

Н.Г. Максимович, Е.А. Хайрулина
Естественнонаучный институт, Пермский государственный
национальный исследовательский университет

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ БАРЬЕРЫ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РАЙОНАХ С ИНТЕНСИВНЫМ ТЕХНОГЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

В статье представлены основные научные и практические результаты деятельности Лаборатории геологии техногенных процессов в области развития учения о геохимических барьерах. Приведена характеристика природных и техногенных геохимических барьеров, рассмотрена их роль в миграции загрязнителей и решении ряда экологических проблем горнодобывающей промышленности, металлургии и строительства. Представлен опыт реализации разработанной методики создания искусственных геохимических барьеров для решения проблем окружающей среды.

N. G. Maksimovich, E.A. Khayrulina
Natural Sciences Institute, Perm State University

GEOCHEMICAL BARRIERS AND ENVIRONMENTAL SAFETY IN AREAS WITH INTENSIVE TECHNOGENIC INFLUENCE

The article presents the main scientific and practical results of the Laboratory of Geology of Technological processes activity in the development of the geochemical barrier theory. The characteristic of natural and technogenic geochemical barriers, their role in the migration of contaminants and solving of environmental problems of mining, metallurgy and construction are considered. The experience of creating artificial geochemical barriers for solving environmental problems is presented.

В районах с интенсивным техногенным воздействием на окружающую среду формируется сложная экологическая обстановка, обусловленная как прямым воздействием предприятий в результате выброса в атмосферу загрязнителей и сброса в реки сточных вод, так и с формирующимися твердыми и жидкими отходами, которые обладают пролонгированным влиянием на окружающую среду и могут определять экологическую обстановку после закрытия предприятий или месторождений. Техногенная деятельность приводит к образованию геохимических аномалий, характеризующихся повышенными концентрациями загрязняющих веществ в атмосфере, почвах и горных породах, подземных и поверхностных водах, живых организмах. Концентрации отдельных химических элементов в пределах техногенных ореолов и потоков рассеяния часто превышают значения,

безопасные для жизни и здоровья людей, нормального развития биотических компонентов.

Основным направлением улучшения экологической ситуации является совершенствование технологических схем предприятий: модернизация систем очистки сбросов и выбросов, переработки отходов и т.д. Современные природоохранные сооружения для очистки сточных вод, выбросов в атмосферу и изоляции участков складирования твердых и жидких токсичных отходов, как правило, требуют больших капитальных затрат, значительных энергетических и материальных ресурсов при их эксплуатации. В связи с чем, возникает задача минимизации техногенного воздействия горнорудной промышленности на окружающую среду экономически выгодными способами.

В последние десятилетия для защиты окружающей среды от загрязнения наметилась тенденция использования геохимических барьеров, применение которых в ряде случаев позволяет отказаться от строительства сложных очистных сооружений и проведения других дорогостоящих природоохранных мероприятий. Термином «геохимические барьеры» А.И. Перельман в 1961 г. [1] предложил называть такие участки зоны гипергенеза, в которых на коротком расстоянии происходит резкая смена условий миграции, что приводит к концентрации химических элементов.

Согласно современным представлениям, геохимический барьер – это открытая, неравновесная, динамическая, самоорганизующая система с множеством факторов, обуславливающих осаждение элементов. В миграционном потоке, приближающемся к барьеру, для каждого химического элемента, способного осаждаться на нем, существует свой пространственно разобщенный геохимический барьер.

С появлением учения о геохимических барьерах начал развиваться его понятийный аппарат. Классификация геохимических барьеров как средство установления связей между понятиями служит для ориентировки в их многообразии. Кроме систематизации современных знаний классификация позволяет дать обоснованные прогнозы относительно неизвестных еще фактов и закономерностей. Это особенно важно для прогноза поведения техногенных компонентов в окружающей среде, для разработки принципов создания геохимических барьеров для природоохранных целей.

Перельман А.И. по преобладающему типу миграции разделял геохимические барьеры на три класса: механические, физико-химические и биогеохимические. По отношению к деятельности человека А.И. Перельман выделил два типа геохимических барьеров – природные и техногенные.

Согласно А.И. Перельману, техногенный геохимический барьер – это участок, где происходит резкое уменьшение интенсивности техногенной миграции и, как следствие, концентрирование элементов и соединений. В ряде случаев техногенные барьеры создаются целенаправленно на пути движения техногенных потоков для локализации загрязнения [2, 3]. Техногенные барьеры все чаще используются для охраны окружающей среды [4-7].

Отличительной особенностью техногенных барьеров является возможность аккумуляции техногенных веществ, не встречающихся в природных условиях, таких как нефтепродукты, полиароматические углеводороды, пестициды и др. Концентрации веществ, имеющих природные аналоги на техногенных барьерах в ряде случаев, значительно выше, чем на природных. Изученность техногенных геохимических барьеров значительно хуже, чем природных.

Работы по решению научных и практических вопросов создания искусственных геохимических барьеров для охраны окружающей среды начались под руководством Н.Г. Максимовича в 80-е годы. Эти работы позволили решить ряд проблем, связанных с повышением эффективности работы очистных комплексов при разработке месторождений полезных ископаемых Пермского и Красноярского краев и республики Бурятия, обеспечивающих сокращение сбросов загрязняющих веществ в поверхностные и подземные воды с применением геохимических методов, где традиционные методы не давали эффективности. Накоплен значительный фактический материал экспериментальных лабораторных и опытно-промышленных исследований по созданию геохимических барьеров в районах с критической техногенной нагрузкой: на объектах горно- и нефтедобывающей, химической, металлургической и других видах промышленности.

В дальнейшем имеющийся опыт позволил провести теоретические обобщения и разработать методическое обеспечение создания искусственных геохимических барьеров для охраны окружающей среды, которые были опубликованы в учебном пособии «Геохимические барьеры и охрана окружающей среды» [8] и других публикациях [9, 10 и др.].

В основу концепции создания геохимических барьеров была положена стадийность из развития (рис. 1).

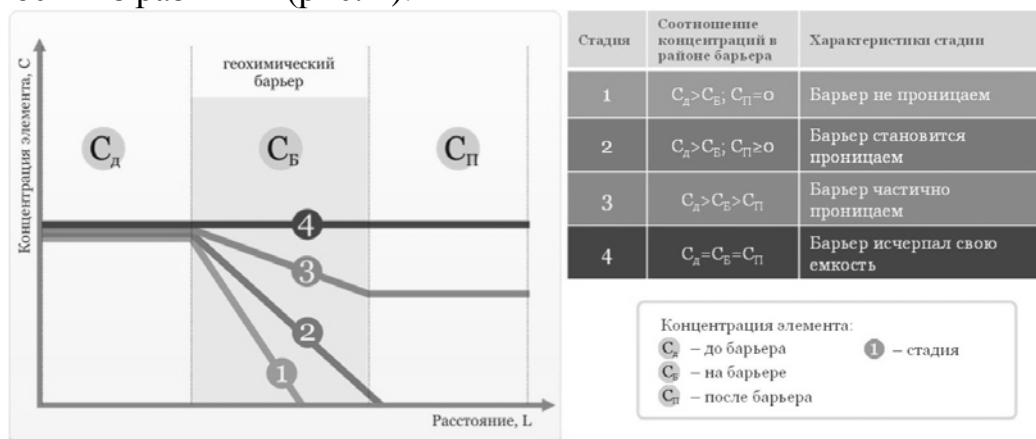


Рис. 1. Стадии развития геохимических барьеров

На первой стадии, когда начинается поступление вещества с концентрацией C_d в зону со сменой условий миграции, весь поток концентрируется на геохимическом барьере. В определенный момент времени (вторая стадия), после частичного насыщения барьера, он становится проницаемым для мигрирующих элементов. На третьей стадии барьер

постепенно теряет свою эффективность. Концентрация вещества до и после барьера начинает выравниваться. На четвертой стадии барьер исчерпывает свою емкость, и дальнейшая концентрация элементов на нем прекращается.

Накопленный опыт показывает, что среди всего разнообразия техногенных геохимических барьеров, применяемых для этих целей, можно выделить разновидности, в которых стихийно или целенаправленно используются естественные барьерные свойства природной среды и искусственные, созданные по специальным технологиям. В ряде случаев техногенные геохимические барьеры могут создаваться на основе использования обоих указанных принципов (рис. 2).

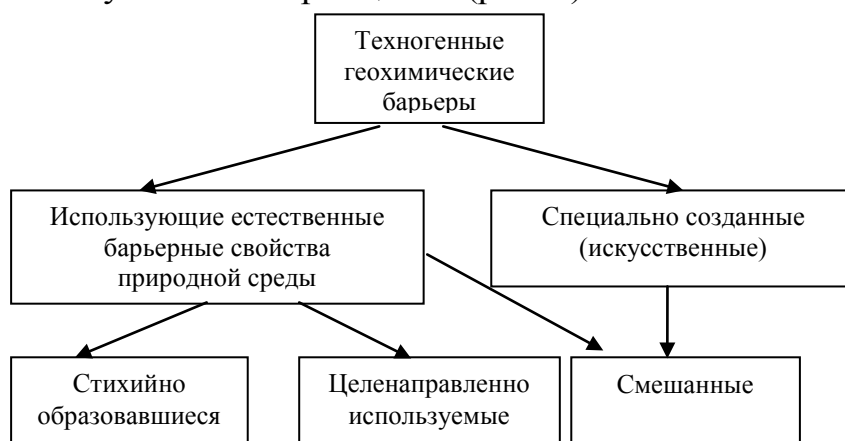


Рис. 2. Разновидности техногенных геохимических барьеров, используемых для охраны окружающей среды

В ходе хозяйственной деятельности человека нередко происходит бесконтрольное загрязнение окружающей среды. В ряде случаев особенности почв, грунтов, поверхностных и подземных вод, рельефа и др. являются причиной формирования геохимических барьеров на пути миграции загрязнителей. В этом случае можно говорить о стихийно образовавшихся барьерах.

Исследование формирования стихийных техногенных барьеров позволяет оценить особенности миграции загрязнителей, и трансформацию потока загрязняющих веществ в результате, например, взаимодействия загрязненных подземных вод и горных пород. Так, при исследовании влияния загрязненных рассолами подземных вод на ландшафты Верхнекамского месторождения калийно-магниевых солей, в местах площадной разгрузки или близкого залегания подземных вод, формируются «железные шляпы» [11].

На поверхности почвенного покрова, в условиях окислительного режима двухвалентное железо рассолов окисляется с образованием гидрогетита, гетита, магматита и разнообразных железистых образований. В нижнем почвенном горизонте, мощностью 15-30 см, в результате деятельности сульфатредуцирующих бактерий происходит образование сероводорода, значение окислительно-восстановительного потенциала E_h снижается до -197 , развиваются резко восстановительные условия. Вероятней всего, ниже кислородного геохимического барьера происходит формирование

гидротроилитового горизонта. Источником железа, в основном, являются гидроксиды железа шешминских пестроцветных пород и почвенные минералы, которые более активно выщелачиваются под воздействием техногенных высокоминерализованных подземных вод. Высокое содержание органики в почвах способствует формированию сульфидной обстановки под воздействием микробиологической деятельности.

Известны случаи, когда барьерные свойства природной среды целенаправленно используются для снижения интенсивности миграции загрязнителей. Для этого существуют специальные технологии и приемы. Например, нейтрализация кислых растворов может происходить при взаимодействии с более щелочными породами, при этом возникает стихийный щелочной барьер. Почвенные горизонты могут выступать сорбционным барьером для радиоактивных загрязнителей. Болотные экосистемы представляют собой комплекс различных барьеров.

Наиболее распространенными барьерами на поверхности земли являются почвы, торф и глинистые грунты, задерживающие многие виды загрязнителей, карбонатные породы и присущие им воды, выполняющие роль щелочного геохимического барьера.

В последние годы для охраны окружающей среды от загрязнения все более широкое применение находят идеи использования защитного потенциала самой среды. Основными трудностями для их реализации является отсутствие научно-методической и законодательной базы.

Техногенные геохимические барьеры могут специально создаваться для решения различных задач, таких как охрана окружающей среды, обогащение полезных ископаемых, инженерная защита территории и т.д. Такие барьеры предлагается называть искусственными. Для создания искусственных барьеров разрабатываются специальные технологии. Методические основы создания таких барьеров рассмотрены ниже. В качестве материалов, используемых для создания барьеров, применяются различные материалы и вещества в зависимости от специфики барьеров и экономической целесообразности (рис. 3).

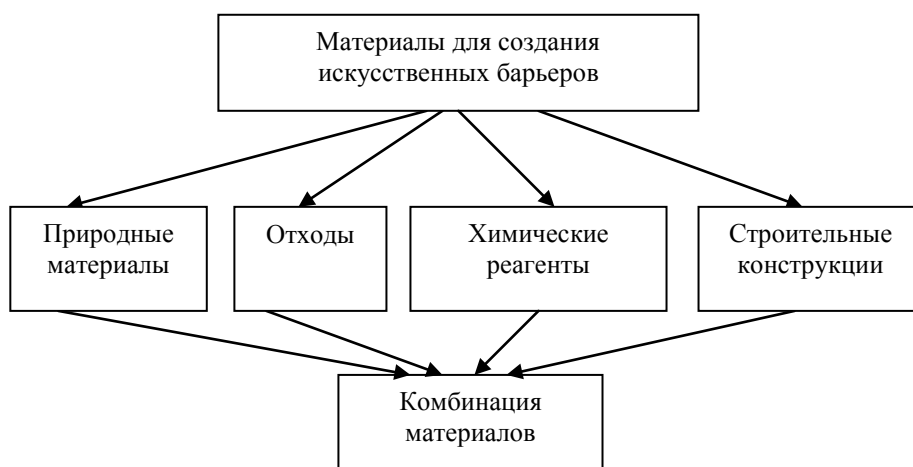


Рис. 3. Материалы, используемые для создания искусственных геохимических барьеров

Природные материалы широко используются для создания сорбционных (глины, суглинки, торф и т.д.), щелочных (карбонаты) и других барьеров. Преимуществом использования природных веществ является их широкое распространение, снижающее транспортные расходы и относительно низкая стоимость.

Перспективным направлением является использование различных *отходов*. При этом наряду с их низкой стоимостью решается другая экологическая задача – утилизация отходов.

В том случае, когда природные вещества и отходы малоэффективны для создания барьера, подбираются специальные химические реагенты. Они, как правило, дают возможность обеспечить необходимую эффективность работы барьера, но имеют большую стоимость. Для создания механических барьеров, чаще всего используются специальные *строительные конструкции*. Известны случаи создания барьеров на основе биологических объектов: растительность, микроорганизмы и т.д.

Создание искусственных геохимических барьеров для охраны окружающей среды включает в себя широкий спектр исследований. Схематически они представлены на рис. 4.

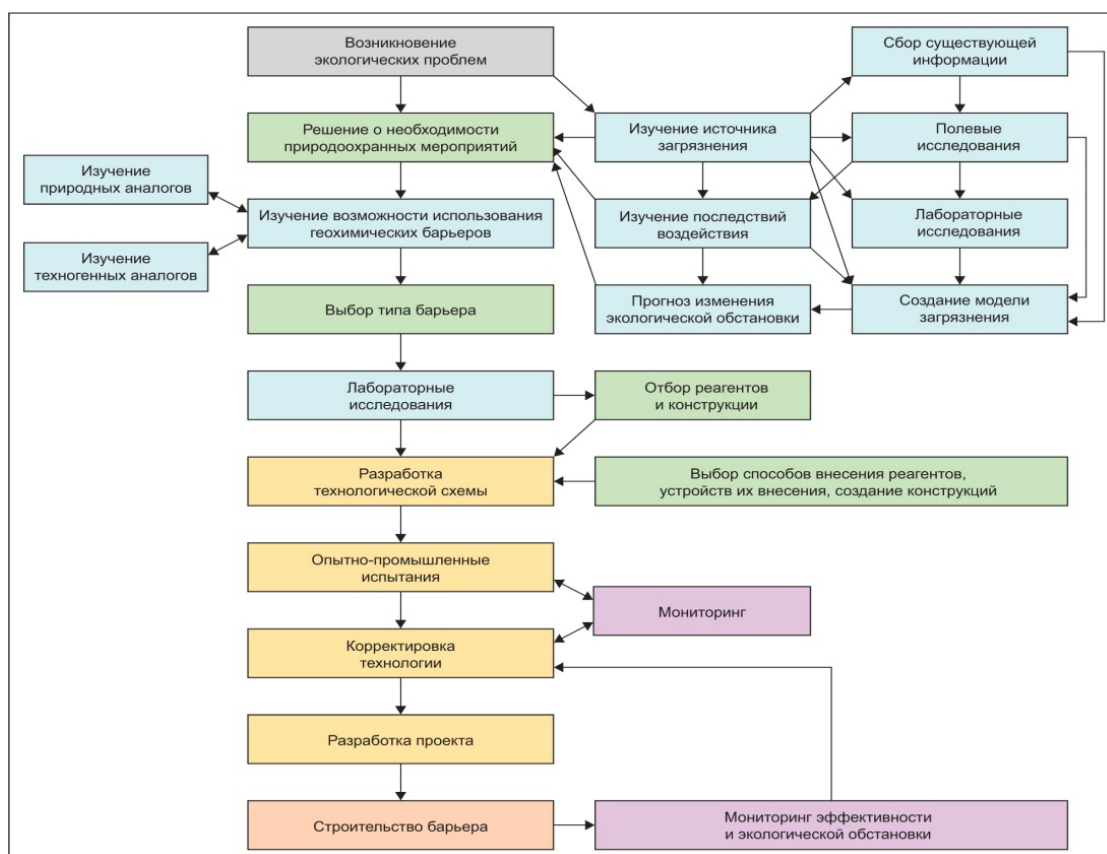


Рис. 4. Схема методического обеспечения создания искусственных геохимических барьеров для охраны окружающей среды

При возникновении экологических проблем, связанных с миграцией загрязнителей из отходов, необходимо охарактеризовать источник загрязнения, изучить последствия и сделать прогноз изменения состояния окружающей

среды. Для этого проводится сбор существующей информации и выполняются полевые и лабораторные исследования, на основании чего создается модель загрязнения.

Полученная информация позволяет оценить принципиальную возможность использования геохимических барьеров. Полезную информацию при этом может дать изучение природных и техногенных аналогов геохимических барьеров. Для выбора типа барьера необходимо выполнить комплекс лабораторных исследований, которые позволят оценить естественные защитные свойства среды или выбрать необходимые реагенты. После этого создается модель барьера и технологическая схема его создания: количество реагентов, способы их внесения, конструктивные особенности и т.д. В дальнейшем проводятся опытно-промышленные испытания, корректируется технология и разрабатывается проект создания барьера. В ходе эксплуатации барьера ведется мониторинг его эффективности, вносятся необходимые корректировки в технологию.

Данная схема или ее отдельные элементы были опробованы авторами на ряде объектов с различными видами техногенного воздействия.

Разработка россыпных месторождений

Примером использования природных материалов для очистки сточных вод горнодобывающего предприятия от взвешенных частиц является создание фильтров из местных грунтов и отвалов. Опыт по созданию таких геохимических барьеров проводился в бассейне р. Вишеры (Пермский край), где ведется добыча алмазов [13].

Для очистки от взвешенных частиц сточных вод предложено использование грунтовых плотин – классического механического геохимического барьера. Исследования возможности очистки сбрасываемой воды от взвешенных веществ с помощью грунтовых плотин были проведены на участке сброса драги на р. Рассольной. Для плотин использовались дражные отвалы, находящиеся здесь же в долине реки. Концентрация взвешенных веществ в р. Рассольная в зоне влияния драги, в зависимости от количества атмосферных осадков, изменялась от 0,183 до 12 г/л, что во много раз превышает фоновые значения.

Опытные работы показали, что, в зависимости от длины пути фильтрации и материала плотин, концентрация взвешенных веществ снижается в десятки и сотни раз. При уменьшении содержания взвешенных веществ следует ожидать снижения концентрации железа и других загрязняющих компонентов, поскольку их содержание находится в тесной зависимости от содержания взвешенных веществ. Создание искусственных барьеров возможно в непосредственной близости от источника загрязнения, что существенно сокращает зону влияния месторождения на окружающую среду.

Строительство шламохранилищ в металлургии

При разработке месторождений открытым способом образуются отрицательные формы рельефа, которые нередко используются для складирования отходов производства, что может приводить к загрязнению

окружающей среды. Одним из объектов, где остро стоит эта проблема, является Пашийский металлургическо-цементный завод расположенный на территории Пермского края. Многолетнее складирование отходов газоочистки в необорудованном шламохранилище привело к загрязнению подземных вод и р. Пашийки.

Инфильтрация жидкой составляющей пульпы в коренные породы привела к загрязнению горизонта трещинно-карстовых вод. Подземные воды в зоне влияния шламохранилища имеют повышенную по сравнению с фоновой минерализацию – 0,6-1,0 г/л, содержания хлоридов в 90 раз и сульфатов в 3 раз выше фона. В микрокомпонентном составе подземных вод обнаружены повышенные по сравнению с фоновыми содержания титана - 1,0-1,7 мг/л, марганца – 0,2–0,3 мг/л, меди – 0,2 мг/л, цинка – 0,5–0,7 мг/л, стронция – 2,9–3,4 мг/л. Содержание титана в 10–17 раз, а марганца – в 2–3 раза превышают ПДК. Содержание органики в загрязненных подземных водах, рассчитанное по ХПК, составляет 50–59 мг/л, что в 2 раза выше ПДК и в 5 раз выше фона.

При строительстве нового шламохранилища возникла необходимость разработки надежных мероприятий для защиты подземных и поверхностных вод. После выбора компонентов для комплексного экрана была проведена серия экспериментов в динамических условиях, при которых в фильтрационных колоннах моделировались различные их соотношения. На основании полученных выходных кривых проводили расчеты необходимой мощности слоев экрана и соотношения в них компонентов по методике изложенной в [12, 14]. При постановке серий динамических опытов учитывалась проектная фильтрационная нагрузка на основание шламохранилища, где должен быть сформирован экран.

Результаты исследований показали, что при инфильтрации жидкой фазы пульпы и атмосферных осадков через экран концентрации загрязнителей будут ниже ПДК. Химическое связывание загрязнителей на барьере-экране заведомо обеспечивается в течение сотен лет.

Конструкция экрана. Рекомендуемый экран включает три слоя.

- Нижний слой представляет собой глинистый экран мощностью не менее 20 см. Этот слой должен быть спланирован, выровнен, укатан и иметь горизонтальную верхнюю поверхность. Для создания этого слоя может быть использована местная делювиальная глина, запасы которой в достаточном количестве имеются в непосредственной близости от шламонакопителя. Фильтрационные окна при укладке данного слоя исключаются.

- Средний слой экрана, выполняющий основную функцию перехвата загрязнителей создается из смеси торфа и FeS в соотношении 3:13. Мощность слоя 10 см. В качестве компонентов для создания слоя необходимо использовать FeS или пиритные огарки с наименьшим количеством металлического железа и преобладанием фракции менее 0,1 мм. В качестве второго компонента слоя рекомендуется использовать нормальнозольный верховой торф болотно-озерного генезиса среднеразложенный. Перед укладкой и укаткой компоненты слоя должны быть равномерно перемешаны.

- Верхний слой мощностью 10 см целесообразно создать из местных глин с добавкой гипса (до 10-15 %). для уменьшения щелочности фильтрующейся пульпы. Верхний слой должен быть уплотнен и иметь горизонтальную поверхность.

Роль верхнего и нижнего слоев глины в структуре экрана заключается в уменьшении и рассредоточении фильтрационной нагрузки на всю площадь шламохранилища и в консервации промежуточного слоя FeS и торфа для создания в нем анаэробных восстановительных условий.

Предложенная конструкция экрана после согласования с природоохранными органами вошла в проект нового шламохранилища строительство которого в настоящее время закончено.

Нейтрализация кислых шахтных вод.

Геохимические способы снижения отрицательного влияния на окружающую среду были апробированы на территории Кизеловского угольного бассейна. Основные экологические проблемы данной территории связаны с размещением породных отвалов на большой площади и самоизливами кислых шахтных вод. Формированию острой экологической ситуации способствуют больше содержание серы (главным образом в форме пирита) (5,8%) и золы (21,5%) и интенсивная закарстованность территории [15, 16].

Для снижения загрязнения поверхностных вод кислыми шахтными водами было предложено использовать в качестве реагента для создания щелочного геохимического барьера *отходы содового производства* [17, 18]. При этом наряду с низкой стоимостью реагента решается другая экологическая задача – утилизация отходов. Проведенные работы показали, что рН шахтной воды повышается с 2,6-2,9 до нейтральных значений. В ходе испытаний суммарное содержание железа снизилось более чем в сто пятьдесят раз до значений не превышающих ПДК. После нейтрализации в шахтной воде не обнаружено алюминия, тогда как до нейтрализации его содержание составляло 10-14 мг/л. Содержание бериллия, лития, никеля, кадмия, кобальта и титана, которые в шахтных водах превышали нормативные концентрации, снижается до значений не превышающих ПДК. Нейтрализованная вода после отстаивания удовлетворяет требованиям ПДК.

Эксперименты с образующимся в результате нейтрализации осадком (В.И. Каменщикова и др.) показали, что он зарастает многолетними травами (timoфеевка, овсяница, пырей, люцерна) практически так же, как и контрольные образцы местной почвы. Осадок предполагается использовать для рекультивации шахтных отвалов, являющихся мощным источником загрязнения окружающей среды [10, 17].

Еще одним источником загрязнения на территории Кизеловского угольного бассейна являются стоки с отвалов. Атмосферные осадки, взаимодействуя с породными отвалами, обогащаются растворимыми соединениями, и характеризуются сильнокислой реакцией среды (рН 1–3),

высокой концентрацией сульфат-иона (до 30 г/л), железа (до 8 г/л), тяжелых металлов и минерализацией до 50 г/л.

Для очистки подземных вод в районах отвалов создавались искусственные щелочные геохимические барьеры. В качестве реагента использовались отходы при добыче известняка. Для очистки подземных вод известняк укладывался в траншею, пройденную до водоупора. В результате применения метода на опытном участке водородный показатель подземных вод повысился с 1,8 до 6,8 и сохранял близкие значения в течение года наблюдений. Существенно снизилась минерализация воды — с 28 до 3,5 г/л, а также содержание основных загрязняющих компонентов.

Очистка карьерных шахтных вод

Разработка угольных месторождений открытым способом сопровождается откачкой значительных объемов воды. Использование этих вод нередко ограничено высоким загрязнением их компонентам, характерных для угленосной толщи. Особенно эта проблема характерна для аридных регионов, где воды, очищенные до необходимого уровня, могли быть использованы для орошения.

Для снижения содержания сульфатов, которые ограничивали их использование для полива, в технических водах на Холбольджинском разрезе Гусиноозерского месторождении бурого угля в Бурятии также был применен сульфатный барьер.

Использование для полива технической воды, большие запасы которой сосредоточены в выработанном карьере, затруднено повышенным содержанием в ней сульфатов - до 1200 мг/л. Учитывая крайне высокую потребность в водах для орошения была проведена оценка возможности снижения содержания сульфатов. Для этого был предложен способ внесения растворимых солей бария, которые в водной среде при взаимодействии с сульфат-ионом образуют сульфат-бария (барит), практически нерастворимое (произведение растворимости $1,1 \cdot 10^{-10}$).

Опыты по снижению сульфатов соединениями бария были проведены в естественных условиях на территории Холбольджинского угольного разреза. Комплексные лабораторные исследования позволили рассчитать необходимое, для доведения воды до необходимого качества, количество реагентов.

В результате опытных натурных работ содержание сульфатов снизилось до 400 мг/л (при максимально допустимой для полива концентрации 500 мг/л). Содержание остальных компонентов не превышало нормативных значений. Анализ образовавшегося на дне белого осадка показал, что он состоит из барита BaSO_4 и виверита BaCO_3 .

Снижение негативного влияния твердых отходов угольной промышленности при использовании их в строительстве.

Отходы угольной промышленности стихийно, и часто без серьезных исследований используют в строительных целях. Специфический состав отходов может привести к загрязнению геологической среды и формированию агрессивных сред к строительным конструкциям.

Исследование формирования сульфатной агрессивности к подземным конструкциям было проведено на территории ОАО «Метафракс». Объект расположен в г. Губаха Пермского края на склоне долины р. Косой (бассейн р. Камы). При планировочных работах и формировании насыпей наряду с грунтом, перемещенным в пределах площадки, использовались породы отвалов угольных шахт Кизеловского бассейна [19, 20]. В состав насыпных грунтов вошли как горелые, так и негорелые породы с включениями угля. Общий объем завезенных на площадку пород отвалов не учитывался. Как показало обследование, на некоторых участках их содержание достигает 40–90% объема насыпных грунтов. Породы отвалов характеризуются высоким содержанием сульфатной и сульфидной (пирит) серы, достигающим 8,7 %.

После планировки площадки и создания террас произошло формирование техногенного водоносного горизонта в результате утечек из водонесущих коммуникаций, водосодержащих емкостей и атмосферных осадков. Фундаменты глубокого заложения на площадке оказались затоплены на глубину более 2 м. После окончания строительства наблюдалось возрастание минерализации в результате поступления сульфатов из насыпного грунта. На начальных стадиях минерализации вод насыпных грунтов преобладают сульфатный и кальциевый ионы, на последующих, при минерализации более 3 г/л, преобладание переходит к более растворимым сульфатам натрия.

Для борьбы с этим явлением был разработан метод на основе создания искусственного сульфатного геохимического барьера. В качестве реагента для осаждения сульфатов было предложено использование растворимых соединений бария [21], который будет их связывать в нерастворимые соединения.

Опытные работы по нейтрализации агрессивных сред проводились на двух участках. На первом, где подземные воды обладали сильной сульфатной агрессивностью, пробурены две скважины: одна - для засыпки реагента, другая - для наблюдения. После засыпки хлорида бария вода в наблюдательной скважине в скором времени становится неагрессивной по отношению к бетону. К концу четвертого месяца наблюдений концентрация SO_4^{2-} снизилась в 10 раз.

Проведенные работы показали, что подземные воды, обладавшие средней и сильной сульфатной агрессивностью, становятся неагрессивными по отношению к бетону. Содержание хлоридов и pH на протяжении всего периода наблюдений ниже значений, которые бы делали воды агрессивными по этим показателям.

В результате внесения реагентов существенно изменилась геохимическая активность грунтов. По результатам водной вытяжки общее содержание растворимых солей в грунте на участке 2 уменьшилось в 2,5 раза и к концу наблюдений составляло 2,69 г/кг, содержание SO_4^{2-} уменьшилось в 3 раза и имело значение 1,30 г/кг. Содержание растворимых солей в 1 м от канавы с реагентом не превышает 0,07 г/кг, причем в водной вытяжке преобладали гидрокарбонатные ионы и ионы кальция. Обработка массива растворимыми

соединениями бария приводит к формированию барита, кальцита, витерита, гипса.

Широкий спектр проблем оптимизации состояния природной среды в районах с интенсивной техногенной нагрузкой выявил важнейшую научную и прикладную область использования геохимических барьеров. Геохимические барьеры могут применяться для снижения содержания в поверхностных и подземных водах, грунтах и почвах загрязнителей широкого спектра: макрокомпонентов, тяжелых металлов, органических соединений и др.

Использование геохимических барьеров позволяет решать возникшие проблемы наиболее простым способом, учитывая естественные защитные функции геологической среды. В качестве материалов для создания барьеров, в зависимости от состава загрязнителей, могут применяться природные образования (почвы, горные породы и т.д.) и производственные отходы, что значительно снижает затраты и в известной мере решает проблему их утилизации. В ряде случаев локализация загрязнения может осуществляться, если при выборе участков складирования отходов используются и активизируются барьерные свойства самой геологической среды.

Высокая экологическая и экономическая эффективность использования геохимических барьеров для охраны окружающей среды показала перспективность данного научного направления и возможность широкого практического применения при создании новых природоохранных технологий.

Работа поддержана грантом РФФИ (15-05-07461) и Министерством образования и науки РФ (14.В37.21.0603).

Библиографический список

1. Перельман А.И. Геохимия ландшафта. М.: Высш.шк., 1966. 392 с.
2. Алексеенко В.А., Алексеенко Л.П. Геохимические барьеры: Учеб. пособие. М.: Логос, 2003. 144 с.
3. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафтов: учебное пособие. изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Астрей-2000, 1999. 786 с.
4. Langer M. The role of geological barrier in waste disposal projects. *Proceedings International Symposium on Engineering Geology and the Environment, Athens, Greece, 23-27 June 1997.* A.A.Balkema: 3617-3635.
5. *Handbook of Groundwater Remediation using Permeable Reactive Barriers. Applications to Radionuclides, Trace Metals, and Nutrients/ Edited by: David L. Naftz, Stan J. Morrison, Christopher C. Fuller and James A. Davis- Elsevier Science. 2002. 539 p.*
6. Palmer C.D., Wittbrodt P.R. Processes affecting the remediation of chromium-contaminated sites // *Environmental Health perspectives. Vol. 92. P. 25–40. 1991.*
7. Förstner U. Part I: Integrated water quality management: river basin approach. *Geochemical techniques on contaminated sediments-river basin view // Environ Sci Pollut Res Int. 2003;10 (1). P. 58–68.*
8. Максимович Н. Г., Хайрулина Е. А. Геохимические барьеры и охрана окружающей среды. Пермь: Изд-во ПГУ, 2011. 248 с. URL: <http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2011/0381.pdf>
9. Maximovich N.G., Osovetskiy B.M., Blinov S.M. *Geochemical Barriers and Environment Protection // GeoEng 2000: Conference Proceedings. 19-24 November 2000. Melbourne, Australia.*

10. Максимович Н.Г. Теоретические и прикладные аспекты использования геохимических барьеров для охраны окружающей среды // *Инженерная геология*. 2010. № 3. С. 20–28. URL: <http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2010/0367.pdf>.
11. Хайрулина Е.А. Формирование экологической обстановки при разработке месторождения калийных солей // *Проблемы региональной экологии*, №4, 2015. С. 140–145.
12. Sergeev V. I., Shimko T. G., Kuleshova M. L., Maximovich N. G. Ground water protection against pollution by heavy metals at waste disposal sites // *Water Science and Technology*. 1996. Vol. 34. № 7–8. P. 383–387. DOI: 10.1016/S0273-1223(96)00768-8. URL: http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0177.html
13. Максимович Н. Г. Создание геохимических барьеров для улучшения экологической обстановки при разработке россыпных месторождений // *Вестник Пермского университета. Геология*. 2011. Вып. 4 (13). С. 97–104. URL: <http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2011/0387.pdf>
14. Максимович Н. Г., Сергеев В. И., Шимко Т. Г. Комплексный экран для защиты подземных вод в районе размещения шламов газоочистки // *Экология и промышленность России*. 2006. декабрь. С. 4–7. URL: <http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2006/0307.pdf>
15. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь, 1992. 200 с. URL: http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0129.pdf
16. Maximovich N.G., Kataev V.N., Blinov S.M. Consequence of the Kizel coalfield acid mine water disposal into karst cavities // *Proceeding of the 8th Int. Symposium on Water-rock Interaction-WRI-8. Russia. Vladivostok, 1995. p.885-888. URL: http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0170.html*
17. Максимович Н.Г. Создание геохимических барьеров для очистки стоков породных отвалов // *Уголь*, 2006. №9. С.64. URL: <http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2006/0305.html>
18. Maximovich N., Khayrulina E. Artificial geochemical barriers for environmental improvement in a coal basin region // *Environmental Earth Sciences*. № 72. 2014. P. 1915-1924. DOI: 10.1007/s12665-014-3099-7. URL: <http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/2014/0442.pdf>
19. Maksimovich N.G., Gorbunova K.A. Formation of aggressivity of groundwaters when rocks from coal-mine dumps are used in construction // *Soviet Engineering Geology (Inzhenernaya Geologiya)*, 1990. №6. P.75–82. URL:
20. Maximovich N.G., Gorbunova K.A. Geochemical aspects of the geological medium changes in coal fields // *Proceeding of 6 Int. Congress Int. Ass. of Engineering Geology. A.A. Balkema.-Rotterdam, 1990. P.1457-1461. URL:*
21. Maximovich N.G., Blinov S.M. The use of geochemical methods for neutralization of surroundings aggressive to underground structures // *Proceeding of 7 Int. Congress Ass. of Engineering Geology.V.5. Portugal, Lisboa.1994. P.3159-3164. DOI 10.1016/0148-9062(92)91095-m URL: http://nsi.psu.ru/labs/gtp/stat/ng_0119.html.*