

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГЕОХИМИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Максимович Н. Г.

Мировые ресурсы угля оцениваются в 16—20 трлн т, разведанные — в 3366 млрд т [1]. В энергетическом балансе уголь составляет 20—30%. Разработка угольных месторождений связана с извлечением на поверхность земли больших масс пустых пород. При добыче каждой тысячи тонн угля шахтным способом на поверхность поступает в среднем 100—115 м³ породы, а при карьерной добыче требуют размещения 3,6 тыс. м³ вскрышных пород [2]. Доля выбросов угольной промышленности в атмосферу составляет 5,1% и лидирует среди предприятий добывающей промышленности России по сбросу сточных вод (10,6%) [3]. Основными источниками загрязнения окружающей среды являются шахтные воды, породные отвалы и стоки с них. В 1998 году угольными предприятиями сброшено в водные объекты 724,5 млн м³ сточных вод, из них 60,4% загрязненных. Со сточными водами в водные объекты поступило (тыс. т): 38,1 — взвешенных веществ; 660,6 — минеральных солей; 4,4 — органических веществ; 0,12 — нефтепродуктов; 4,4 — соединений железа. В общем объеме сбрасываемых загрязненных сточных вод 79,2% приходится на попутно забираемые шахтные, карьерные и дренажные воды [4].

Значительную долю затрат в угольной промышленности составляют природоохранные мероприятия. В ряде случаев можно существенно снизить затраты, создавая искусственные или используя естественные геохимические барьеры.

Основываясь на теории геохимических барьеров, разработанной А. И. Перельманом [5] и развиваемой его последователями [6, 7, 8, 9, 10, 11], можно сформулировать принцип стратегического подхода к защите окружающей среды от загрязнения. Для его осуществления наиболее оптимальными являются методы, основанные на ускорении естественной трансформации загрязняющих веществ в неопасные формы или их целенаправленной концентрации на определенных, ограниченных в пространстве участках литосферы, т. е. на создании искусственных геохимических барьеров.

Создание геохимических барьеров для охраны окружающей среды имеет ряд преимуществ перед традиционными методами. Например, этот путь представляется наиболее естественным, так как воспроизводит геохимическую обстановку, близкую природной. В качестве материалов для создания барьеров в зависимости от состава загрязнителей могут применяться природные образования (почвы, горные породы и т. д.) или иные вещества, например производственные отходы, что удешевляет затраты на природоохранные мероприятия.

Широкое применение геохимических барьеров сдерживается отсутствием методологии, позволяющей перейти от учения о геохимических барьерах к их практическому использованию. Опыт работы, накопленный за последние годы, показал возможность использования барьеров для решения проблем угольной промышленности на примере Кизеловского угольного бассейна.

Одной из острых экологических проблем Западного Урала является ликвидация последствий деятельности угольных предприятий. При всей схожести проблем, связанных с ликвидацией горнодобывающих предприятий [12], здесь происходит интенсивное загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами, что обусловлено рядом геохимических особенностей угленосной толщи. Каменный уголь бассейна отличается большим содержанием серы, главным образом в форме пирита (5,8%) и золы (21,5%) [13]. Средние содержания многих тяжелых металлов в углях превышают средние концентрации по угольным месторождениям СНГ (рис. 1).

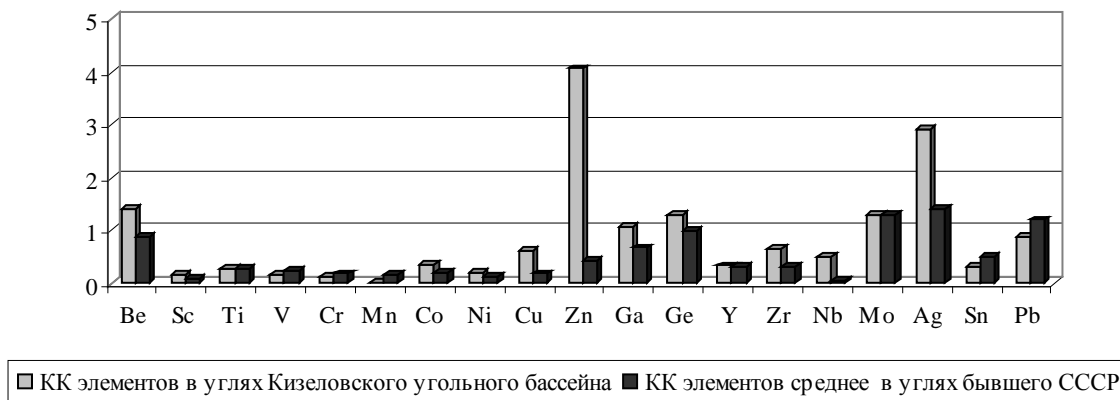


Рис. 1. Коэффициенты концентраций (КК) тяжелых металлов в углях Кизеловского

Другой особенностью Кизеловского угольного бассейна является интенсивная закарстованность. Карст региона относится к голому и бассейна и углях месторождений бывшего СССР (по данным [13])

покрытому типам, что является одним из факторов зависимости режима карстовых вод зоны активной циркуляции от режима атмосферной циркуляции осадков. Условия добычи угля вследствие дислоцированности толщи, больших глубин разработки (до 1000 м) и закарстованности вышележащих известняков сложные. Водопритоки в шахты достигали в зонах карста 2500 м³/ч. Эти два фактора обеспечили условия для интенсивного загрязнения окружающей среды при разработке месторождения.

Рассмотрим возможные методы улучшения состояния окружающей среды с использованием геохимических барьеров.

Очистка кислых шахтных вод. Химический состав шахтных вод во многом зависит от содержания в угленосной формации сульфидной серы, карбонатов и рассеянных элементов. При содержании пирита более 4%, вследствие его окисления, воды приобретают кислую реакцию (рН=2—3) и сульфатный состав. В ходе эксплуатации месторождения, в связи с увеличением водопритоков, воздухообмена и объема пород, вовлеченных в геохимические процессы, минерализация шахтных вод имеет тенденцию к увеличению.

Природные подземные воды обладают высоким окислительным потенциалом и нейтральной реакцией среды (рН=7,3—7,5). В горных выработках они взаимодействуют с богатыми сульфидной и органической серой углем и горными породами, что ведет к формированию сульфатных железисто-алюминиевых кальциевых вод с минерализацией 2,5—19 г/л (табл. 1).

В кислой шахтной воде по сравнению с природной на несколько порядков повышается содержание свинца, меди, цинка, серебра, никеля, кобальта и других компонентов (табл. 2) [14, 15].

Благодаря указанным особенностям шахтных вод при откачке их на поверхность и при взаимодействии с породами, поверхностными и подземными водами происходят активные геохимические процессы.

Таблица 1

Химический состав подземных и шахтных вод Кизеловского бассейна, мг/л [13]

Воды	рН	Σ	HCO ₃	SO ₄ ²⁻	CL ⁻	Na+K	Ca ²⁺	Fe _{общ}	Al ³⁺	Mg ²⁺
Подземные	7,3-7,5	60-1500	12-280	2-99	2-44	0,5-10	4-148	нет	нет	0,5-24
Шахтные	2,2-3,1	2500-19000	-	644-6177	7-74	115-629	40-243	131-3727	29-494	17-115

Таблица 2

Содержание микрокомпонентов в подземных и шахтных водах Кизеловского бассейна, мг/л

Воды	Pb	Cu	Zn	Ag	Ni	Co
Подземные	0,0017	0,003	0,0079	0,00052	0,0071	0,00064
Шахтные	0,003-0,022	0,043-0,56	0,64-1,10	0,010-0,027	0,036-3,89	0,067-2,88

При работе бассейна шахтные воды без очистки сбрасывались в местную гидросеть. Воды малых рек до впадения в них шахтных вод имели $\text{HCO}_3\text{-Ca-Na}$ гидрохимическую фацию, минерализацию — 90—150 мг/л и близкую к нейтральной реакцию среды. Ниже по течению из-за стока шахтных вод они приобретают сульфатный железисто-алюминиевый состав с минерализацией от 640 до 6000 мг/л. Содержание сульфатов составляет от 1000 до 3700, железа — от 70 до 900, алюминия — от 11 до 160 мг/л, $\text{pH}=2,5\text{—}2,9$.

Ликвидация шахт в период 1990-х годов не решила экологических проблем. Откачка кислых шахтных вод на поверхность была прекращена. Шахтные воды затопленных горных выработок смешиваются с подземными водами и формируют техногенные водоносные горизонты мощностью 25—30 м [16]. После восстановления уровня подземных вод в течение нескольких лет сформировался самопроизвольный излив шахтных вод.

В настоящее время существует более 12 участков самоизлива шахтных вод на поверхность. Их суммарный среднегодовой расход составляет около 2,5 тыс. м³/ч, что в несколько раз меньше, чем в период работы бассейна. Однако значительно увеличилась их минерализация — до 25 г/л и более, химический состав изменился в худшую с экологической точки зрения сторону (рис. 2). Произошло резкое увеличение концентрации двухвалентного железа — до 5 г/л. Аналогичные проблемы возникли при закрытии шахт Йоркширского месторождения угля [17]. Изливающиеся на поверхность воды содержат до 100 мг/л общего железа.

При смешивании с речными водами и увеличении pH Fe^{2+} дольше, чем Fe^{3+} , преобразуется в осадок, что привело к загрязнению рек на протяжении десятков километров вплоть до самых устьев. Этого не наблюдалось при работе шахт. Шахтные воды поступают в 19 рек, 15 из которых практически выведены из водопользования. Даже в крупных реках, таких как Косьва и Вильва, постоянно наблюдаются высокие и экстремально-высокие уровни загрязнения воды по концентрации общего железа.

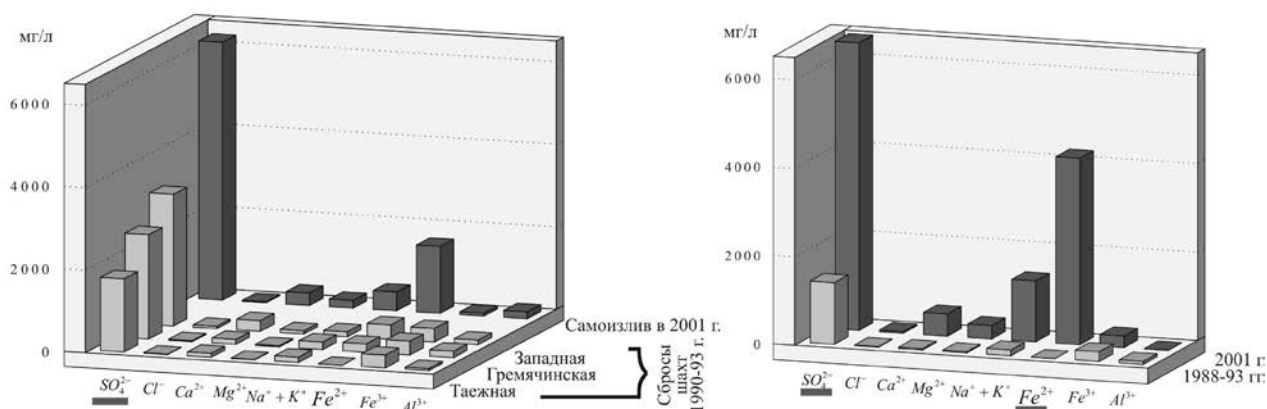


Рис. 2. Состав шахтных вод до и после закрытия шахт Кизеловского угольного бассейна: а) шахты г. Гремячинска, б) шахты им. Калинина

В 2003 году среднегодовые концентрации железа общего в реке Вильве составили 238 ПДК (239 ПДК — в 2002 г.), марганца — 41 ПДК, никеля — 4 ПДК, цинка — 2 ПДК. Среднегодовые концентрации железа общего в реке Косьве составили 43 ПДК (70 ПДК — в 2002 г.), марганца — 15 ПДК, фенолов — 4 ПДК, меди — 2 ПДК. В реке Косьве индекс загрязнения вод (ИЗВ) за счет увеличения концентрации железа достиг в 2003 году показателя 10,92, что соответствует VII классу качества — «вода чрезвычайно грязная»

На загрязненных участках рек ежедневно формируются десятки тонн техногенных донных осадков, представленных в основном аморфными гидроксидами железа и алюминия, с высоким содержанием Mn, Cu, Ni, Zn, Pb и др. При смыве в Камское водохранилище и реку Чусовую они становятся вторичным источником загрязнения рек, что представляет угрозу для питьевого водоснабжения. Уже в настоящее время фиксируются превышения ПДК по концентрации Fe на водозаборах, расположенных ниже по течению, на значительном расстоянии от мест поступления шахтной воды. Прогноз развития ситуации показал, что поступление загрязнителей в реки региона за счет самоизлива шахтных вод на поверхность в ближайшее время будет только увеличиваться.

В конце 1980-х годов автором было предложено использовать в качестве реагента для раскисления шахтных вод щелочные отходы содового производства, миллионы тонн которых накопились и продолжают поступать в шламонакопитель ОАО «Березниковский содовый завод» (БСЗ). Утилизация этих отходов (так называемых белых морей) уже в то время представляла серьезную проблему. Проведенные в те годы лабораторные исследования показали высокую эффективность этого реагента, причем его можно было использовать без специальной подготовки.

Для реализации способа нейтрализации была предложена простая технологическая схема. Реагент предлагалось добавлять в поток шахтной воды, вытекающей из водоотлива, а образующийся осадок собирать в каскаде отстойников. Однако по различным причинам в те годы предложенный способ не был реализован. В 2002 году совместно с ОГУ «Аналитический центр» для Кизеловского угольного бассейна была разработана специальная установка, позволяющая готовить пульпу определенной консистенции из отходов БСЗ и шахтной воды и выливать ее непосредственно в канал стока самоизлива в рассчитанных количествах в зависимости от расхода и состава воды (рис. 3) [19]. Отходы БСЗ относятся к V классу опасности. Оптимальными для нейтрализации составом и свойствами обладает шлам верхнего 1,5-метрового слоя старой карты шламонакопителя. Он более чем на 90% состоит из тонкодисперсного карбоната кальция.

Водородный показатель вытяжки составляет 9—12. Содержание водорастворимых хлоридов, сульфатов, натрия в отходе этого слоя в 37—54 раза ниже, чем в отходе действующей карты. Содержание 38 определенных спектральным анализом микроэлементов не превышает ПДК валового содержания в почвах. Вредных органических примесей в шламе не обнаружено. Объем шлама, готового к использованию в качестве реагента для нейтрализации шахтных вод без какой-либо подготовки, превышает 1 млн м³.

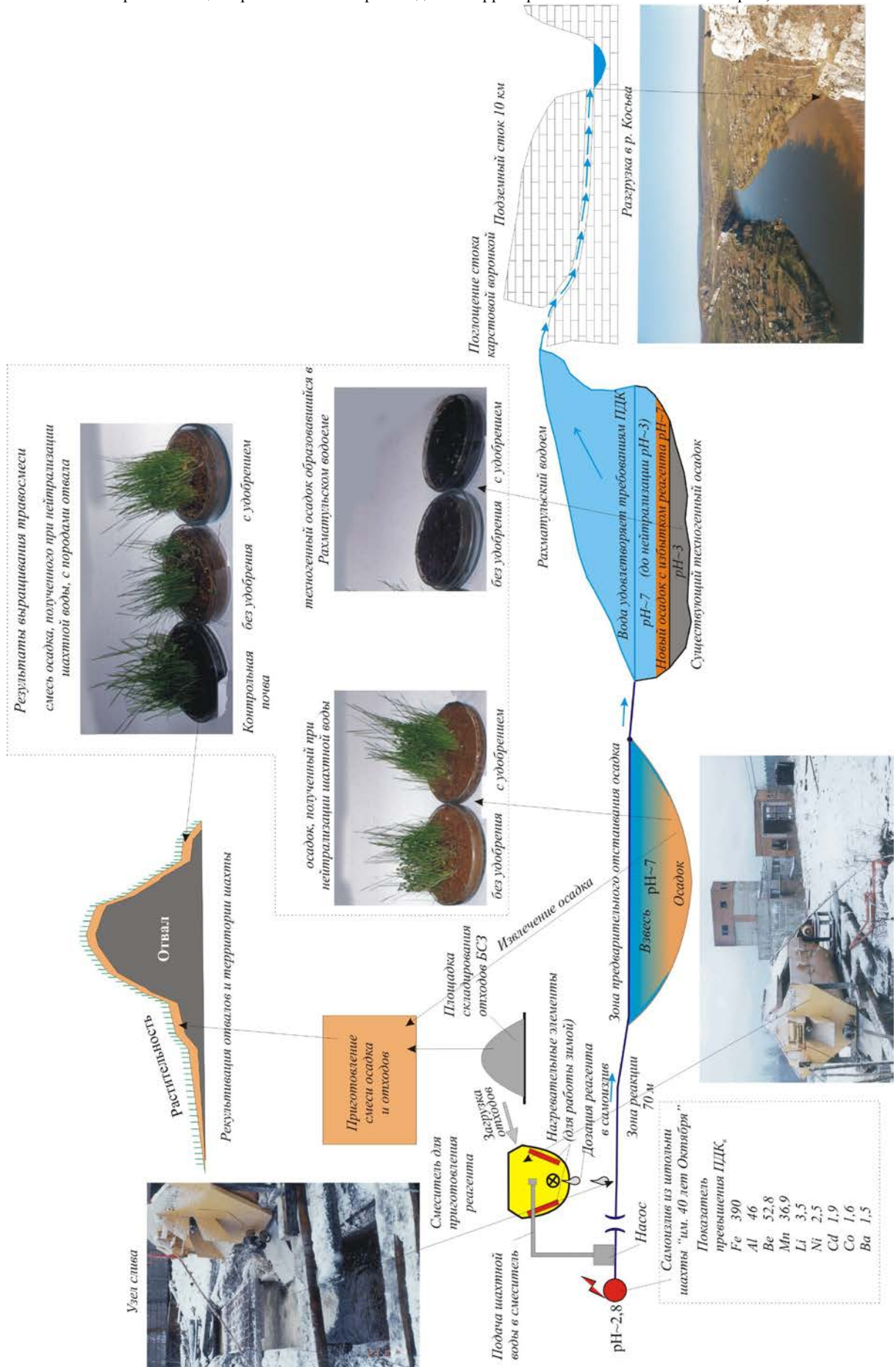


Рис. 3. Схема использования промышленных отходов Березниковского содового завода

При смешивании шахтной воды со шламами БСЗ происходит повышение рН за счет взаимодействия с карбонатом и гидроксидом кальция, которые являются основными компонентами отходов БСЗ. При этом происходит очистка воды от ряда загрязнителей, которые хорошо мигрируют в кислой среде и малоподвижны в нейтральной и щелочной. К ним относятся Fe, Al, Mn, Co, Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Ti и др. При повышении рН растворов, в которых присутствуют ионы этих металлов, происходит их осаждение.

Испытания проводились во время самоизлива воды из штольни шахты им. 40 лет Октября. В период летней межени расход самоизливающейся из шахты воды составляет 180—220 м³/ч, в период паводков — 300—400 м³/ч. Водородный показатель составляет 2,6—2,9.

Минерализация изменяется от 400—600 мг/л в периоды паводков до 800—900 мг/л в период летней межени. Максимальное превышение ПДКв для железа — в 400 раз, для алюминия — в 46, для сульфатов — в 1,3 раза. Показатель превышения ПДКв для бериллия составляет 52,8 раза, марганца — 36,9, лития — 3,5, никеля — 2,5, кадмия — 1,9, кобальта — 1,6, бария — 1,5 и титана — 1,2 раза.

В результате применения метода рН шахтной воды повышается с 2,6—2,9 до нейтральных значений. В ходе испытаний суммарное содержание железа с 30—40 снизилось до 0,2—0,3 мг/л, что не превышает ПДК. После нейтрализации алюминия в шахтной воде не обнаружено, тогда как до нейтрализации его содержание составляло 10—14 мг/л. Концентрации бериллия, лития, никеля, кадмия, кобальта и титана, которые в шахтных водах превышали нормативные, снижаются до значений, не превышающих ПДК. Нейтрализованная вода после отстаивания удовлетворяет требованиям ПДК (рис. 4).

Образующийся осадок представляет собой смесь тонкодисперсных частиц гидроксидов железа и гипса, частично не прореагировавшего карбоната кальция. Он имеет нейтральную реакцию среды. Подвижных форм железа, алюминия, марганца, свинца и др. практически не обнаружено. Вследствие этого образующийся в результате нейтрализации шахтных вод осадок не является источником вторичного загрязнения водных объектов. Эксперименты с образующимся в результате нейтрализации осадком (В. И. Каменщикова и др.) показали, что он зарастает многолетними травами (тимopheевкой, овсяницей, пыреем, люцерной) практически так же, как и контрольные образцы почвы. Осадок предполагается использовать для рекультивации шахтных отвалов.

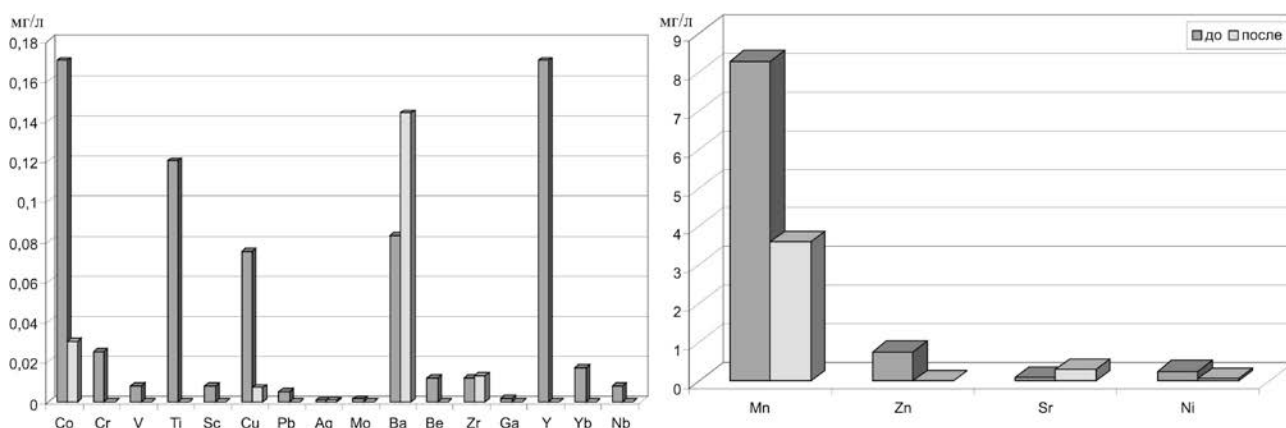


Рис. 4. Микроэлементный состав воды самоизлива шахты им. 40 лет Октября до и после опытно-промышленной нейтрализации отходами БСЗ

Дополнительным плюсом данного метода является использование для очистки шахтных вод отходов содового производства, утилизация которых представляет серьезную проблему.

Очистка кислых стоков с породных отвалов. В более чем 70 отвалах Кизеловского угольного бассейна складировано свыше 35 млн м³ вмещающих пород, более половины из которых — неперегоревшие [20]. Влияние отвалов шахт на

химический состав подземных вод прилегающих территорий проявилось в увеличении концентрации некоторых химических компонентов относительно фоновых их значений, характерных для природного состава подземных вод [21, 22]. Породные отвалы состоят из обломков аргиллита, песчаника, известняка с включениями угля. Они складываются в виде терриконов высотой до 80 м, хребтовидных и плоских отвалов. В породах отвалов протекают процессы физического выветривания, окисления, гидролиза, гидратации, метасоматоза. Процесс окисления пирита идет с образованием серной кислоты, окислов и гидроокислов железа. При этом образуется кислая среда с рН от 2 до 6, способствующая растворению солей и химическому разложению вторичных алюмосиликатов (содержание алюминия в водной вытяжке — 6—106 мг-экв. на 100 г грунта). Химические анализы водных вытяжек из грунтов шахтных отвалов показывают в основном сильноокислую реакцию среды (рН=2,09—3,09), высокое содержание сульфат-иона (до 46,4 г/л), двухвалентного (до 1,4 г/л), трехвалентного (до 4 г/л) железа.

Значительную роль в процессах окисления играют тионовые бактерии. Реакции окисления идут с выделением тепла и сопровождаются самовозгоранием отвалов, обжигом, переплавлением минералов, фумарольными процессами.

Горение отвалов может продолжаться годами, а иногда и десятилетиями. Температура в очагах горения достигает 1000°C. В атмосферу выбрасываются продукты горения, представленные как газовой, так и твердой фазой. Газовая фаза представлена такими газами, как сернистый газ, окислы азота, оксид углерода, сероводород и др. Концентрации диоксида углерода и оксидов серы на расстоянии 300 м от горящего отвала могут достигать 125 и 1,65 мг/м³ соответственно. Максимальный уровень загрязнения отмечен в радиусе до 500 м [23, 24]. Твердая фаза газового дыма представлена сажей, коксом, силикатными шариками, кристаллами гипса и органическими остатками, осаждающимися на поверхность земли.

Горящие и перегоревшие отвалы являются наиболее опасными загрязнителями окружающей среды. Процессы окисления под действием высоких температур идут в них гораздо интенсивнее. Водные вытяжки из грунтов этих отвалов содержат до 13,6 г/л сульфат-иона, 0,8 г/л железа, 16,5 г/л алюминия, натрия и калия (шахта «Ключевская»). Кроме вышеперечисленных элементов, стоки с отвалов, по данным исследований, могут содержать микрокомпоненты: никель — до 0,9 мг/л, медь — до 0,3, свинец — до 0,06, кобальт — до 1,7 мг/л.

Атмосферные осадки, взаимодействуя с породными отвалами, обогащаются растворимыми соединениями. Стоки с отвалов характеризуются сильноокислой реакцией среды (рН=1—3), высокой концентрацией сульфат-иона (до 30 г/л), железа (до 8 г/л) и минерализацией (до 50 г/л). Инфильтрация стоков с отвалов и шахтных вод в зону аэрации отражается на химическом составе подземных вод, физико-механических и фильтрационных свойствах грунтов.

Режим атмосферных осадков оказывает влияние на количество и состав фильтрационных вод. Выпадение осадков заметно уменьшает кислотность вод и количество водорастворимых соединений, но по окончании дождя агрессивность вод довольно быстро восстанавливается. Стоки с отвалов несут с собой также большое количество коллоидных соединений и механических примесей, содержащих соединения серы [25].

После взаимодействия с техногенными грунтами шахтных отвалов атмосферные осадки инфильтруются в зону аэрации, что значительно отражается на химическом составе подземных вод. Воды элювиально-делювиальных отложений, имеющие низкую (0,1—0,2 г/л) минерализацию и гидрокарбонатно-кальциевый состав, в зонах влияния шахтных отвалов изменяют состав на сульфатно-кальциевый. Наблюдаются повышение минерализации, уменьшение рН, увеличение концентрации сульфат-иона, химический состав вод может приближаться к составу стоков с отвалов. Это приводит к изменению состава и строения грунтов, а, следовательно, и к изменению физико-механических и

Максимович Н. Г. Использование геохимических барьеров для решения проблем угольной промышленности // Экологическая реабилитация промышленных производств и территорий: Юбилейный сб. ст.- Пермь, 2005. С. 267-281. фильтрационных свойств грунтов, что сопровождается развитием таких негативных процессов, как карст, оползни, осадка сооружений и др.

Гидрографическая сеть также подвержена активному воздействию техногенно метаморфизованных стоков с отвалов и шахтных вод, о чем свидетельствуют результаты гидрохимического исследования реки Косьвы, ее притоков и впадающих в них поверхностных водотоков и изливов из шахт.

Процесс осаждения катионогенных компонентов на щелочных барьерах нашел применение при очистке кислых стоков в районах складирования отвалов угледобычи. Схема проведения опыта на участке размещения породного отвала представлена на рисунке 5.

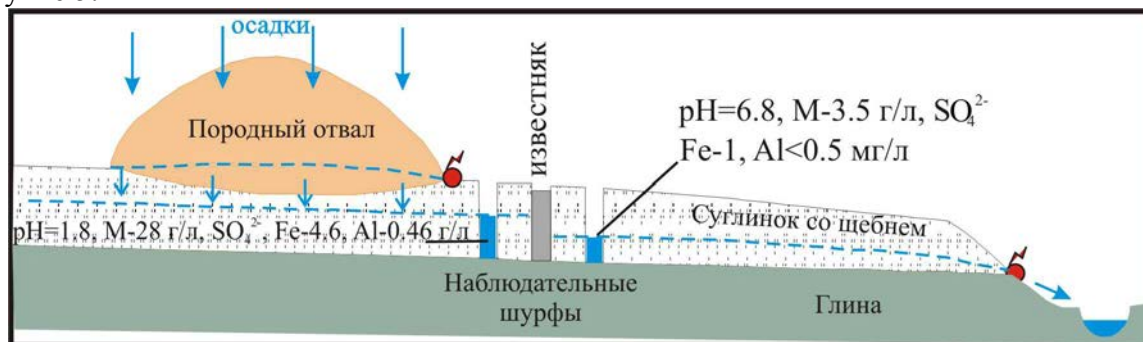


Рис. 5. Схема проведения опыта на участке размещения породного отвала

Для нормализации состава подземных вод в районах отвалов в качестве реагента предложено использовать соединения бария, а также дробленые карбонатные породы, укладываемые в траншеи в зоне стока с отвалов. Карбонатные породы в пределах главной Кизеловской антиклинали (и других геоструктур бассейна) имеют достаточно широкое распространение. На территории региона имеется ряд крупных карьеров, добывающих известняк, поэтому его использование в качестве реагента обходилось бы относительно дешево. Для этих целей могут использоваться отходы содового производства БСЗ.

Опытные натурные исследования показали, что в результате применения метода на опытном участке водородный показатель подземных вод повысился с 1,8—1,9 до 6,4 и сохранял близкие значения в течение года наблюдений. Минерализация воды, которая перед испытанием составляла 19—24 г/л, снизилась до 3,5—4,0 г/л. Значительно снизилось содержание основных загрязняющих компонентов: сульфатов — с 15 000—17 000 до 1600—1800, железа — с 3900—4600 до 1—2 мг/л. Содержание алюминия в конце опыта находилось ниже пределов чувствительности анализатора, при начальной концентрации 464 мг/л.

При этом на щелочном геохимическом барьере происходит интенсивное осаждение гидроокислов железа, алюминия, некоторых сульфатов и гидросульфатов. По данным рентгеноструктурного анализа, в составе суглинков приконтактной зоны обнаружены: гетит — 7—32%, ярозит — до 41%, гипс — до 8%, гематит — до 4%. Для реализации метода могут применяться и другие технологические схемы.

Нейтрализация агрессивных сред, формирующихся при использовании отвалов в строительстве. Породы отвалов Кизеловского угольного бассейна часто используются при строительстве дорог, зданий и сооружений. Как было указано выше, водные вытяжки из пород отвалов характеризуются сильнокислой реакцией среды ($pH=1-3$), высокой концентрацией сульфат-иона. Воды приобретают агрессивность к бетону, активизируются негативные процессы: карст, суффозия, оползни и др.

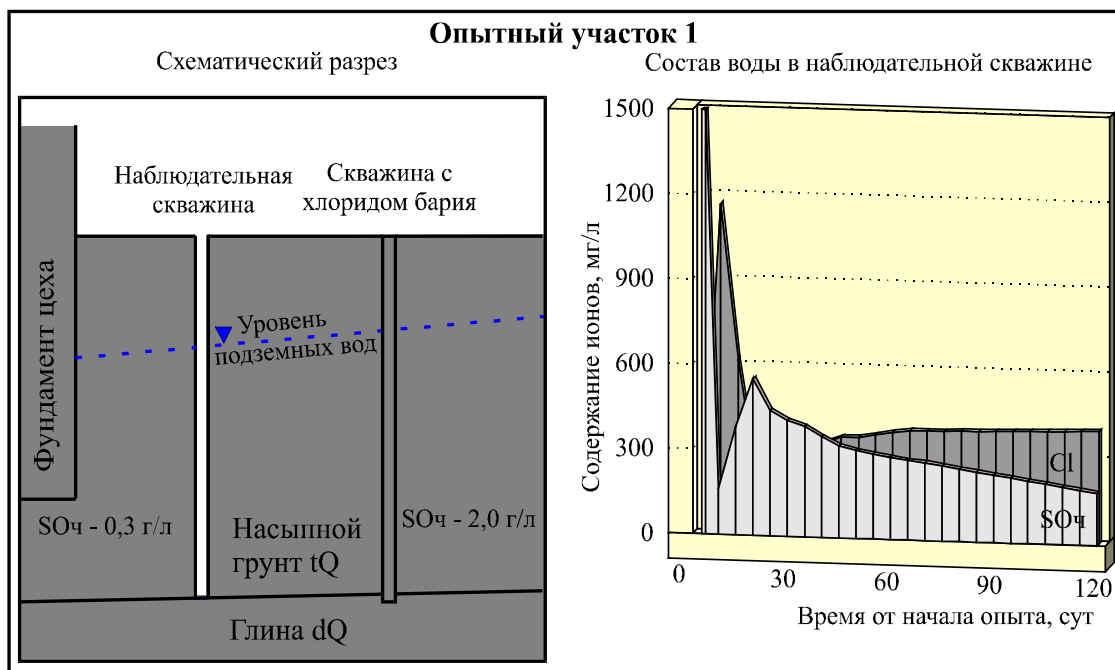
Если не учитывать данные характеристики, это может привести к развитию опасных инженерно-геологических процессов. Примером может служить одна из крупных промышленных площадок в г. Губахе Пермской области. В процессе строительства здесь отсыпались террасы с использованием пород отвалов шахт Кизеловского угольного бассейна. Породы применялись без предварительной оценки их физико-химической

Максимович Н. Г. Использование геохимических барьеров для решения проблем угольной промышленности // Экологическая реабилитация промышленных производств и территорий: Юбилейный сб. ст.- Пермь, 2005. С. 267-281.

активности. В насыпных грунтах на ряде участков сформировались сульфатные кальциевые и сульфатные натриевые воды с минерализацией 6,9 и содержанием сульфатного иона до 4,5 г/л. Увеличение содержания сульфатного иона сопровождается возрастанием агрессивности воды — они становятся сильноагрессивными к бетону на портландцементе, слабо- и среднеагрессивными к бетону с повышенной сульфатостойкостью [26].

Рекомендуемые нормативными документами (СНиП 2.03.11— 85, СНиП 3.04.03— 85) методы защиты подземных конструкций от коррозии сводятся к повышению химической устойчивости применяемых материалов и их антикоррозионному покрытию, либо производится замена агрессивного грунта или снижение уровня подземных вод. Указанные способы требуют значительных затрат, и большая их часть неприменима в условиях действующих сооружений. Опыт борьбы с агрессивными средами указывает на необходимость разработки новых подходов к этой проблеме с учетом экономической и технологической целесообразности. Одним из методов является геохимическое воздействие на сами агрессивные среды. Такой подход был применен автором на одном из объектов в г. Губахе (рис. 6).

Для осаждения сульфатов автором предложено использовать растворимые соединения бария. Реакция осаждения сульфатов в виде барита происходит практически мгновенно и не зависит от pH среды. В качестве реагента целесообразно применять гидроокись и хлорид бария.



267-281.

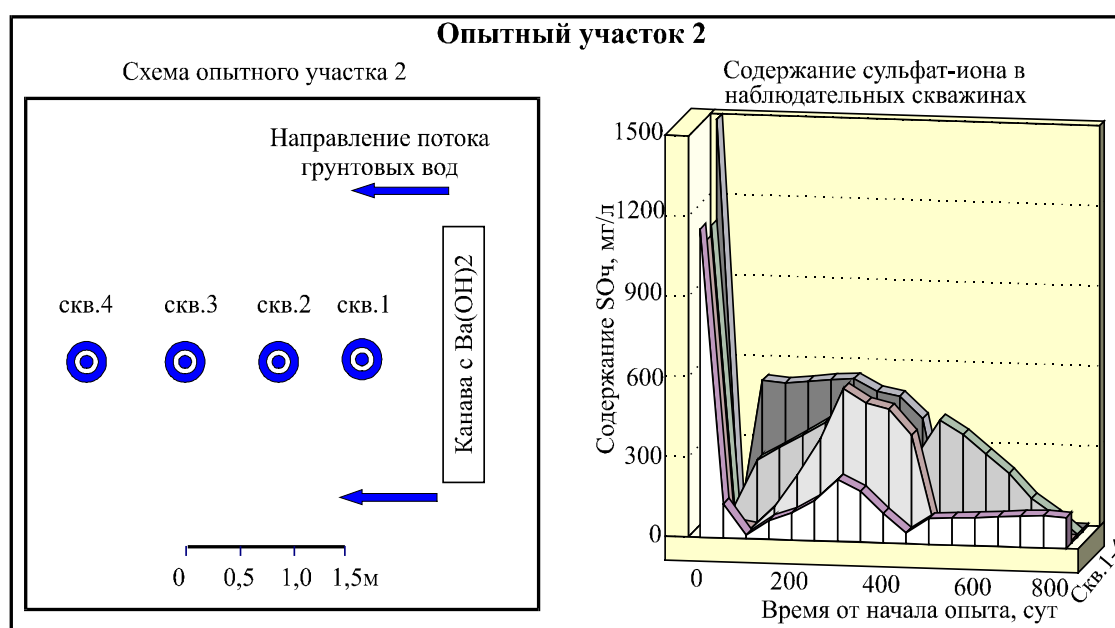


Рис.6. Схема проведения опытов по снижению агрессивности среды

Опытные работы проводились на двух участках. На первом, где подземные воды обладали средней сульфатной агрессивностью, были пробурены две скважины для засыпки реагента и наблюдения. К концу четвертого месяца наблюдений концентрация сульфат-иона составляла 0,18 г/л, т. е. вода стала неагрессивной по отношению к бетону.

Второй опытный участок включал канавы для засыпки реагента и четыре наблюдательные скважины, расположенные ниже по потоку подземных вод, обладающих сильной сульфатной агрессивностью. За период наблюдений длительностью более двух лет во всех скважинах прослеживалась тенденция к уменьшению содержания сульфат-иона, и на завершающем этапе наблюдений его содержание составляло 0,04 г/л, т. е. вода потеряла агрессивность.

Проведенные работы показали, что на обоих участках подземные воды, обладавшие средней и сильной сульфатной агрессивностью, становятся неагрессивными по отношению к бетону.

Таким образом, проведение опытно-экспериментальных работ еще раз показало перспективу использования геохимических барьеров для решения экологических проблем в угольной промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мионов К. В.* Справочник геолога-угольщика.— М.: Недра, 1982. 311 с.
2. *Тютюнова Ф. И.* Гидрогеохимия техногенеза.— М.: Наука, 1987. 335 с.
3. *Ратанова М. П.* Экологические основы общественного производства: Учебное пособие.— Смоленск: СГУ, 1999. 176 с.
4. *Харионовский А. А.* Комплексная очистка шахтных и карьерных вод от техногенных загрязнений.— Шахты: Издательство ЮРО АГН, 2000. 238 с.
5. *Перельман А. И.* Геохимия элементов в зоне гипергенеза.— М.: Недра, 1972. 288 с.
6. *Алексеенко В. А., Алексеенко Л. П.* Геохимические барьеры: Учебное пособие.— М.: Логос, 2003. 144 с.
7. *Емельянов Е. М.* Барьерные зоны в океане.— Калининград, 1998. 416 с.
8. *Перельман А. И., Касимов Н. С.* Геохимия ландшафта.— М.: Астрей, 2000. 768 с.
9. *Longer 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, 2001. Vol. 4. P. 3617-3635.
10. *Sergeev V. I., Shimko T. G, Kuleshova M. L., Maximovich N. G.* Groundwater protection against pollution by heavy metals at waste disposal sites//Wat. Sci. Tech. Vol. 34. No. 7—8. 1996. P. 383-387.
11. Геохимические барьеры в зоне гипергенеза/Под ред. чл.-корр. РАН Н. С. Касимова и проф. А. Е. Воробьева.— М.: Изд-во Моск. ун-та, 2002. 395 с.
12. *Бабенко О. Б., Попова Т. А., Семикобыла Я. Г.* Горно-экологический мониторинг закрываемых нерентабельных шахт ОАО «Ленинградсланец»//Горный журнал. 2002. № 1. С. 70-72.
13. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Закономерности концентрации элементов и методы их изучения/В. Р. Клер, В. Ф. Неханова, Ф. Я. Сапрыкин и др.— М.: Наука, 1988. 256 с.
14. *Максимович Н. Г.* Геохимия угольных месторождений и окружающая среда// Вестник Перм. ун-та.— Пермь, 1997. Вып. 4. Геология. С. 171—185.
15. *Максимович Н. Г., Горбунова К. А.* Геохимические изменения геологической среды при разработке угольных месторождений//Известия ВУЗ. Геология и разведка. 1991. № 5. С. 137-140.
16. *Имайкин К. К., Баньковская В. М., Бурковская А. В.* Изменение гидрогеологической обстановки при ликвидации шахт Кизеловского угольного бассейна//Гидро-геология и карстоведение.— Пермь: Перм. ун-т, 2002. Вып. 14. С. 145—150.
17. *Burrell R., Whitworth K.* The influence of minewater recovery on surface on gas and water discharges in the Yorkshire Coalfield//Mine water and the Environment: Proceedings of 7-th international mine water association congress.— Katowice — Ustron, Poland, 11—15 September, 2000. P. 81—90.
18. Концепция целевой комплексной программы «Охрана окружающей среды Пермской области на 2006—2010 годы». Приложение к Постановлению Законодательного Собрания Пермской области от 17.03.2005 г. № 2131.
19. *Максимович Н. Г., Басов В. Н., Холостое С. Б.* Установка для нейтрализации кислых шахтных вод. Решение о выдаче патента № 2005106661/22 (008113).
20. *Сафин Р. Т.* Экологические проблемы реструктуризации Кизеловского угольного бассейна/Экологические проблемы и здоровье населения Верхнекамья: материалы научно-практической конференции.— Пермь, 2002. С. 42—52.
21. *Баньковская В. М., Сухоплюева Т. М.* Влияние породных отвалов на загрязненность подземных вод//Повышение эффективности природоохранных работ в угольной промышленности.— Пермь, 1987.
22. *Баньковская В. М., Максимович И. Г.* Геохимические изменения природной

Максимович Н. Г. Использование геохимических барьеров для решения проблем угольной промышленности // Экологическая реабилитация промышленных производств и территорий: Юбилейный сб. ст.- Пермь, 2005. С. 267-281. среды в районах размещения отвалов угледобывающей промышленности//География и природные ресурсы. 1989. № 2. С. 42—45.

23. Красавин А. П. Защита окружающей среды в угольной промышленности.— М.: Недра, 1991.

24. Каплунов Ю. В., Климов С. Л., Красавин А. П. Экология угольной промышленности России на рубеже XXI века/Под общей ред. С. Л. Климова.— М.: Изд-во Академии горных наук, 2001. 295 с.

25. Горбунова К. А., Максимович И. Г., Андрейчук В. Н. Техногенное воздействие на геологическую среду Пермской области.— Свердловск: УрО АН СССР, 1990.

26. Максимович Н. Г., Горбунова К. А. Формирование агрессивности подземных вод при использовании пород отвалов угольных шахт в строительстве//Инженерная геология. 1990. № 6. С. 90—99.