovsk Region"]. Yekaterinburg, Sredne-Uralskoe knizhnoe izdatelstvo 223 p. (in Russian).
9. Karpenko, N. P. (2009). Struktura i otsenka geoekologicheskikh riskov [Structure and assessment of geo-ecological risks]. *Environmental Engineering*, No. 3, pp. 45–50 (in Russian).
10. Karpenko, N. P. (2014). Analiz zashchitnykh svoystv porod zony aeratsii i otsenka zashchishchyonnosti gruntovykh vod v zone sbrosa zagryaznyayushchikh stokov [The analysis of protective properties of the aeration zone and assessment of the ground water protectability in the discharge zone of polluting drainage]. *Environmental Engineering*, No. 2, pp.70–74 (in Russian).
11. Karpenko, N. P. (2014) *Geoekologichesky risk: analiz, otsenki, upravleniye* [Geo-ecological risk: analysis, assessment, management]. Monograph: Germany, Palmarium Academic Publishing, 145 p. (in Russian).
12. Karpenko, N. P. (2013). *Osnovy diagnostiki formirovaniya negativnykh posledstviy pri antropogennykh nagruzkakh dlya upravleniya geoekologicheskimi riskami* [Fundamentals of diagnostics of negative effects' formation upon anthropogenic loads for management of geo-ecological risks]. In: Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Melioratsiya i problemy vosstanovleniya selskogo khozyaystva v Rossii" [International Scientific and Practical Conference "Land reclamation and problems of agriculture restoration in Russia"] (Kostyakov Readings), March 20–21, 2013. Moscow: Publishing House of the All-Russian Research Institute of Agrochemistry, pp. 289–293 (in Russian).
13. Karpenko, N. P. (2010). *Upravleniye tekhnoprirodnymi sistemami na osnove geoekologicheskikh riskov* [Management of anthropogenic systems based on geo-ecological risks]. In: XVIII Mezhdunarodnaya konferentsiya "Problemy upravleniya bezopasnostyu slozhnykh system" [18th International Conference "Problems of safety management of complex systems"], December 2010. Moscow: Russian State University for the Humanities, pp. 312–316 (in Russian).
14. Karpenko, N. P., Manukjan, D. A. (2009). Geoekologicheskiye problemy prirodoobustroystva [Geo-ecological problems of environmental engineering]. *Environmental Engineering*, No. 3, pp. 69–74 (in Russian).
15. Karpenko, N. P., Manukjan, D. A. (2009). *Problemy ekologicheskoy bezopasnosti prirodoobustroystva* [Problems of environmental safety in environmental engineering]. In: XVII Mezhdunarodnaya konferentsiya "Problemy upravleniya bezopasnostyu slozhnykh system" [17th International Scientific Conference "Problems of safety management of complex systems"], December 2009. Moscow: Russian State University for the Humanities, pp. 256–260 (in Russian).
16. Karpenko, N. P., Manukjan, D. A. (2011). *Sistemnyy podkhod pri otsenke geoekologicheskikh riskov i ekologicheskoy bezopasnosti funktsionirovaniya tekhnoprirodnnykh system* [System approach in the evaluation of geo-ecological risks and environmental safety of anthropogenic systems' performance]. In: XIX Mezhdunarodnaya konferentsiya "Problemy upravleniya bezopasnostyu slozhnykh system" [19th International Conference "Problems of safety management of complex systems"], December 2011. Moscow, Russian State University for the Humanities, pp. 263–267 (in Russian).
17. Karpenko, N. P., Suprun, V. A. (2018). Postroyeniye algoritma upravleniya geoekologicheskimi riskami na mestorozhdeniyakh poleznykh iskopayemykh [Construction of an algorithm for the management of geo-ecological risks at mineral deposits]. *Eurasian Union of Scientists*, No. 12-1 (45), pp. 4–7 (in Russian).
18. Karpenko, N. P., Suprun, V. A. (2018). *Perspektivy ispolzovaniya shakhtnykh vod dlya pityevogo vodosnabzheniya na Beryozovskoy zolotorudnoy shakhte "Yuzhnaya"* [Prospects for the use of mine waters for drinking water supply at the Berezovskaya gold ore mine "Yuzhnaya"]. In: Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchyonnaya 130-letiyu N. I. Vavilova [International Scientific and Practical Conference dedicated to the 130th anniversary of N. I. Vavilov], December 5–7, 2017. Reports of the Timiryazev Agricultural Academy. Issue 290. Part 2. Moscow: Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, pp. 54–56 (in Russian).
19. Karpenko, N. P., Frizena, Ye. V. (2013). *Uchyot i upravleniye ekologicheskimi riskami dlya zdorovya i zhizni naseleniya v usloviyakh rosta antropogennykh nagruzok* [Accounting and management of ecological risks to health and life of the population under the conditions of increasing anthropogenic loads]. In: Mezhdunarodnaya konferentsiya "Problemy kompleksnogo obustroystva tekhnoprirodnnykh system" [International Conference "Problems of integrated development of anthropogenic systems"], April 16–18, 2013. Part IV. Moscow: Moscow State University of Printing Arts, pp. 144–151 (in Russian).

20. Manukjan, D. A., Karpenko, N. P. (2009). *Teoriya i metodologiya vedeniya monitoringa tekhnoprirodnnykh system* [Theory and methodology of monitoring anthropogenic systems]. Monograph. Moscow: Moscow State University of Printing Arts, 307 p. (in Russian).

21. Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation (2009). *Metodika ischisleniya razmera vreda, prichinyonnogo vodnym obyektam vsledstviye narusheniya vodnogo zakonodatelstva* [Methods of calculating the amount of damage caused to water bodies due to violation of water legislation]. Moscow: Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation, 35 p. (in Russian).

22. Chief Public Health Officer of the Russian Federation (2002). SanPiN 2.1.4.1110-02. *Zony sanitarnoy okhrany istochnikov vodosnabzheniya i vodoprovodov pityevogo naznacheniya* [Sanitary Rules and Regulations SanPiN 2.1.4.1110-02. Sanitary protection zones of water supply sources and drinking water supply systems]. Moscow: State Committee on Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Russian Federation, 16 p. (in Russian).

23. State System of Sanitary and Epidemiological Standardization of the Russian Federation (1996). SanPiN 2.1.4.559-96. *Pityevaya voda. Gigiyenicheskiye trebovaniya k kachestvu vody tsentralizovannykh system pityevogo vodosnabzheniya. Kontrol kachestva* [Sanitary Rules and Regulations SanPiN 2.1.4.559-96. Drinking water. Hygienic requirements to water quality of centralized drinking water supply systems. Quality control]. Moscow: State Committee on Sanitary and Epidemiological Surveillance of the Russian Federation, 111 p. (in Russian).

24. Suprun, V. A., Karpenko N. P. (2018). *Obsledovaniye shakhtnykh vodopritokov i khimicheskogo sostava shakhtnoy*

vody na zolotorudnoy shakhte "Yuzhnaya" dlya pityevogo vodosnabzheniya [Survey of mine water inflows and chemical composition of mine water at the gold ore mine "Yuzhnaya" for drinking water supply]. In: 4-ya mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Aktualnye voprosy v nauke i praktike" [4th International Scientific and Practical Conference "Current Issues in Science and Practice (part 4)"]. Ufa: Dendra, pp. 257–263 (in Russian).

Авторы

Карпенко Нина Петровна, д-р техн. наук, профессор
Российский государственный аграрный университет –
МСХА имени К. А. Тимирязева, Москва, Россия
E-mail: npkarpenko@yandex.ru

Супрун Вероника Александровна

Всероссийский научно-исследовательский институт
гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова, Москва,
Россия

E-mail: veronika.aleksandrovna.fadeeva@mail.ru

Authors

Karpenko Nina Petrovna, Dr. of Engineering, Professor
Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow,
Russia

E-mail: npkarpenko@yandex.ru

Suprun Veronika Aleksandrovna

All-Russian Research Institute of Hydrotechnics and
Melioration named after A. N. Kostyakova, Moscow, Russia

E-mail: veronika.aleksandrovna.fadeeva@mail.ru