

# ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕРРИТОРИИ КИЗЕЛОВСКОГО УГОЛЬНОГО БАССЕЙНА И ИХ КОМПЛЕКСНОЕ РЕШЕНИЕ

**А.М. Сединин, Н.Г. Максимович, В.Т. Хмурчик, А.Д. Деменев,  
О.А. Березина, О.Ю. Мещерякова**

Естественнонаучный институт Пермского государственного национального  
исследовательского университета, 614990, г. Пермь, ул.Генкеля, д.4.  
E-mail: sedinin\_alexey@mail.ru

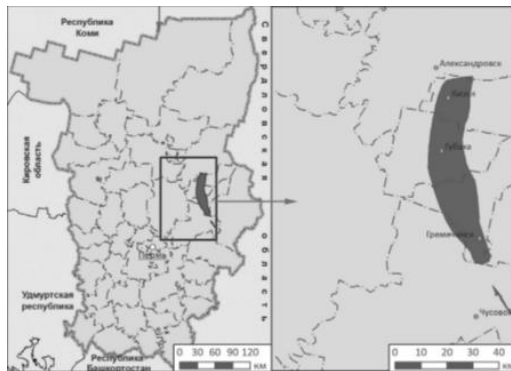
Угленосные формации занимают 15% площади земной коры, а общие ресурсы угля оцениваются в 16-20 трлн. т. Доля угля в мировом энергетическом балансе на сегодняшний день составляет около 25% [14]. При этом из недр извлекается около 6 млрд. м<sup>3</sup> шахтных вод, 26,5 млрд. м<sup>3</sup> метана, 16,8 млрд. м<sup>3</sup> углекислого газа, а масса вскрышных пород составляет около 20 млрд. т. Значительные объемы попутно извлекаемых материалов приводят к различным экологическим проблемам, как во время работы месторождений, так и после их ликвидации [7, 17, 21, 22]. Одними из наиболее серьезных проблем являются:

- формирование кислых шахтных вод. Эти воды образуются в результате взаимодействия подземных вод с серосодержащими угленосными породами, приводящего к их закислению и формированию загрязнения с превышением ПДК по сульфат-ионам и ионам тяжелых металлов (Fe, Al, Cu, Mn и др.) в тысячи раз;
- накопление отходов добычи угля в виде породных отвалов и шламов, формирующиеся стоки с которых содержат большое количество загрязняющих веществ;
- нарушение естественных гидрогеологических условий территорий;
- выведение значительных территорий из хозяйственного пользования и др.

Распространение кислых шахтных вод и стоков с породных отвалов приводит к загрязнению водоносных горизонтов, поверхностных вод и грунтов, влияя на качество водных ресурсов и земель. Закрытие шахт без проведения специально разработанного комплекса природоохранных мероприятий не приводит к улучшению состояния окружающей среды. В таком случае загрязнение природных компонентов может сохраняться в течение сотен лет после прекращения добычи угля. На сегодняшний день закрытые и заброшенные шахтные поля занимают около 240000 км<sup>2</sup> земной поверхности [20].

Для территории Кизеловского угольного бассейна (КУБ) площадью около 1500 км<sup>2</sup>, расположенного в пределах складчатой зоны Западного Урала в непосредственной близости от Предуральяского краевого прогиба (рис. 1), характерны все типичные для угледобывающих территорий экологические

проблемы. Разработка бассейна началась в 1796 г и продолжалась до начала 2000-х гг. Территория КУБа характеризуется сложными геологическими, гидрогеологическими условиями и имеет ряд уникальных особенностей. Около 75% территории бассейна расположено в зоне распространения карстовых процессов. Карст относится к голому и покрытому типам, что является одним из факторов зависимости режима карстовых вод в зоне их активной циркуляции от количества атмосферных осадков [1, 2, 4]. Под влиянием барьерного эффекта Уральских гор, на территории КУБа выпадает повышенное годовое количество осадков – до 900 мм (среднее количество осадков по Пермскому краю составляет 600-700 мм) [12]. Сложное геологическое строение и гидрогеологические условия, интенсивная закарстованность и обильные атмосферные осадки обеспечили крайне высокую водообильность угленосной толщи бассейна, в связи с чем водопритоки в шахты достигали 2500 м<sup>3</sup>/ч, на 1 т добываемого угля приходилось около 7 м<sup>3</sup> откачиваемой воды [4]. Также стоит отметить, что добываемый уголь характеризовался высоким содержанием серы (до 10%) и высокой зольностью (до 21,5%) [3, 7]. Среднее содержание многих тяжелых металлов превышает средние концентрации по угольным месторождениям Восточно-Европейской платформы [7].



**Рис.1. Местоположение Кизеловского угольного бассейна.**

В период работы бассейна шахтные воды, содержащие большое количество соединений серы, железа, алюминия, марганца и т.д., сбрасывались в гидросеть практически без очистки. Постоянный и интенсивный сток шахтных вод привел к тому, что химический состав речных вод в период эксплуатации шахт приближался к химическому составу шахтных вод. Речные воды до впадения в них шахтных вод имели гидрокарбонатно-кальциевый состав при минерализации 90-150 мг/л. Ниже по течению после впадения шахтных вод они приобретали сульфатный характер с экстремально большими концентрациями Fe, Al, Mn при минерализации от 640 до 6000 мг/л. Показатель pH при этом снижался с 6,5-7,0 до 2,5-2,9 [6, 16].

Значительное воздействие на окружающую среду территории бассейна оказывали и породные отвалы, суммарное количество которых за все время эксплуатации составляет свыше 25 млн. т. Извлечение пород с глубины и складирование их на поверхности приводило к окислению пирита и других минералов с выделением тепла и самовозгоранием отвалов. В результате горения происходил выброс большого количества сероводорода и углекислого газа в атмосферу [7, 11]. Атмосферные осадки и подземные воды, взаимодействующие с породами отвалов, насыщаются различными макро- и микрокомпонентами, достигая при этом минерализации до 50 г/л, впоследствии загрязняя подземные и поверхностные воды в зоне влияния КУБа.

Закрытие шахт и прекращение откачки шахтных вод с 90-х гг. XX в. привело к постепенному восстановлению уровня подземных вод и формированию изливов через различные горные выработки (штольни, шурфы, скважины и т.д.). В настоящее время в пределах КУБа существует, по различным данным, 17 изливов шахтных вод на поверхность. Суммарный дебит большинства изливов представлен в таблице 1.

Таблица 1

**Объемы шахтных вод, поступающих в речные бассейны**

Река	Кол-во изливов	Объем поступающих шахтных вод, млн. м <sup>3</sup> /год								
		2007	2009	2010	2011	2012	2013	2015	2016	2017
Косьва	8	8,46	9,57	7,60	13,39	8,87	7,12	12,48	5,87	14,71
Вильва	1	4,67	3,14	3,88	5,16	3,69	6,49	4,69	4,78	8,43
Усьва	4	0,52	0,75	0,86	0,85	0,75	0,95	2,11	0,53	1,62
Яйва	5	6,61	2,94	3,01	3,98	6,36	4,05	8,07	3,95	9,18
Общий объем, млн. м <sup>3</sup> /год		20,26	16,40	15,35	23,39	19,68	18,61	27,35	15,13	33,94

В составе шахтных вод, по данным наблюдений, сохраняются высокие концентрации железа в различных формах (до 16000 ПДК), алюминия (до 1000 ПДК), марганца (до 2000 ПДК), рН изменяется от 2,5 до 4,3. Воды самоизливов поступают в 19 рек. В целом, загрязнение поверхностной гидросферы происходит в пределах бассейнов 4 крупных рек (табл. 1). Общая протяженность водотоков, подвергшихся загрязнению, свыше 500 км. На протяжении русел, а также в пределах затопляемых пойм накоплены значительные объемы техногенных отложений, содержащих высокие концентрации загрязняющих веществ в подвижных формах. [5, 7, 10].

С учетом мирового опыта решения экологических проблем угледобывающих территорий [15, 18, 19], а также уникальной природно-техногенной обстановки КУБа, наиболее рациональным способом ликвидации загрязнения в зоне влияния бассейна является применение методов, основанных на создании искусственных геохимических барьеров [8]. Были проведены опытно-промышленные испытания установки, процесс очистки которой основан на нейтрализации шахтных вод при взаимодействии с различными щелочными продуктами. Эффективность использования щелочных продуктов подтверждена по результатам полевых

исследований при комплексной очистке окружающей среды, проводившейся в 2002 г. в районе шахты им. 40 лет Октября. По результатам испытаний степень очистки изливающейся на поверхность воды достигала 90% [5, 7-9].

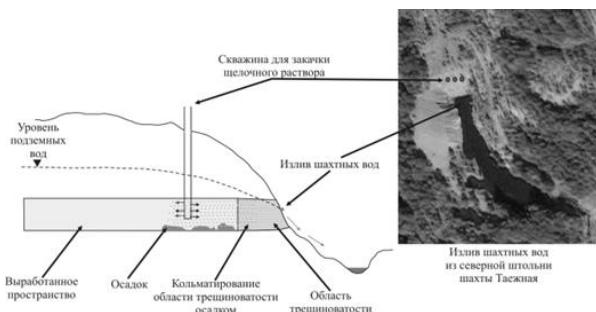
Эффективность использования щелочных продуктов подтверждена современными лабораторными исследованиями. В качестве реагентов могут использоваться маловостребованные продукты содового производства, а также мелкообломочные отсевы карбонатных пород, образующиеся при добыче известняка. Данные материалы являются побочными, что делает их использование в качестве реагента дешевым и экологически эффективным, так как происходит взаимное устранение сразу двух источников загрязнения окружающей среды.

На сегодняшний день продолжают исследования, направленные на комплексное решение существующих экологических проблем территории КУБа, разрабатывается общая концепция проведения мероприятий по очистке окружающей среды.

Одним из мероприятий по снижению негативного воздействия кислых шахтных вод может быть метод, основанный на принципе очистки шахтных вод в выработанном пространстве за счет закачки в массив щелочных продуктов через скважины (рис. 2).

Данный способ позволяет решить несколько задач:

- 1) уменьшение количества загрязняющих веществ, поступающих на поверхность в местах изливов шахтных вод;
- 2) в случае образования осадка при взаимодействии кислых вод с щелочными продуктами может происходить постепенное тампонирующее выработанного пространства;
- 3) уменьшение запасов мало востребованных и побочных щелочных продуктов.

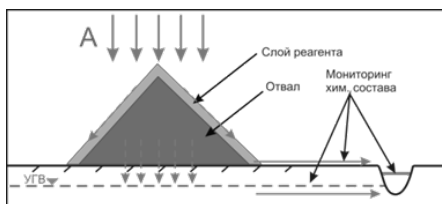


**Рис.2. Ориентировочная схема нейтрализации кислых вод в выработанном пространстве шахт.**

Также одним из мероприятий может являться тампонирующее горных выработок, через которые в настоящее время происходят изливы кислых шахтных вод. В некоторых случаях необходимо рассмотреть и оценить возможность проведения мероприятий по снижению объемов инфильтрации

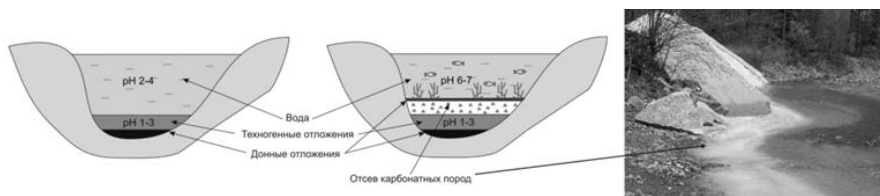
атмосферных осадков в районе изливов. Для оценки эффективности и целесообразности предлагаемых методов снижения объемов изливов кислых шахтных вод должна быть разработана геофильтрационная модель территории бассейна, позволяющая проанализировать изменение условий формирования и распространения кислых шахтных вод в условиях реализации тех или иных мероприятий.

Одним из наиболее эффективных методов нейтрализации **стоков с породных отвалов** КУБа является обработка их поверхности щелочными продуктами (рис. 3). Проведенные лабораторные исследования показывают, что перекрытие щелочными продуктами в количестве 5% от общего объема отвалов приводит к росту pH и нейтрализации стоков [13].



**Рис.3.** Схема обработки породных отвалов Кизеловского угольного бассейна.

Снижение негативного воздействия сформировавшихся в руслах рек техногенных донных отложений может быть достигнуто путем добавления маловостребованных щелочных продуктов, образующихся при разработке известняковых карьеров. Материал разносится потоком и перекрывает слой загрязняющих веществ, что приводит к улучшению экологического состояния поверхностной гидросферы территории (рис. 4). Необходимо учитывать, что целесообразным является реализация данного мероприятия в реках, в которые в настоящее время нет поступления шахтных вод и стоков с отвалов. Данная технология была опробована на территории Аппалачского каменноугольного бассейна (США) – одного из крупнейших угольных бассейнов в мире. Внесение в русло карбонатных материалов привело к очистке и восстановлению экосистемы рек на протяжении 450 км (рис. 4) [19].



**Рис.4.** Схема перекрытия техногенных донных отложений щелочным реагентом.

Анализ современных экологических проблем Кизеловского угольного бассейна показал необходимость принятия комплексных мер по их решению. В связи с уникальной природно-техногенной ситуацией, сложившейся на территории Кизеловского угольного бассейна, необходима разработка концепции поэтапного проведения мероприятий по минимизации и ликвидации негативного воздействия источников загрязнения на окружающую среду с учетом всех особенностей территории бассейна. В целях уточнения и детализации современных гидрогеологических условий КУБа, выбора оптимальных технических решений по улучшению состояния природной среды территории, а также оценки предлагаемых мероприятий необходима разработка геофильтрационной модели территории. Восстановление природных компонентов окружающей среды Кизеловского угольного бассейна – достаточно длительный процесс, только поэтапные и комплексные мероприятия приведут в будущем к устранению накопившихся экологических проблем территории.

### *Литература*

1. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. Пермь, 1992. 200 с.
2. Горбунова К.А., Максимович Н.Г., Андрейчук В.Н. Техногенное воздействие на геологическую среду Пермской области. Пермь, 1990. 44 с.
3. Клер В.Р., Неханова В.Ф., Сапрыкин Ф.Я. и др. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Закономерности концентрации элементов и методы их изучения. М.: Наука, 1988. 256 с.
4. Максимович Н.Г. Геохимия угольных месторождений и окружающая среда // Вестник Перм. ун-та. – Пермь, 1997. Вып. 4, Геология. с.171-185.
5. Максимович Н.Г. Использование геохимических барьеров для очистки изливов кислых вод Кизеловского угольного бассейна // Инженерная геология, 2011. с.20-25.
6. Максимович, Н.Г., Черемных, Н.В. Хайрулина Е.А. Экологические последствия ликвидации Кизеловского угольного бассейна // Географический вестник, 2006. № 2. с.128-134
7. Максимович Н. Г., Хайрулина Е. А. Геохимические барьеры и охрана окружающей среды. Пермь: изд-во ПГУ, 2011. 248 с.
8. Максимович Н. Г., Басов В. Н., Холостов С. Б. Установка для нейтрализации кислых шахтных вод / Патент на полезную модель № 50218 РФ МПК7 С 02 F 1/66; заявл. 14.03.05; опубл. 27.12.05, Бюл. «Изобретения. Полезные модели». № 36 (II ч.). с.350.
9. Максимович Н. Г., Басов В. Н., Холостов С. Б. Способ нейтрализации кислых шахтных вод и установка для его осуществления / Патент на изобретение № 2293063 РФ МПК С 02 F 1/66; заявл. 14.03.2005; опубл. 10.02.07, Бюл. «Изобретения. Полезные модели». № 4. с.350.
10. Максимович Н.Г., Березина О.А. Влияние ликвидированного Кизеловского угольного бассейна на химический состав речных вод // Минералогия и геохимия ландшафта горнорудных территорий. Рациональное природопользование. Современное минералообразование: тр. VII Всерос. симпозиума с международ. участием и XIV Всерос. чтений памяти акад. А. Е. Ферсмана. Чита: ЗабГУ, 2018. с.96-102.
11. Потапов С.С., Паршина Н.В., Максимович Н.Г. Минералого-экологические последствия разработки угольных месторождений. Связь с геологическими условиями и способами добычи

(на примере Челябинского и Кизеловского бассейнов) // Восьмые Всероссийские научные чтения памяти ильменского минералога В. О. Полякова. Миасс, 2007. с.12-34.

12. *Пьянков С.В., Шихов А.Н.* Опасные гидрометеорологические явления: режим, мониторинг, прогноз. Пермь, Изд-во «Раритет–Пермь», 2014. 296 с.

13. *Сединин А.М.* Оценка методов нейтрализации стоков с породных отвалов Кизеловского угольного бассейна. // XI Международная научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Геология в развивающемся мире». Пермь, 2018. с.418-421.

14. Статистический ежегодник мировой энергетики. Добыча каменного угля и лигнита, данные за 2017 год. Электронный ресурс: [<https://yearbook.enerdata.ru/coal-lignite/coal-production-data.html>] (дата обращения 25.11.2018).

15. *Dave S.R., Tiptre D.R.* Coal mine drainage pollution and its remediation (2012). *Microorganisms in Environmental Management*. Ch. 32: p.720-743.

16. *Maksimovich N., Pyankov S., Khayrulina E.* Environmental assessment of closed coal mine territory using GIS analysis // *Mine Water and Circular Economy, IMWA 2017*. Lappeenranta, Finland, 2017. p.212-217.

17. *Maksimovich N., Pyankov S., Khmurchik V., Berezina O., Demenev A., Sedinin A.* Coal Basins and the Environment // 11th ICARD IMWA MWD Conference – Risk to Opportunity. Pretoria, South Africa, 2018. p.406-410.

18. *Skousen J., Ziemkiewicz P.F.* (2005) Performance of 116 passive treatment systems for acid mine drainage. In: *Proceedings of the 22nd ASMR*, Breckenridge, CO, p. 1100-1133.

19. *Skousen, J., Zipper, C.E., Rose, A., Ziemkiewicz P.F., Nairn R., McDonald L.M., Kleinmann R.L.* Review of Passive Systems for Acid Mine Drainage Treatment (2017). *Mine Water Environment*. V 36: p. 133-153.

20. *Wolkersdorfer, C.* Water Management at Abandoned Flooded Underground Mines (2008). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 465 p.

21. *Gonzalez-Toril E., Llobert-Brossa E., Casamayor E. O., Amann R., Amils R.* Microbial ecology of an extreme acidic environment, the Tinto River // *Appl. Environ. Microbiol.* 2003. 69. № 8. p.4853-4865.

22. *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.