

ГЕОХИМИЯ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА
Н.Г. Максимович

Разработка угольных месторождений оказывает существенное влияние на окружающую среду. Одним из факторов, определяющих интенсивность воздействия, является геохимия угольной толщи, которая в зависимости от условий образования месторождения имеет существенные различия.

Угленосные формации занимают 15 % территории континентов. Общие ресурсы угля оцениваются в 16-20 трлн. т, разведанные 3366 млрд. т [25]. В мировом 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. Масса пустых пород угольных и сланцевых месторождений в 1980 г. превышала 8 млрд. т, а к 2000 г. она увеличится до 18,7 млрд. т. В 1986 г. общая площадь, занимаемая отвалами на территории СССР, составляла 10 тыс. га. В 4033 шахтах мира ежегодно добывается 2025 млн. т. угля, при этом из недр извлекается 6 млрд. м² шахтных вод, 26,5 млрд. м² метана, 16,8 млрд. м³ углекислого газа. В бывшем СССР на долю шахтных вод, откачиваемых на поверхность (около 1400 млн. м³/год) приходилось примерно половина общего сброса промышленных вод [1]. К районам разработки угольных месторождений приурочены обогатительные фабрики, теплоэлектростанции, химические предприятия, дающие твердые, жидкие и газообразные отходы.

Извлекаемые из недр вещества и продукты их переработки, нередко, химически неустойчивы в условиях земной поверхности. Согласно представлениям С.Д. Воронкевича [7, 8] это ведет к формированию в верхних горизонтах литосферы и на поверхности земли физических тел с более или менее определенными геометрическими очертаниями, которые получили название техногенно-геохимических систем. Контрастность природных и техногенных геохимических условий в таких системах обуславливает интенсивную миграцию вещества и развитие различных химических и физико-химических процессов, которые существенным образом могут повлиять на свойства пород, изменить состав подземных вод, воздействовать на инженерные сооружения, что может привести к активизации или развитию карста, оползней, неравномерных осадок, коррозии строительных материалов [9, 20, 28, 37, 38].

В угледобывающих районах формируются техногенно-геохимические системы, такие, например, как породы отвалов - грунт - подземные воды, или шахтные воды - поверхностные воды - грунт и др. В настоящее время ведется исследование таких систем или их отдельных компонентов. Например, изучаются шахтные воды [13], процессы минералообразования в отвалах [29, 30], техногенные потоки элементов в ландшафтах [26, 35, 36, 40], загрязнение подземных и поверхностных вод [5, 15].

Техногенно-геохимические системы угледобывающих районов во многом определяются вещественным составом и состоянием разрабатываемой толщи, которые отражают геохимические процессы седиментогенеза, катагенеза, вторичного окисления.

Рассмотрение геохимических особенностей формирования угленосных формаций позволяет понять особенности техногенных процессов, сопровождающих добычу угля.

Геохимические особенности угленосных толщ

Угленосная толща имеет ритмичное строение. Между угольными пластами последовательно залегают биогенные и хемогенные породы (угли, углистые породы, известняки), обломочные, с возрастанием крупности частиц - аргиллиты (глины, суглинки), алевролиты (супеси), песчаники (пески) и далее в обратной последовательности. Ритмы могут быть неполными, размывтыми. Мощности угольных пластов колеблются в широких пределах - от нескольких сантиметров до первых сотен метров. Органическое вещество может быть рассеяно по пластам. Пески и песчаники составляют 20-80 % объема угленосной толщи, глинистые породы занимают второе место. Известняки имеют подчиненное значение и, как правило, составляют незначительную часть разреза, сопоставимую с углями. Например, в Донецком бассейне известняки занимают 0,9-1,3 %, угли 1,0-1,9 % [25]. В состав угленосной толщи могут входить изверженные породы, а также глиежи – природные горелые породы.

В геохимическом отношении наиболее изучены угленосные пласты, поскольку их состав определяет качество топлива и сырья для химической и коксохимической промышленности. Значительный объем геохимических исследований выполнен также в связи с тем, что угли содержат широкий комплекс редких и цветных металлов. В связи с чем геохимическая характеристика дается в основном для угольных пластов.

Основные химические элементы и формы их нахождения

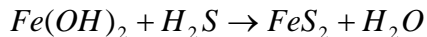
В угольной толще наибольшее влияние на формирование техногенно-геохимических обстановок оказывают элементы с высокими концентрациями. В углях и вмещающих породах отмечены следующие элементы, содержание которых превышает 1 %: углерод, водород, кислород, азот - связанные в основном с органическим веществом; кремний, алюминий, железо, кальций, магний, калий, натрий - составляющие, главным образом, минеральную часть, и сера, занимающая промежуточное положение. В углях установлено более 50 малых элементов, причем 12 из них имеют концентрации в 10-1000 раз превышающих фоновые [22, 23]. Из перечисленных элементов наибольшую роль в техногенном преобразовании геологической среды играет сера, поэтому остановимся на ней более подробно.

Сера. Содержание серы в угольном веществе достигает 20 %, среднее для месторождений территории бывшего СССР составляет 1,5 %, что в 50 раз выше ее кларка в земной коре и в 10 раз больше среднего содержания в осадочных породах. В бассейнах Европейской части среднее содержание серы составляет 3,8 %, Сибири - 2,7 %, Казахстана - 2,0 %, Приморья - 0,4 %. Сера находится в сульфидной, органической, сульфатной и элементарной формах.

На долю сульфидной серы приходится около половины валового ее содержания. Наиболее распространены в углях сульфиды железа - пирит, реже марказит и тонкодисперсная метакolloидная разновидность этих минералов - мельниковит. Содержание сульфидов в углях составляет 0,02-6,5 % [14].

Происхождение сульфидной серы связывают с деятельностью сульфатвосстанавливающих бактерий [14, 32]. Щелочная среда способствует переработке сульфат-иона в сероводород и образованию пирита. Кислая среда тормозит деятельность бактерий. Сульфатвосстанавливающие бактерии используют сапрофитные организмы.

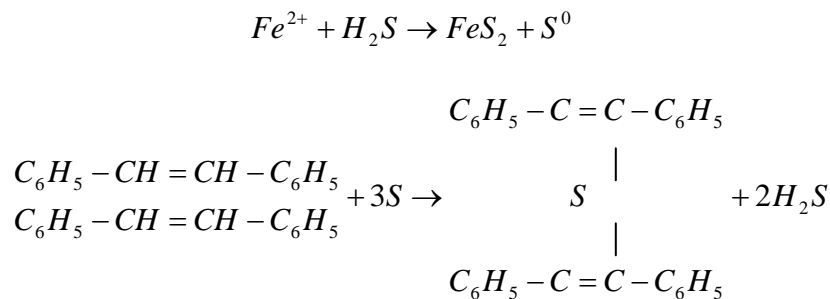
Сульфидная сера преобладает в высокосернистых углях. Сульфиды железа в ископаемых углях отмечены в форме фрамбоидов, бесформенных выделений и псевдоморфоз по растительным остаткам. Фрамбоиды - это сферические тела диаметром 0,5-1,5 мк, которые образуются в результате воздействия H_2S на коацерваты, состоящие из $Fe(OH)_2$:



Бесформенные выделения пирита образуются за счет той же реакции с $Fe(OH)_2$. Кристаллы пирита и марказита рассеяны в угольном веществе (вкрапленная структура), иногда образуют сферические конкреции (марказит) или псевдоморфозы по растительным остаткам. Реже в пластах угля отмечаются пиритовые прожилки. Среди сульфидов встречаются сфалерит, галенит, халькопирит, пирротин [31].

Органическая сера входит в состав меркаптановых, тиофановых и дисульфидных групп. Валовое ее содержание составляет 1,1-1,6 %. Различают две формы органической серы: первичная и вторичная.

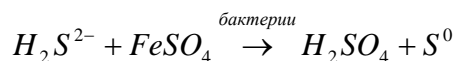
Содержание первичной серы равняется 0,3-0,7 %, вторичной - пропорционально сульфидной сере [14, 32]. Первичная органическая сера попадает в осадок с растительным материалом на стадии седиментации и находится в составе тиогуминовой кислоты, тиокетонов [22]. Сера вторичная неконституционная входит в состав тетрафинил-тиофена по схеме:



Согласно данным А.З.Юровского [32], тетрафинил-тиофен устойчив к окислению.

Сульфатная сера находится в большинстве случаев в форме гипса, реже барита. Содержание ее в неокисленных углях 0,1-0,5 %. В окисленных углях содержание сульфатной серы увеличивается и появляются новые формы: ярозит, сульфаты железа, алюминия.

Элементарная сера установлена в отдельных месторождениях, например, в Донбассе и Кузбассе содержание ее равно 0,03-0,2 % [29]. Образование ее связано с деятельностью анаэробных бактерий [14]:



Сера в породах угленосной формации изучена недостаточно, имеются сведения только по отдельным бассейнам [26].

Таблица 1

Валовое содержание серы и органического вещества
в породах Воркутинского бассейна [17]

Порода	Сера общая, %	Сера орг., %
Песчаники	0,13	0,28
Алевролиты	0,35	0,78
Аргиллиты	0,27	1,69

Среднее содержание серы в песчаниках Канско-Ачинского бассейна составляет 0,04 %, аргиллитах 0,13 % [27]. На некоторых месторождениях в горизонтах песчаников содержание пирита достигает 10 %.

Элементы органической части

Углерод. Содержание этого элемента в угле - 65-95 %. Основу составляют органические соединения и его элементарная форма (углерод, графит). Неорганические соединения с содержанием до 2 % углерода представлены в основном сидеритом и кальцитом.

Водород. Содержание водорода в углях 0,8-6,2 % и снижается с увеличением степени метаморфизма. Этот элемент присутствует в органической части в виде воды, в сорбированном состоянии в виде метана.

Азот. В углях содержится 0,6-2,5 % азота, что значительно выше его кларка в земной коре (0,002 %). Азот связан с различными органическими соединениями.

Кислород. Концентрация кислорода, составляющая 1,2-2,5 % увеличивается с повышением степени метаморфизации и увеличивается при вторичном окислении угля. В органической части кислород находится в составе гидроксильных и карбонильных групп. В минеральной части он связан в окислах, силикатах, алюмосиликатах, карбонатах, сульфатах, воде [22].

Элементы минеральной части

Алюминий. Содержание глинозема в сухом угле достигает 0,5-10 %. Большая часть его связана с глинистыми минералами, среди которых типоморфным является каолинит. Парагенезис этого минерала обоснован большим фактическим материалом по многим бассейнам. Среди других минералов известны иллит, галлуазит, нонтронит, монтмориллонит. На отдельных месторождениях встречены гиббсит, диаспор, меллит, давсонит и другие минералы. В зонах окисления углей встречаются калиевые квасцы, алуноген.

Кремний, содержание которого в углях достигает 1,6-12 %, входит в основном, в состав кварца и его разновидностей. В меньшей степени кремнезем концентрируется в виде глинистых минералов.

Железо содержится в углях в количестве 0,6-3,8 % при среднем значении 1,5 %. Оно играет значительную роль в окислительно-восстановительных процессах, влияет на миграцию ряда элементов, является катализатором процессов преобразования органических веществ. Основная форма нахождения - пирит, реже марказит, сидерит, органические соединения. Пирит, как правило, приурочен к бассейнам с высокосернистыми углями, сидерит - к низко- и среднесернистым. В зонах окисления

углей типичным железосодержащим минералом является ярозит, встречаются и другие сульфаты, окислы и гидроокислы железа.

Кальций, магний. Содержания кальция в углях составляет 0,2-3,8 %, магния - 0,12-0,6 %. В состав углей эти элементы входят в виде карбонатов - кальцита, доломита, анкерита, магнезита, которые имеют, как правило, вторичное происхождение. Сульфаты (гипс) встречаются реже. В бурых углях и в зонах вторичного окисления углей кальций содержится в виде гуматов.

Натрий и калий. Содержание этих элементов в углях равно соответственно 0,1-0,9 % и 0,04-3,0 %. Калий в основном связан алюмосиликатами. В зонах окисления углей образуются калиевые квасцы, алуноген, ярозит. Натрий присутствует в минеральной и органической частях углей, причем на некоторых месторождениях отмечается содержание натрия до 15 %. Минерализация вод на таких месторождениях достигает 10 г/л. Натрий органической части углей находится в сорбированном состоянии в водорастворимых формах в виде галита, мирабилита [22,31].

Рассмотренные минеральные компоненты неравномерно распределены в угольных пластах. А.З.Юровским [33] выделено четыре группы минеральных примесей по характеру сочетания органических и неорганических составляющих углей: 1) тонкая нелокализованная минеральная примесь (глинистые минералы, кварц, пирит); 2) мелкие включения в форме зерен и сростков, рассеянные в угольной массе (пирит, кальцит, доломит); 3) минеральные включения, приуроченные к пластам напластования (глинистые минералы, кварц, пирит); 4) минеральные вещества, заполняющие трещины (пирит, кальцит).

Стадии образования угленосных толщ и их геохимические обстановки

В процессе формирования угленосной формации происходит существенное изменение окислительно-восстановительных, кислотно-щелочных условий, давления, температуры, это меняет подвижности, концентрации элементов.

В геохимических процессах активную роль играют микроорганизмы. Рассмотрим геохимические условия формирования на различных стадиях углеобразования.

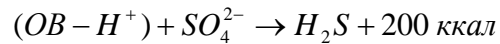
Седиментогенез. Углеобразование связано с возникновением и эволюцией растительности. Формирование угленосных толщ происходит при гумидном литогенезе. Различают прибрежно-морские или параллические и континентальные или лимнические формации. Вещественный состав толщи определяется тектоническими и фациальными условиями, составом пород сноса, в некоторых случаях сингенетическим вулканизмом.

Для платформенных формаций характерна хорошая сортировка по минеральному составу материала с мелкой и средней зернистостью. Геосинклинальные формации отличаются значительно худшей дифференциацией минерального и гранулометрического состава. Минеральный состав песчаных отложений определяется, главным образом, составом пород областей сноса. Для глинистых отложений эта зависимость выражена слабее. Здесь ведущую роль играют фациальные условия. Для морских обстановок характерен гидрослюдистый и гидрохлоритовый первоначальный состав. Для лимнических обстановок типичны каолинитовые и каолин-гидрослюдистые глины [23].

В седиментационных бассейнах активно протекают геохимические и биогеохимические процессы. Например, растительные организмы-торфообразователи извлекают из растворов сульфат-ион, сера которого переходит в состав аминокислот, белков, цистеина, метионина. Так накапливается первичная конституционная сера, которая без изменения содержания переходит в состав бурого и каменного углей [14,31].

Диагенез. Согласно представлениям Р.В.Клера с коллегами [22] эта стадия углеобразования характеризуются следующими признаками: 1) восстановительной средой, высоким содержанием углекислого газа и органических кислот; 2) формированием минеральных новообразований; 3) высокой сорбционной активностью органического вещества; 4) инфильтрационным привнесом в толщу элементов, подвижных в окислительной обстановке; 5) развитием сульфатредукции. Остановимся подробнее на последнем процессе.

В бассейнах, содержащих сульфат-ионы, осуществляется сульфат-редукция по схеме [14]:



где ОВ - органическое вещество.

Из выделяющейся при окислении органического вещества энергии 90 % используется на восстановление сульфат-иона, 10 % - на жизнедеятельность сульфатовосстанавливающих бактерий. Образовавшийся сероводород ассимилируется органическим веществом. При этом на долю гуминовосерных соединений приходится 49-70 % валового содержания серы, из них 10-20 % - на долю фульвиновой, 80-90 % - гуминовой кислоты; 50-30 % валового содержания серы расходуется на образование сульфидов.

Содержание в углях вторичной серы зависит от количества сероводорода, для образования которого необходимо наличие в иловых водах торфяника сульфат-иона. Такие условия существуют при параллическом торфонакоплении в прибрежно-морской зоне. Источником сульфат-иона в континентальных бассейнах могли быть сульфатные толщи на их берегах.

Катагенез. Эта стадия характеризуется различными геохимическими условиями и процессами [23, 31].

1. Преобразование осадков происходит преимущественно в нейтральных, реже слабощелочной или слабощелочной среде. Высокая восстановительная емкость отложений обусловлена значительным содержанием закисного железа и органики.

2. Восстановительная обстановка, с высокой подвижностью двухвалентного железа приводит к его перераспределению в пластах - образуются сидеритизированные горизонты, вторичная пиритизация. Железо может выноситься за пределы угленосной толщи, что ведет к осветлению песчаных отложений и формированию осадочных железных руд на ее периферии.

3. Наблюдается каолинизация алюмосиликатов, возможны различные катагенетические процессы - оруденение, вследствие гидротермальной деятельности, монтмориллонитизация вулканогенно-осадочных пород.

4. Появляется высокая подвижность кальция и вынос его из толщи в результате образования бикарбонатов, отмечается цементация пород осадочными карбонатами, кремнеземом, железом, и их переход в минеральную форму.

5. Снижается физико-химическая активность органической части углей, вследствие чего уменьшается содержание элементов, связанных с органической частью, происходит их вынос или переход в минеральную форму.

Геохимия серы в зонах катагенеза изучена недостаточно. Можно полагать, что в процессе карбонатизации органического вещества сера могла мигрировать. В зоне раннего гипергенеза при появлении сульфат-иона в поровых водах возможна его редукция до

сероводорода. В итоге появляются сульфиды железа - пирит, марказит, выполняющие трещины в угольных пластах и вмещающих породах.

Вторичное окисление. Под влиянием положительных тектонических движений и эрозионных процессов угольные пласты могут попадать в зону аэрации и подвергаться воздействию вод, несущих окисляющие агенты. Метан и другие газы глубоководных угольных формаций вследствие разрушения перекрывающих толщ начинают мигрировать и в конечном счете выносятся из угольной толщи. Угленосные отложения попадают в обстановку, резко отличную от условий их формирования.

Процессы окисления, которые можно рассматривать как начало гипергенных изменений толщи, сопровождаются выделением тепла, протекают самопроизвольно и приводят к уменьшению свободной энергии системы [2]. Зона окисления в ряде случаев достигает глубин 100 м и более. Основными факторами, определяющими интенсивность процессов окисления, являются климат, скорость эрозионных процессов, условия залегания пород, стадия метаморфизма углей, их состав, трещиноватость.

При окислении пирита образуются сульфаты двухвалентного железа и серная кислота. При отсутствии минералов, способных нейтрализовать серную кислоту (например, карбонатов), водородный показатель формирующихся сульфатных вод снижается до 2. Двухвалентное железо под воздействием тионовых бактерий окисляется до трехвалентного, которое в свою очередь является сильным окислителем сульфидов.

Возникающий сернокислотный процесс увеличивает подвижность многих элементов (железа, алюминия, меди). При разгрузке сернокислых вод на поверхности земли образуются сульфаты калия, железа и алюминия, такие как ярозит, алуноген, ромбоклаз.

Окисление угленосных толщ кислородсодержащими водами идет медленнее, так как кислая среда частично нейтрализуется. Типоморфным минералом в таких случаях является гипс.

В зоне окисления происходит изменение состава и структуры органического вещества противоположное углефикации: в составе органического компонента увеличивается содержание кислорода; уменьшается содержание углерода; увеличивается содержание гуминовых кислот, происходит активизация органического вещества и его функционирование как восстановителя и сорбента, повышается содержание кальция за счет образования гуматов кальция, уменьшается содержание серы в результате биохимического окисления до сульфат-иона [23]. Например, в зоне окисления Томусинского месторождения содержание серы в интервале глубин от 28 до 7 м закономерно снижается с 0,52 до 0,28 %, а кислорода увеличивается с 4 до 20 % [2].

При выходе пластов выше уровня грунтовых вод интенсивное окисление высокорекреационных углей кислородом воздуха может привести к их возгоранию и образованию горелых пород (глиежей).

Таким образом, формирование и преобразование угольных месторождений сопровождаются процессами как восстановительного, так и окислительного ряда. На стадии седиментогенеза в зависимости от условий осадконакопления возможны как те, так и другие. При диагенезе и катагенезе главную роль играют восстановительные процессы, окислительные процессы возможны при поднятии и размывании перекрывающих отложений.

Существенное значение имеет геохимия серы. Отсутствие серы и соответственно сероводорода в восстановительных условиях способствует интенсивной миграции и выносу железа. В противном случае сера концентрируется в виде сульфидов и сероорганических соединений. Попадая в окислительные условия, сульфиды становятся

источником кислых сульфатных вод (рН около 3). Сернокислотные условия вызывают высокую подвижность многих элементов, в том числе железа и алюминия, способствуют выветриванию и каолинизации алюмосиликатов.

Приведенные данные показывают, что условия, определяющие интенсивность техногенного воздействия на геологическую среду угледобывающих районов, тесно связаны с особенностями формирования и преобразования угленосных формаций. К факторам, усиливающим контрастность условий в техногенно-геохимических обстановках, относятся сероаккумуляция, декарбонатизация отложений, формирование высокорекреационных углей, способных возгораться при взаимодействии с кислородом воздуха. Вторичное окисление угленосной толщи в естественных условиях приводит к сглаживанию контрастности, уменьшает интенсивность окислительных процессов, сопровождающих разработку месторождений.

Формирование техногенно-геохимических обстановок

Миграция вещества в ходе технологических операций. Разработка месторождений сопровождается перемещением значительных объемов вещества. В ходе подземной добычи угля из недр извлекается уголь, вмещающие породы, подземные воды, в атмосферу откачивается или самопроизвольно поступает метан, углекислый и другие газы, шахтная пыль (табл.2).

Таблица 2

Извлечение вещества при разработке угленосной толщи [по 1]

Вещество	Урал	Всего по бывшему СССР
Уголь, млн. т/год	20,5	485
Шахтные воды, млн. м ³ /год	99	1392
Пустые породы, млн. т/год	2,8	110,8
Метан и углекислый газ млн. м ³ /год	58,2	3312,5
Шахтная пыль, тыс.т/год	0,3	12,5

В недра земли поступает или нагнетается воздух, кислород которого является окисляющим агентом. На тонну добываемого угля попадает до 10 м³ воздуха [1]. В шахтах в качестве закладочного материала используют породы отвалов. В геохимических процессах участвует различное эксплуатируемое или оставляемое в шахте оборудование - трубы, рельсы, механизмы и др., которые корродируются и влияют на состав шахтных вод.

Извлеченный уголь претерпевает дальнейшую технологическую миграцию. При обогащении угля влияние на геологическую среду связано со складированием отходов углеобогащения, сбросом технологических вод. К районам угледобычи приурочены предприятия, сжигающие уголь в энергетических целях. Образующиеся при этом золошлаковые отходы и воды создают геохимические аномалии [10, 19, 24].

Рассмотрим особенности технологической миграции веществ, оказывающих наибольшее влияние на геологическую среду.

Отходы угледобычи. Общий объем переработки пород составляет свыше 2 млрд.т в год, из которых на уголь приходится около 30 %. В бывшем СССР суммарный объем породы в 2039 отвалах составлял 3,5 млрд. т.

Породы, идущие в отвал, образуются за счет проходки выработок (52 %), их ремонта и восстановления (48 %), они складываются вблизи стволов шахт в виде терриконов

высотой до 60-80 м, и отвалов хребтовидной формы (92 %), а также плоских отвалов (8 %). Отвалы состоят из аргиллитов 60-80 %, алевролитов 10-30 %, песчаников 4-10 %, известняков до 6 %, пирита до 10 %, угля 6-20 %, содержат древесину, металлические предметы (трубы, провода и др.) [1, 25]. Породы неоднородны по гранулометрическому составу, имеют размер от глинистых частиц до глыб.

Миграция вещества продолжается после складирования пород в отвалы. Можно выделить механическую, водную, воздушную и биологическую миграцию. К механической миграции относится оползание склонов отвалов, развевание пород, перенос частиц временными и постоянными потоками (при отсыпке на по пойму и русло). Часть компонентов отвала переносится водными агентами. При фильтрации через отвалы атмосферные, поверхностные и подземные воды обогащаются ионами и коллоидами, которые переносятся на значительные расстояния. Часть их, например, гидроокислы железа, могут осаждаться и мигрировать механически. К воздушным мигрантам относятся газы, выделяющиеся из отвалов, главным образом при горении [3].

Средний горящий отвал в течение года выделяет от 620 до 1280 т SO_2 , 3000-5000 т CO , 230-290 т H_2S , 11-30 т NO_x , 14400 т CO_2 (7200 негорящий) [1]. Окислы серы, взаимодействуя с атмосферной влагой, образуют серную кислоту, которая выпадает с осадками на земную поверхность.

Компоненты отвалов участвуют в биологическом круговороте химических элементов. Существенную роль играют микробиологические процессы при выветривании пород отвалов. Можно говорить об активной биологической миграции элементов при рекультивации отвалов.

Технологическая миграция вещества происходит при использовании пород отвалов. Можно выделить два типа миграции: 1) вещество перераспределяется в пределах геологической среды; 2) вещество изымается из нее и непосредственного участия в геохимических процессах не принимает (рис.1). При использовании пород без изъятия из геологической среды для них присущи те же виды миграции, как и для отвалов [21, 39].

Отходы обогащения угля. Угли добываемые в шахтах поступают на обогатительные фабрики (ОФ). Такие фабрики в районах угледобычи и являются источником компонентов, формирующих техногенно-геохимическую обстановку. По местоположению различают ОФ на промплощадке шахты, групповые - для нескольких, расположенных рядом шахт, и центральные - на самостоятельной площадке для шахт определенного района. Существуют ОФ при коксохимических заводах. Для обогащения углей используют гравитационный, флотационный, магнитный, электрический, комбинированные и специальные методы. Основными являются "мокрые" методы обогащения (94 %) [4, 34]. В обороте ОФ находится 850 млн. м³ воды.

В результате деятельности ОФ накапливаются отходы обогащения углей, загрязняются поверхностные и подземные воды, воздушный бассейн.

Ежегодный выход отходов обогащения углей составляет более 150 млн. т [5]. По литологическому и минеральному составу они близки к отходам угледобычи, но отличаются от них более стабильными свойствами. В них могут входить флотреагенты и другие химические вещества, используемые при обогащении. Миграция компонентов на участках складирования угледобычи схожа с миграцией вещества пород отвалов.

Технологические воды фабрик имеют минерализацию - 1,5 г/л, значительное количество взвешенных частиц, представляющих собой тонкие шламы, отходы флотации - 50-80 г/л (по нормативу), в них содержатся флотреагенты, флокулянты, коагулянты. Эти воды в ряде случаев сбрасываются в поверхностные водотоки без глубокой очистки.

Сушильные установки ОФ выбрасывают в атмосферу даже при трехступенчатой схеме очистки до 200-300 мг/м³ пыли и продуктов сжигания топлива [4].

При энергетическом использовании углей в окружающую среду поступают золошлаковые отходы, газообразные продукты горения, загрязненные технологические воды. Зола, выносимые дымовыми газами, осаждаются в золоуловителях и частично выбрасываются в атмосферу, и затем осаждаются на поверхность земли. Зола и шлаки совместно или раздельно гидравлическим методом направляются в золоотвалы. Ежегодно в отвалы поступает 94 млн. т угольной золы [1, 16]. Различают внутреннюю золу, образующуюся за счет химически связанных с органическим веществом тонкодисперсных золообразующих компонентов угля, и внешнюю за счет вмещающих пород и минеральных прослоев в угле. Внешняя зола соответствует по составу вмещающим породам и в большинстве случаев имеет алюмосиликатный состав. Состав внутренней золы связан со стадией углефикации. Зола бурых углей часто известковая, каменных - алюмосиликатная или железистая [12, 34].

В золошлаках находится до 3-5 % щелочей. В отличие от большинства горных пород здесь калий преобладает над натрием. В состав золошлаков входит до 12 % несгоревшего органического вещества и угля (недожога), кварц, гематит (шарики), магнетит (шарики и кристаллы), обожженное глинистое вещество, муллит (игольчатые кристаллы), стеклянные шарики. Породы находятся в рыхлом состоянии - плотность 0,6-1,2 г/см³, что способствует их развеванию.

Воды, поступающие в шламохранилище (технологические, атмосферные, поверхностные) переносят растворимые компоненты золошлаков в поверхностные и подземные воды. Состав вод зависит от состава золошлаков и изменяется в широких пределах, имея реакцию среды от кислой до щелочной. Разнообразие кислотно-щелочных условий определяет различную подвижность элементов золошлаков.

Золошлаки используются при возведении сооружений, на дорожном и других видах строительства, в сельском хозяйстве в качестве удобрений, что приводит к рассеиванию элементов в геологической среде.

При сжигании топлива в атмосферу выбрасывается CO, CO₂, SO₃, SO₄, H₂O. Количество выделяемого сернистого ангидрида в мире достигает 60 млн. т/год [6], который как отмечалось выше, является активным геохимическим агентом.

Интенсивная миграция вещества при разработке угольных месторождений связана с откачкой воды из шахт. Объем таких вод в бывшем СССР составлял около 1400 млн.м³ в год. Из них около 90 % приходилось на воды, дренируемые шахтами, 10 % - технологические воды, используемые в процессе добычи угля - при бурении шпуров, пылеподавлении, гидротранспорте [1].

В 1976 г. доля очищенных вод составляла 88 % общего сброса. При очистке в прудах-отстойниках, в прудах-осветителях скапливаются взвешенные частицы и компоненты, осаждающиеся из раствора. Неочищенные и частично очищенные воды сбрасываются в гидросеть, фильтруются в подземные воды и, таким образом, являются важным фактором миграции вещества в угледобывающих районах.

Основные техногенно-геохимические обстановки

Перемещение вещества, сопровождающее разработку угольных месторождений, приводит к формированию в приповерхностной части разреза участков с геохимически контрастными по отношению к естественным условиям. Основные пути миграции вещества показаны на рисунке 2. Можно выделить два основных типа миграции - в

результате технологических операций (транспортировка сырья и продуктов, откачка вод, газов) и за счет естественных факторов. Технологическая миграция определяет состав вещества и размеры функционирующих аномалий. Естественные факторы и состав среды миграции определяет типы, направленность и интенсивность процессов в техногенно-геохимических обстановках.

По расположению в пространстве геохимические аномалии могут иметь различный характер: мозаичный - скопление твердых отходов, линейный - сток загрязненных вод и площадной - осаждение пыли, кислотные дожди. Контрастность определяет интенсивность миграции и физико-химических процессов в создавшихся техногенно-геохимических обстановках.

Основные геохимические аномалии образуют следующие технологические продукты.

1. Искусственные грунты, к которым относятся отходы угледобычи и углеобогащения, золошлаки складированные в отвалы, а также используемые в строительстве и в сельском хозяйстве. Эти грунты являются источником формирования химического состава подземных и поверхностных вод, которые в свою очередь, могут влиять на физико-механические и фильтрационные свойства грунтов, обладать агрессивностью по отношению к инженерным конструкциям. Выброс сернистого ангидрида при горении пород шахтных отвалов и выпадении кислых дождей может также оказывать влияние на состав вод.

2. Шахтные воды, сбрасываемые в гидрографическую сеть, перемещаются на значительные расстояния. Они могут фильтроваться в подземные воды, влиять на свойства грунтов, воздействовать на инженерные сооружения. При фильтрации в массивы известняков, которые характерны для угленосной формации, могут развиваться или активизироваться карстовые процессы.

Обзор литературы и опыт исследований в Кизеловском угольном бассейне [3, 10, 19, 21] показывает, что при оценке состояния окружающей среды в пределах угольных месторождений и поисков путей ее реабилитации в первую очередь (на наш взгляд) должны решаться следующие задачи:

1. Изучение закономерностей формирования химического состава компонентов угольных толщ и выделение элементов, играющих ведущую роль в техногенно-геохимических обстановках.

2. Изучение основных путей технологической миграции вещества угленосной толщи, химико-минералогического состава техногенных грунтов, состава подземных и поверхностных вод для выделения основных техногенно-геохимических процессов.

3. Разработка геохимических основ и схем снижения интенсивности техногенной миграции.

Библиографический список

1. Айруни А.А. Охрана окружающей среды при подземной добыче угля. Обзор ЦНИЭИуголь. М., 1979. 48 с.

2. Аммосов И.И. Зона окисления углей. М.:Наука, 1965. 96 с.

3. Баньковская В.М., Максимович Н.Г. Геохимические изменения природной среды в районах размещения отвалов угледобывающей промышленности //География и природные ресурсы, 1989. N2. С.42-45.

4. Бедрань Н.Г. Обогащение углей. М: Недра, 1988.

5. Вознюк Г.Г., Баньковская В.М., Панарина Г.Н., Сухоплюева Т.М. Влияние отвалов угольных шахт на подземные воды.//Использование и охрана подземных вод Урала: Тез Всеурал. науч.-координац.совещ. по рациональному использованию и охране подземных вод Урала и сопредел. регионов. Ч.1. Свердловск, 1983, С.24-25.

6. Волков В.Н. Геология и охрана ресурсов ископаемых углей. Л.: Недра, 1985. 216 с.

7. Воронкевич С.Д. О техногенно-геохимических системах в инженерной геологии //Инженерная геология, 1980, N5. С.3-13.

8. Воронкевич С.Д. Инженерно-геохимические аспекты техногенеза //Инженерная геология, 1984, N3. С.67-78.

9. Горбунова К. А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь, 1992. 200 с.

10. Горбунова К.А., Максимович Н.Г., Андрейчук В.Н. Техногенное воздействие на геологическую среду Пермской области. Пермь, 1990. 44 с.

11. Зарубинский Я.И. Угледобыча и охрана окружающей среды. М., 1994. 44 с.

12. Инструкция по изучению и оценке попутных твердых полезных ископаемых при разведке месторождений угля и горючих сланцев. М.: Наука, 136 с.

13. Иовчев Р.И. и др. Влияние разработки месторождений полезных ископаемых на состояние подземной гидросферы.//Подземные воды и эволюция литосферы. М.: Наука. Т.2, 1985. С.399-402.

14. Кизильштейн Л.Я. Генезис серы в углях. Ростов-на-Дону: Изд-во Рост.ун-та, 1975. 198 с.

15. Красавин А.П. Защита окружающей среды в угольной промышленности. М.: Недра, 1991. 221 с.

16. Лычко Ю.М. особенности отходов промышленных производств при использовании их в качестве оснований для сооружений//Тр.НИИ оснований и подземных сооружений. М., 1984. N74. С.43-52.

17. Македонов А.В. Геохимические признаки угленосной формации краевого прогиба и стадийность их изменения (на примере Печорского бассейна)//Тр.Всес.НИГИ, 1985. С.313, 141-148.

18. Максимович Н. Г., Блинов С.М. Нейтрализация сред агрессивных к подземным конструкциям геохимическими методами //Сб.статей по программе Университеты России, геология, ч.2, М.:Изд-во МГУ, 1994. С.124-133.

19. Максимович Н.Г., Блинов С.М., Малеев Э.Е. Техногенные изменения геологической среды Кизеловского района //Вопросы физической географии и геоэкологии Урала. Межвузовский сб. науч. тр. Пермь, 1994. С. 32-39.

20. Максимович Н.Г., Горбунова К.А. Формирование агрессивности подземных вод при использовании пород отвалов угольных шахт в строительстве. Инженерная геология. 1990. N6. С.90-99.

21. Максимович Н.Г., Горбунова К.А. Геохимические изменения геологической среды при разработке угольных месторождений // Известия ВУЗ, Геология и разведка. 1991, N5, С.137-140.

22. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Геохимия элементов/В.Р.Клер, Г.А.Волкова, Е.М.Гурвич и др. М.: Наука, 1987. С.239.

23. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Закономерности концентрации элементов и методы их изучения./ А.Я. Сапрыкин и др. М.: Наука, 1988. 256 с.

24. Методология оценки воздействия на окружающую среду, связанного с добычей и использованием угля. Уголь, 1994, N1, с.39-43, N12, с.47-51.
25. Миронов К.В. Справочник геолога-угольщика. М.: Недра, 1982 256 с.
26. Никифорова Е.М., Солнцева Н.П. Техногенные потоки серы в гумидных ландшафтах районов угледобычи//Вестн.Моск.ун-та. Серия 5, 1986, N3. С.148-154.
27. Семериков А.А. Геохимические признаки платформенных угленосных формаций (на примере Канско-Ачинского бассейна). Тр.Всес.НИГИ, 1985. Т.313. С.148-154.
28. Тютюнова Ф.И., Сафонин И.А., Швецов П.Ф. Техногенный регрессивный литогенез. М.: Наука, 1988. 239 с.
29. Чесноков Б.В. Баженова Л.Ф., Щербакова Е.П., Михаль Т.А., Дерябина Т.Н. Минералогия горелых отвалов Челябинского угольного бассейна. Свердловск: Урал.науч.центр АН СССР, 1987. 70 с.
30. Чесноков Б.В., Баженова Л.Ф., Щербакова Е.П., Михаль Т.А., Дерябина Т.Н. Новые минералы из горных пород Челябинского угольного/Минералогия техногенеза и минерально-сырьевые базы комплексов Урала//Сб. науч.тр. Свердловск: УрО АН СССР, 1988. С. 5-13.
31. Штах Э. Маковски М.Т. и др. Петрология углей. М.: Мир, 1978. 556 с.
32. Юровский А.З. Сера каменных углей. М.: Изд-во АН СССР. 1960. 295 с.
33. Юровский А.З. Минеральные компоненты твердых горючих ископаемых. М.: Недра, 1968. 214 с.
34. Якунин В.П., Агроскин А.А. Использование отходов обогащения углей. М.: Недра, 1968. 214 с.
35. Gruner D.B, Hood W.C. Geochemistry of drainage from a coal refuse pile, Plramid Mine, Perry Country, Illions, Proceedings of the Symp. on surface Mining Hydrology, Sedimentology and Reclamation, Lexington, 1981, p. 355-357.
36. Jackson L.E. A Summary of water chemistry date for undisturbed coal-bearing watersheds and a synoptic survey of open pit mine Peachates, southern Rocky Mountain Alberta and British Columbia. Papers of the Geological Survey of Canada, 1982, n 82-1 b, p.239-251.
37. Matess G., Otting R., Schulz M., Werner H. Effect of coal mine waters of Nordrhine-Westpalia in groundwater. Jans Publications, 1982, n.139, p.271-278.
38. Maximovich N.G., Blinov S.M. The use of geochemical methods for neutralization of surroundings aggressive to underground structures//Proceeding 7 Int. Congress Ass. of Engineering Geology. Portugal,v.5. Lisboa. 1994. P.3159-3164.
39. Maximovich N.G., Gorbunova K.A. Geochemical aspects of the geological medium changes in coal fields//Proceeding 6 Int.Congress Int.Ass. of Engineering Geology. A.A.Balkema, Rotterdam. 1990. P.1457-1461.
40. Wagner L.E., Jones M.M. The Attenuation of chemical element in acidic Leachates from coal mineral water by soils. Environ Geol.Water Scientes, 1984, v.6, n.3, p.161-170.

N.G.Maximovich

GEOCHEMISTRY OF COALFIELDS AND THE ENVIRONMENT

The character of the technogenic and geochemical processes in coal-extraction areas is determined by the origin and structure of coal-bearing formations and by their transformation in hypergenesis and technogenesis zone. World coal resources, according to various international organizations, are estimated at 8 to 16 billion tons. The world annual output of coal makes up about 2 milliard tons, hereat a great amount of solid, liquid and gaseous waste being extracted from the interior part of the Earth. In the former USSR about 700 mines supply of the order of 500 million tons of coal a year accompanied by escape of 6 milliard cubic meters of methane, over 3 milliard cubic meters of carbon dioxide, 12,5 thousand tons of dust, about 1,4 milliard cubic meters of pit water and 110,8 million tons of rock. Coal extraction and processing are accompanied with soil alienation and pollution of the environment. Under surface conditions the substances being extracted and the products of their processing are chemically unsustainable. There arise technogenetic and geochemical systems whose contrast with the natural ones causes an intensive substance migration, growth of irreversible physico-chemical processes considerably changing all the geological medium components and having a negative effect on engineering constructions.