

ГЕОЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ РЕК В РАЙОНАХ ОСОБОЕНИЯ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Н.Г. Максимович, Е.А.Меньшикова, С.М.Блинов
Естественнонаучный институт при Пермском университете, Пермь

Разработка угольных месторождений оказывает влияние на многие компоненты природной среды. Существенному негативному воздействию подвержены поверхностные воды, и в первую очередь реки. Изменяется химический состав вод, минеральный и гранулометрический состав донных отложений. Влияние месторождения прослеживается на многие десятки километров ниже по течению.

Объектом изучения авторами выбрана р.Косьва (левый приток р.Камы), протекающая на протяжении 20 км в своем среднем течении по территории Кизеловского угольного бассейна. Длительная разработка месторождения (с 1797 г.), а также сосредоточение сопутствующих производств нарушило естественную сбалансированность природной среды и в настоящее время территория бассейна относится к одному из самых неблагоприятных в экологическом отношении регионам России.

Река Косьва берет начало на западном склоне Среднего Урала. Пересекая складчатые палеозойские отложения в широтном направлении, она выходит на равнину Предуралья. Общая длина реки 310 км, площадь водосборного бассейна 7485 км², средний годовой расход воды 83,5 м³/с. Верховье реки характеризуется близким расположением коренных берегов, отчего местами она приобретает характер каньона. В зоне Кизеловского угольного бассейна ширина реки составляет 85 м, глубина 1,6 м, скорость течения 1,2 м/с. Облик речной долины существенно изменился после строительства в 1946 г. Широковского водохранилища. Долина реки была затоплена на протяжении 25 км выше г.Губахи, а заполнение в 1954 г. Камского водохранилища привело к затоплению устьевых участков.

Детальные исследования проведены на участке р.Косьвы протяженностью 120 км ниже Широковского водохранилища, где река попадает в пределы Кизеловского угольного бассейна. Выше Широковского водохранилища она практически неподвержена техногенному воздействию.

Кизеловский угольный бассейн расположен в пределах Западно-Уральской зоны складчатости, прилегающей к Предуральскому краевому прогибу. В районе исследований развиты породы палеозойского - от среднедевонского до позднепермского возраста, представленные песчаниками, аргиллитами, алевролитами, сланцами, известняками, доломитами, мергелями, углем и другими, общей мощностью до 3-4 км. Карбонатные породы интенсивно закарстованы, особенно в верхней части разреза. Четвертичные отложения представлены в основном песками, суглинками, глинами, часто с большим содержанием гравия и гальки.

Угленосная толща, сложенная песчаниками, алевролитами, аргиллитами и глинистыми сланцами с прослоями известняков, относится к визейскому ярусу нижнего карбона. В составе толщи содержится до 23 пластов каменного угля, но лишь несколько из них достигают мощности 0,4 м и имеют промышленное значение. Все литологические разновидности пород включают тонкорассеянный пирит и органическую серу, что играет важнейшую роль в формировании кислых шахтных вод.

Основными источниками загрязнения рек Кизеловского угольного бассейна являются шахтные воды, породные отвалы и стоки с них, а также складированные по берегам рек отходы и стоки коксохимического, химического и биохимического заводов и ГРЭС. В бассейне р.Косьвы расположено 10 шахт, которые длительное время осуществляли сброс шахтных вод непосредственно в реку или ее притоки и карстовые полости. Шахтами Кизеловского угольного бассейна в период активной разработки бассейна практически без очистки в поверхностные водотоки сбрасывалось более 100 млн.м³ сточных вод в год. В результате окисления соединений серы, содержание которой в угленосной формации достигает 4%, шахтные воды приобретают кислую реакцию среды (рН=2,3-2,9), сульфатный железисто-алюминиевый состав и значительную минерализацию (до 13,3 г/л). Для них характерно высокое содержание взвешенных веществ и микроэлементов (Pb, Zn, Cu, Ni и др.).

Существенным источником загрязнения реки являются твердые отходы угледобычи. Извлеченные из земных недр, они являются химически неустойчивыми в условиях земной поверхности. В результате физического выветривания, окисления, растворения, гидролиза, гидратации, горения и метасоматоза геохимически неоднородных пород отвалов и других процессов возникают растворимые и нерастворимые продукты, влияющие на геологическую среду. В породных отвалах Кизеловского бассейна нашими исследованиями обнаружено 60 минералов. Среди них можно выделить первичные, характерные для угленосной толщи и вторичные, образующиеся в породных отвалах. Основная часть аутигенных минералов представлена неустойчивыми и хорошо растворимыми сульфатами железа, алюминия, кальция (кокимбит, ярозит, копиапит, мелантерит, розенит, смольнокит и др.).

Высокое валовое содержание серы в породах отвалов (до 8,7 вес.%) обуславливает их высокую химическую активность. Сера является одним из загрязняющих элементов. Для водной вытяжки из пород отвалов характерны сильно-кислая реакция среды (рН=1,8-4,3), высокое содержание сульфат-иона

Максимович Н.Г., Меньшикова Е.А., Блинов С.М. Геоэкологическое состояние рек в районах освоения угольных месторождений // Геология и минеральные ресурсы Европейского северо-востока России: новые результаты и новые перспективы: Материалы XIII Геол. съезда Республики Коми.- Сыктывкар, 1999.-С.156-159.

(5-25 г/кг грунта), значительные количества трех- и двухвалентного железа (до 30 и 5 г/кг грунта соответственно), алюминия (до 55 г/кг грунта). Водная вытяжка из грунтов золоотвала Кизеловской ГРЭС характеризуется кислой средой (рН=4,3-5,4), присутствием сульфатов до 3,4 г/кг грунта, двухвалентного железа до 0,68 г/кг грунта.

Складирование породных отвалов и отходов переработки угля по берегам рек приводит к их размыванию, особенно в паводковый период, перемещению материала в русло и его дальнейшей миграции в водном потоке. Воды, фильтрующиеся через толщу отвалов и стекающие по их поверхности, обогащаются растворимыми и коллоидными соединениями, переносят большое количество механических взвесей, среди которых значительную роль играют соединения серы, железа, алюминия. Исследования поверхностного стока с отвалов шахт Центральная и Серова показывают, что основными загрязняющими компонентами стока являются сульфаты до 30 г/л, железо до 7,6 г/л, водородный показатель соответствует сильнокислой среде (рН=1,8-2,4).

Воздействие перечисленных выше факторов повлекло за собой изменение геоэкологической обстановки речного бассейна. Результаты опробования воды р.Косьвы и ее притоков, исследования донных отложений показали существенную трансформацию геохимии реки.

В естественных условиях воды характеризуются гидрокарбонатным кальциево- или калиево-сульфатным составом с минерализацией 52-150 мг/л и средой близкой к нейтральной (табл.1). Минеральный состав донных отложений обусловлен естественными факторами и отражает состав пород, слагающих данную территорию. На фоне доминирующего кварца наблюдается присутствие зерен пироксенов, амфиболов, эпидота, хромита, карбонатов, а также в незначительных количествах (сотые доли процента) гематита, лимонита и др. Минерализация водной вытяжки донных проб составляет в среднем 500 мг/кг грунта, состав - гидрокарбонатный кальциево-хлоридный при водородном показателе 7,7-7,8.

Таблица 1. Химический состав воды р.Косьвы, мг/л

Место отбора пробы	НСО ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Сl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na+K ⁺	Fe общ.	Минерализация	рН
Широковское водохранилище	36.61	9.61	2.84	8.02	0	10.81	0.36	51.46	6.33
г.Губаха:									
Ниже устья р.Губашки	0	230.6	19.85	42.08	9.72	47.82	1.58	356.44	3.6
р.Косьва, ниже сброса вод ш.Крупской	0	941.4	70.91	92.18	24.31	198.4	57.5	1390.8	2.5
р.Косьва, ниже а/д моста	0	67.2	4.25	14.03	3.65	7.82	0.41	99.38	3.82
р.Косьва, 4 км ниже г.Губахи	48.81	28.8	4.25	20.04	3.65	4.14	0.84	113.83	6.72
р.Косьва, 65 км ниже г.Губахи	85.42	62.4	35.45	42.08	7.29	22.53	0.56	256.34	7.7
р.Косьва, устье	54.92	67.2	25.53	30.02	2.43	24.6	5.1	213.37	6.86
Камское водохранилище	79.32	124.9	64.52	50.1	7.29	58.85	0.78	387.69	7.45

Зоной непосредственного влияния Кизеловского угольного бассейна является участок реки от устья р.Шумихи до устья р.Каменки-Берестянки, причем наибольшее техногенное воздействие отмечается в районе г.Губахи. Наиболее неблагоприятная ситуация наблюдается в местах впадения притоков, в которые непосредственно сбрасываются кислые шахтные воды (рр.Шумиха, Губашка, Каменка-Берестянка). Именно небольшие реки и ручьи, по причине незначительной протяженности и малого расхода, в наибольшей степени подвержены загрязнению.

В зоне техногенного загрязнения наблюдается снижение водородного показателя воды р.Косьвы, возрастает минерализация. При этом происходит частичное или полное вытеснение гидрокарбонат-иона сульфат-ионом, увеличение содержания всех катионов (табл.1). В районе г.Губахи в речных водах возрастает содержание и других загрязнителей (в мг/л): фенолов до 0,88 (ПДК 0,001), Mn до 0,97 (ПДК 0,01), Cu до 0,16 (ПДК 0,001), Ni до 0,19 (ПДК 0,01), Zn до 0,08 (ПДК 0,01) нефтепродуктов до 0,32 (ПДК 0,05) /1/. Значительным загрязнителем речных вод являются взвешенные угольно-породные частицы, которые плохо поддаются осаждению и мигрируют на значительные расстояния, уменьшая прозрачность воды и заиливая берега. После сброса шахтных вод р.Косьва по индексу загрязненности относится к классу чрезвычайно грязных.

Результаты силикатного анализа проб донных отложений показали, что для аллювия р.Косьвы на данном интервале валовое содержание серы составляет 1,2-1,7%. В аллювии появляются минералы несвойственные естественным условиям. Согласно данным рентгеноструктурного анализа (здесь и далее представлен анализ фракции менее 0,05 мм, как наиболее представительной по разнообразию минералов)

Максимович Н.Г., Меньшикова Е.А., Блинов С.М. Геоэкологическое состояние рек в районах освоения угольных месторождений // Геология и минеральные ресурсы Европейского северо-востока России: новые результаты и новые перспективы: Материалы XIII Геол. съезда Республики Коми.- Сыктывкар, 1999.-С.156-159.

в районе складирования отвалов в аллювии р.Косьвы обнаруживаются пирит (3-13%), ярозит (до 4%), гетит (до 4%), магнетит (до 4%), лимонит (до 21%), гематит (1,7%). Присутствие сульфатов и гидроокислов железа в донных отложениях р.Косьвы объясняется привносом этих минералов в виде взвешенных частиц с водами притоков, а также процессами экзогенного преобразования пирита в русле.

Химический состав водной вытяжки донных отложений р.Косьвы в пределах промышленной зоны характеризуется повышенным содержанием водорастворимых солей - более 5 г/кг грунта, при значительных содержаниях сульфат-иона (до 4,6), двухвалентного железа (до 0,26), трехвалентного железа (до 0,06 г/кг грунта). Водородный показатель соответствует кислой среде (табл.2).

Таблица 2. Химический состав водной вытяжки донных отложений р.Косьвы, г/кг

Место отбора пробы	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na+K ⁺	Fe общ.	Минерализация	pH
Широковское водохранилище	308.15	24	24.8	81.15	18.25	9.2	2.75	477.2	7.8
г.Губаха									
р.Косьва, ниже устья									
р.Губашки	0	4570	44.3	190.4	141.6	0	317.05	5289.8	3.8
р.Косьва, ниже сброса вод									
ш.Калинина	0	3343	163.1	206.4	31.6	0	140.25	3972.35	2.9
р.Косьва, ниже сброса									
вод ш.Крупской	30.5	1804	35.45	385.75	98.45	155.2	57.3	2608.4	4
р.Косьва, 4 км ниже г.Губахи	289.85	459	23.05	190.4	29.15	1.15	44.2	1055.9	6.6
р.Косьва, 38 км ниже г.Губахи	103.75	827	42.55	215.45	41.95	77	23.5	1363.55	5.4
р.Косьва, 80 км ниже г.Губахи	277.65	48	46.1	111.2	6.1	10.35	4.3	509.9	7.5
р.Косьва, устье	70.15	166	15.95	69.15	6.7	10.35	8.2	352.95	7
Камское водохранилище	64.45	1578	101.05	413.85	86.9	154.05	24.4	2449.35	5.3

В среднем течении реки в результате разбавления, нейтрализации, осаждения, сорбции и других процессов в гидрохимической фации постепенно восстанавливается роль гидрокарбонатного иона при сохранении существенного влияния на ее состав сульфат-иона, уменьшается содержание железа, алюминия. Водородный показатель приближается к нейтральной среде и колеблется в пределах 6,6-6,7. Влияние загрязнения сохраняется на значительном расстоянии, например на удалении порядка 70 км от г.Губахи наблюдается превышение ПДК в содержании Fe в 39 раз, Mn - 12, фенолов - 7, Cu - 2 раза.

В нижнем течении реки существенную роль среди анионов на фоне почти равновесного содержания гидрокарбонат- и сульфат-ионов начинают играть ионы хлора за счет разгрузки подземных вод с Верхнекамского месторождения калийных солей. Среди катионов повышается содержание натрия и калия. Минерализация вод находится в пределах 250-390 мг/л, водородный показатель соответствует среде близкой нейтральной (pH=6,9-7,7).

Согласно химическому анализу водной вытяжки из донных отложений, с удалением от зоны техногенного воздействия наблюдается постепенное увеличение водородного показателя до значений соответствующих нейтральной среде, но для донных отложений Камского водохранилища в районе устья р.Косьвы этот показатель находится в пределах 6,0-5,3, что соответствует условиям слабокислой среды и связано с интенсивным осаждением кислых грунтов при переходе от речного режима к водохранилищному.

В донных отложениях с удалением от зоны непосредственного влияния Кизеловского угольного бассейна наблюдается присутствие магнетита (1-2%), гематита (до 1%), а в устьевой части - сидерита (до 2%) и гематита (до 6%). В составе песков прирусловой отмели на всем протяжении реки ниже разработки месторождения отмечены повышенные содержания (%): угольно-породных частиц (до 90), силикатных, магнетитовых, гематитовых шлаков (до 1,5) и шариков (до 3). Этот материал, обладающий высокой миграционной способностью и значительной устойчивостью, сносится к устьевой части реки и накапливается в водохранилище.

В настоящее время на большинстве шахт в связи с нерентабельностью добыча угля прекращена. Это привело к сокращению поступления загрязняющих веществ в бассейн р.Косьвы (%): железа - на 40, взвешенных веществ - на 54, сульфатов - на 50. Тем не менее, береговые отвалы, мощные толщи ожелезненных донных отложений в местах впадения притоков, а также техногенные компоненты аллювия еще в течение многих лет будут служить источником загрязнения реки.

Таким образом, разработка Кизеловского угольного бассейна, а также развитие сопутствующих производств, привели к существенному изменению химического состава воды и минерального состава донных отложений р.Косьвы. Загрязнению подвержена река на всем протяжении ниже границы разработки и очевидно имеет место в Камском водохранилище, т.к. переносимые на значительные расстояния техногенные компоненты являются источником вторичного загрязнения.

Механизм распространения загрязнения имеет сложный характер. Загрязнители, поступающие в ионной и коллоидной формах (сульфаты, алюминий, железо, тяжелые металлы и др.), благодаря

Максимович Н.Г., Меньшикова Е.А., Блинов С.М. Геоэкологическое состояние рек в районах освоения угольных месторождений // Геология и минеральные ресурсы Европейского северо-востока России: новые результаты и новые перспективы: Материалы XIII Геол. съезда Республики Коми.- Сыктывкар, 1999.-С.156-159.

процессам осаждения, сорбции, могут переходить в твердую фазу, и мигрировать механически. При определенных условиях происходит переход и миграция в жидкую фазу. Продукты, поступающие в реку в твердой фазе, благодаря, истиранию, десорбции, химическим преобразованиям, переходят в жидкую фазу, мигрируют, снова осаждаются переносятся механически. Эти процессы повторяются многократно и способствуют увеличению зоны распространения загрязнения.

Рассмотрим подробнее этот процесс на примере железа. Вне зоны влияния угольного бассейна железо присутствует в незначительных количествах в трехвалентной форме в поглощенном комплексе глин и в донных отложениях в виде окислов. В пределах зоны техногенного воздействия железо поступает в реку с шахтными водами и стоками породных отвалов в ионной форме (двух- и трехвалентное), а также в виде взвешенных частиц гидроокислов (гетит, лимонит) и сульфатов (ярозит). Размывание породных отвалов приводит к поступлению частиц пирита, гематита, магнетита, гетита. Низкий водородный показатель речных вод создает условия для существования в них ионов двухвалентного железа, которое окисляется до трехвалентного и в этой форме присутствует в значительных количествах на всем протяжении реки. Осаждающиеся взвешенные частицы насыщают железом поглощенный комплекс глин и донные отложения. В донных отложениях происходят процессы окисления пирита, что ведет к образованию ярозита, а затем гетита и лимонита. Лимонит, будучи устойчив химически, обладает низким коэффициентом гипергенной устойчивости, истирается и переходит в поглощенный комплекс. В Камском водохранилище наряду с окислами железа (гематитом и лимонитом) обнаружен сидерит. Сидерит легко образуется из FeSO_4 при условии отсутствия свободного кислорода или других окислителей и H_2SO_4 /2/. Аналогичные процессы перехода можно наблюдать у алюминия /3/.

Особенности распределения химических элементов по формам нахождения в донных отложениях позволяют дать прогноз их поведения в процессе диагенетического и эпигенетического преобразования осадков и оценить последние как потенциальный источник загрязнения /4/. Как показали лабораторные и натурные эксперименты для улучшения экологической обстановки реки могут быть использованы искусственные геохимические барьеры.

Список литературы

1. Швецов А.А, и др. Топливо-энергетический комплекс России: экологические оценки и проблемы/Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 1994. N 3. С.1-6.
- 2.Смирнов С.С. Зона окисления сульфидных месторождений.-М.:Из-во АН СССР, 1951.
3. Nordstrom D.K, Ball J.W. The geochemical behavior of aluminum in acidified surface waters. "Science", 1986, 232, N 4746, 54-56.
4. Разенкова Н.И., Филиппова Т.В., Янин Е.П. О формах нахождения тяжелых металлов в техногенном потоке рассеяния /Методы изуч. техноген.геохим.аномалий.- М., 1984.-С.66-69.