

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК БЕЛАРУСИ
Институт природопользования НАН Беларуси

**ГЕОЛОГИЯ И
МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ
РЕСУРСЫ ЗАПАДА
ВОСТОЧНО-ЕВРОПЕЙСКОЙ
ПЛАТФОРМЫ:
ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ И
РАЦИОНАЛЬНОГО
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

**Материалы
Международной
научной конференции,
посвященной 215-летию
со дня рождения
И. Домейко**



Минск
31 июля – 3 августа 2017 года

Рекомендовано
Ученым советом
Института природопользования НАН Беларуси
(протокол № 4 от 2 июня 2017 г.)

Recommended
by the Academic council
of Institute for Nature Management
(protocol № 4, 02.06.2017)

Редакционная коллегия:

академик **А.К. Карабанов** –
ответственный редактор
академик **И.И. Лиштван**
академик **А.В. Матвеев**
академик **А.А. Махнач**
д-р геогр. наук **В.С. Хомич**
канд. истор. наук **В.В. Данилович**
канд. физ.-мат. наук **В.С. Микущкий**
канд. хим. наук **А.Э. Томсон**
канд. техн. наук **В.А. Ракович**
канд. истор. наук **А.В. Унучек**

Рецензенты:

академик **Н.Н. Бамбалов**
д-р геол.-минер. наук **А.Ф. Санько**

Editorial board:

Academician **A.K. Karabanov** –
responsible editor
Academician **I.I. Lishtvan**
Academician **A.V. Matveev**
Academician **A.A. Makhnach**
Dr. of Geography **V.S. Khomich**
Ph.D. of History **V.V. Danilovich**
Ph.D. of Physica and Mathematica **V. S. Mikutsky**
Ph.D. of Chemistry **A.E. Tomson**
Ph.D. of Technica **V.A. Rakovich**
Ph.D. of History **A.V. Unuchak**

Reviewers:

Academician **N.N. Bambalov**
Dr. of Geology **A.F. Sanko**

Геология и минерально-сырьевые ресурсы запада Восточно-Европейской платформы: проблемы изучения и рационального использования : материалы Междунар. научн. конф., посвященной 215-летию со дня рождения И. Домейко, г. Минск, 31 июля – 3 августа 2017 г. / Нац. акад. наук Беларуси [и др.] ; редкол. : А.К. Карабанов [и др.]. – Минск : СтройМедиаПроект, 2017. – 372 с.

Geology and Mineral Raw Materials of the West of Eastern European Platform: Problems of Rational Nature Management Study : Materials of International Scientific Conference dedicated to the 215 anniversary from the day of I. Domeyko, Minsk, July 31 – August 3, 2017 / The National Academy of Sciences of Belarus [etc.] ; editorial board : A.K. Karabanov [etc.]. – Minsk : StroyMediaProekt, 2017. – 372 p.

В сборник включены материалы о жизни и деятельности Игнатия Домейки, его научном наследии и роли в развитии наук о Земле. В значительной части статей представлены современные проблемы геологии и рационального использования минерально-сырьевых ресурсов, а также вопросы устойчивого развития Беларуси и сопредельных государств.

Книга предназначена для широкого круга ученых, специалистов и лиц, интересующихся историей Беларуси, проблемами природопользования и геоэкологии.

The conference proceedings include materials about the life and work of Ignacy Domeyko, his scientific heritage and a role in the development of Earth Sciences. Modern problems of geology and rational use of mineral resources, as well as sustainable development of Belarus and neighboring countries.

The book is addressed to a wide range of scientists, experts and individuals concerned with nature management and ecology.

ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Н. Г. Максимович, О. Ю. Мещерякова, С. В. Пьянков, Е. А. Хайрулина
*Естественнонаучный институт Пермского государственного национального
исследовательского университета, г. Пермь, Россия, e-mail: nmax54@gmail.com*

В статье рассмотрены эколого-геохимические проблемы территорий угольных месторождений. В качестве примера приводится Кизеловский угольный бассейн и его геоэкологическая оценка в период эксплуатации и после закрытия шахт. Предложен комплекс природоохранных методов, включающий в себя использование ГИС-технологий и геохимических барьеров.

Ключевые слова: угольные месторождения; экологические проблемы; Кизеловский угольный бассейн; геохимические барьеры; ГИС-технологии

ECOLOGICAL AND GEOCHEMICAL PROBLEMS OF COAL DEPOSITS AND THE WAYS OF THEIR SOLUTIONS

N. Maksimovich, O. Meshcheriakova, S. Pyankov, E. Khayrulina
*Institute of Natural Sciences of Perm State National Research University,
Perm, Russia*

The ecological and geochemical problems of coal deposits are considered in the article. As an example, the Kizel coal basin and its geoecological assessment during an operation and after the closure of the mines are given. The set of environmental methods is proposed, which includes the use of GIS technologies and geochemical barriers.

Keywords: coal deposits; environmental problems; Kizel coal basin; geochemical barriers; GIS technologies.

Угленосные формации занимают около 15 % территории континентов. 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 [1].

Крупнейшими угольными бассейнами запада Восточно-Европейской платформы являются Донецкий и Верхнесилезский. Площадь первого – около 60 тысяч км². Суммарные запасы до глубины 1800 м – 140,8 млрд тонн. В угленосной толще каменноугольного возраста до 300 пластов; средняя мощность рабочих пластов 0,6–1,2 м.

Площадь Верхнесилезского бассейна составляет около 6500 км², из них примерно 1000 км² приходится на его южную часть в Чехии. Общие запасы угля в бассейне до глубины 1000 м – 100 млрд тонн. В угленосной толще находится более 450 угольных пластов и прослоек, из них до 200 толщиной более 0,5 м. Годовая добыча подземным способом составляет 175 млн тонн.

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 % [12]. В состав угленосной толщи могут входить изверженные породы, а также глиежи – природные горелые породы.

Общий объем переработки пород составляет свыше 2 млрд тонн в год, из которых на уголь приходится около 30 %. 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; 12]. Породы неоднородны по гранулометрическому составу, имеют размер от глинистых частиц до глыб.

Разработка угольных месторождений приводит к существенному ухудшению экологической обстановки, что во многом обусловлено литолого-геохимическими особенностями угленосных формаций. Закрытие угледобывающих предприятий в ряде случаев приводит к еще большему ухудшению состояния окружающей среды. Это связано, в том числе с тем, что после ликвидации шахт их инфраструктура остается зачастую бесхозной. В случае репрофилирования объектов угледобычи новые владельцы не в состоянии решить накопившиеся за многие годы экологические проблемы. В этой связи требуется поиск простых и малозатратных технологий улучшения экологической обстановки на таких территориях.

Кизеловский угольный бассейн (КУБ), находящийся в Пермском крае Российской Федерации, является классическим примером того, как после ликвидации угледобывающих предприятий обостряются экологические проблемы. На территории этого бассейна происходит интенсивное загрязнение окружающей среды, что обусловлено, в том числе особенностями угленосной толщи. Каменный уголь здесь отличается большим содержанием серы (5,8 %), представленной, главным образом, в виде пирита и высокой зольностью (21,5 %) [4; 8]. Среднее содержание многих тяжелых металлов превышает среднюю концентрацию по угольным месторождениям Восточно-Европейской платформы. Другой особенностью КУБ является интенсивная закарстованность его территории. Карст относится к голому и покрытому типам, что является одним из факторов зависимости режима карстовых вод в зоне их активной циркуляции от режима атмосферной циркуляции осадков [2; 3; 7]. В зонах развития карста водопритоки в шахты в свое время достигали 2500 м³/ч. Два этих фактора явились решающими при формировании больших объемов кислых шахтных вод.

Шахты Кизеловского бассейна в период эксплуатации были одними из самых обводненных в стране. В период эксплуатации из шахт ежегодно сбрасывалось в реки практически без очистки около 100 млн м³ загрязненных шахтных вод, содержащих большое количество сульфатов, железа и алюминия. Средний суммарный водоприток в шахты в период их работы составлял 12–14 тыс. м³/час. Главную роль в формировании шахтных водопритоков играли карстовые воды визейского водоносного комплекса, которые поступали в горные выработки по техногенным трещинам, из зон крупных тектонических нарушений, по выработкам, вскрывшим водоносные горизонты. Химический состав шахтных вод зависит в основном от гидродинамических условий, содержания в угленосной формации серы, карбонатов и рассеянных элементов. Если содержание серы в углях превышает 4 %, то в результате окисления сульфидов вода приобретает кислую реакцию (pH = 2–3) и сульфатный состав. Трещинно-карстовые воды карбонатных пород, обладающие высоким окислительным потенциалом, нейтральной средой (pH = 7,3–7,5), гидрокарбонатно-кальциевым составом и минерализацией 0,06–1,5 г/л, взаимодействуют в шахтах с богатыми серой угленосными породами и преобразуются в сульфатные железисто-алюминиевые натриево-кальциевые воды с минерализацией 2,5–19 г/л. В ходе эксплуатации она возрастает до 35 г/л. Постоянный и интенсивный сток шахтных вод привел к тому, что химический состав речных вод в период эксплуатации шахт приблизился к химическому составу шахтных вод. Малые реки до впадения в них шахтных вод имели HCO₃–Ca–Na гидрохимическую фацию, минерализацию 90–150 мг/л и близкую к нейтральной реакцию среды. Ниже по течению стока шахтных вод они приобретают сульфатный железисто-алюминиевый состав при минерализации 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 при pH 2,5–2,9 [11].

После закрытия и ликвидации шахтного водоотлива, горные выработки стали затопливаться, и на ряде шахт происходит самоизлив шахтных вод на земную поверхность. Величина самоизлива из затопленных шахт составляет от 20 до 80 % от объема шахтных вод во время эксплуатации [5].

В настоящее время существуют более 14 участков самоизлива шахтных вод на поверхность объемом 14,5 млн м³, что в 5–6 раз меньше, чем в период работы месторождения. Сохраняются высокие концентрации двухвалентного железа (3,6 г/л), алюминия (157 г/л), марганца (35 г/л), рН изменяется от 2,4 до 3,9 [10].

Воздействие самоизливов на поверхностные воды на территории Кизеловского угольного бассейна уже приобрело региональный масштаб. При смешивании шахтных вод с речными водами и увеличении рН ион Fe²⁺ дольше, чем Fe³⁺, преобразуется в осадок. Это привело к загрязнению рек на протяжении десятков километров, чего не наблюдалось при работе шахт. Воды самоизливов поступают в 19 рек. В реке Кизел (притоке реки Вильва), испытывающей наибольшее загрязняющее влияние шахтных вод, среднегодовое содержание железа составляет 2160 ПДК (в зимнюю межень – до 4690 ПДК), марганца – 516 ПДК. Концентрации никеля, меди и цинка также превышают предельно допустимые [8; 10].

Серьезной проблемой являются также стоки с шахтных отвалов. Концентрация загрязняющих веществ в них выше, чем в водах изливов.

Таким образом, угледобывающие районы характеризуются наличием острых эколого-гидрологических проблем, которые необходимо решать комплексными методами. Одним из эффективных инструментов оценки масштабов бедствия является создание проблемно-ориентированных бассейновых геоинформационных систем и методов комплексирования пространственной информации на основе математико-картографического моделирования [15].

В зарубежных странах создание бассейновых ГИС является одним из ключевых инструментов решения задач планирования природоохранных мероприятий. При этом преимуществами бассейновых ГИС является возможность комбинирования разнородной пространственной информации, реализации методов интегральной геоэкологической оценки, совершенствования системы мониторинга и планирования природоохранных мероприятий.

Другим природоохранным методом является применение геохимических барьеров [13; 14]. Н. Г. Максимовичем еще в 1980-х годах было предложено использовать для очистки кислых шахтных вод щелочные отходы содового производства, миллионы тонн которых накопились и продолжают поступать в расположенный в относительной близости от ликвидированных шахт КУБа шламонакопитель ОАО «Березниковский содовый завод» (БСЗ). Утилизация этих отходов уже в то время представляла серьезную проблему. Проведенные лабораторные эксперименты показали высокую эффективность этих отходов в качестве реагентов для очистки. Следует отметить, что их можно было использовать без специфической подготовки.

Позднее была применена простая технологическая схема и разработана специальная установка, позволявшая готовить пульпу определенной концентрации из отходов БСЗ и шахтной воды и выливать ее непосредственно в канал стока самоизлива в количествах, рассчитанных в зависимости от расхода и состава воды [9].

В результате применения предложенного метода водородный показатель шахтной воды повысился с 2,6–2,9 до нейтральных значений, суммарное содержание железа снизилось с 30–40 до 0,2–0,3 мг/л (что не превышало ПДК). После нейтрализации в шахтной воде не было обнаружено алюминия, тогда как до нее его концентрация составляла 10–14 мг/л. Содержание бериллия, лития, никеля, кадмия, кобальта и титана также снизилось до значений, не превышавших ПДК.

Разработаны и опробованы также простые схемы очистки стоков с отвалов с использованием искусственных геохимических барьеров, в качестве реагентов – щелочные отходы производства [6].

Таким образом, комплексный подход к решению данной природоохранной проблемы позволит добиться видимых результатов.

Работа подготовлена при поддержке грантов РФФИ и РГО 17-0541114 и РФФИ 16-35-00104 мол_а, а также гранта Минобрнауки России в рамках базовой части государственного задания № 2014/153 № 269 в сфере научной деятельности.

Список литературы

1. Айруни А.А. Охрана окружающей среды при подземной добыче угля. Обзор ЦНИЭИуголь. – М., 1979. – 48 с.
2. Горбунова К.А., Андрейчук В.Н., Костарев В.П., Максимович Н.Г. Карст и пещеры Пермской области. – Пермь, 1992. – 200 с.
3. Горбунова К.А., Максимович Н.Г., Андрейчук В.Н. Техногенное воздействие на геологическую среду Пермской области. – Пермь, 1990. – 44 с.
4. 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.
5. Красавин А.П., Сафин Р.Т. Экологическая реабилитация углепромышленных территорий Кизеловского бассейна в связи с закрытием шахт. – Пермь: ИПК Звезда, 2005. – 287 с.
6. Максимович Н.Г. Создание геохимических барьеров для очистки кислых стоков породных отвалов // Уголь, 2006. – № 9. – С. 64.
7. Максимович Н.Г. Геохимия угольных месторождений и окружающая среда // Вестник Перм. ун-та. – Пермь, 1997. – Вып. 4. – Геология. – С.171–185.
8. Максимович Н.Г. Использование геохимических барьеров для очистки изливов кислых вод Кизеловского угольного бассейна // Инженерная геология. – 2011, сентябрь. – С. 20–25.
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. 2007. Заявитель и патентообладатель ФГНУ «Естественнонаучный институт». № 2005106659. Заявл. 14.03.05. Оpubл. 10.02.2007.
10. Максимович Н.Г., Хайрулина Е.А. Геохимические барьеры и охрана окружающей среды. – Пермь: изд-во ПГУ, 2011. – 248 с.
11. Максимович, Н.Г., Черемных, Н.В. Хайрулина Е.А. Экологические последствия ликвидации Кизеловского угольного бассейна // Географический вестник. – 2006. – № 2. – С. 128–134.
12. Миронов К.В. Справочник геолога-угольщика. – М.: Недра, 1982. – 256 с.
13. Maximovich N., Khayrulina E. Artificial geochemical barriers for environmental improvement in a coal basin region // Environmental Earth Sciences. – 2014. – № 72. – Pp. 1915–1924.
14. Orem W.H., Finkelman R.B. Coal formation and geochemistry. In: Mackenzie FT (ed), Holland HD, Turekian KK (executive eds) Treatise on Geochemistry. – 2003. – Vol. 7. – Pp. 191–222.
15. Pyankov S.V., Kalinin V.G. Development of generalized integral index for estimating complex impact of major factors of winter runoff formation. – 2013. – Russian Meteorology and Hydrology 38 (7). – Pp. 496–502. – URL: <http://link.springer.com/article/10.3103/S106837391307008X>.