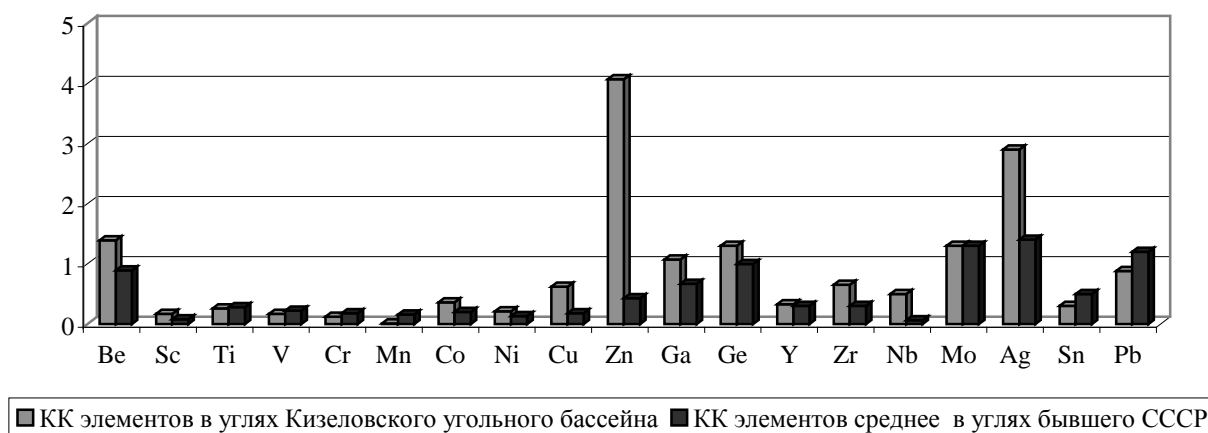


## ЗАЩИТА ГИДРОСФЕРЫ ОТ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ УГОЛЬНЫХ ШАХТ КИЗЕЛОВСКОГО БАСЕЙНА

*Н.Г. Максимович, Естественнонаучный институт при Пермском  
государственном университете, г.Пермь, Россия*

Одной из самых острых экологических проблем западного Урала является ликвидация последствий деятельности угольных предприятий на территории Кизеловского бассейна. При всей схожести проблем, связанных с ликвидацией горно-добывающих предприятий [1] здесь происходит интенсивное загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами, что обусловлено рядом геохимических особенностей угленосной толщи. Каменный уголь бассейна отличается большим содержанием серы (главным образом в форме пирита) (5,8%) и золы (21,5%) [2]. Средние содержания многих тяжелых металлов в углях превышает средние концентрации по угольным месторождениям СНГ (рис. 1).



**Рис. 1. Коэффициенты концентраций (КК) тяжелых металлов в углях Кизеловского бассейна и углях месторождений бывшего СССР [по 2]**

Химический состав шахтных вод во многом зависит от содержания в угленосной формации сульфидной серы, карбонатов и рассеянных элементов. При содержании пирита более 4 % воды, вследствие его окисления, воды приобретают кислую реакцию ( $pH=2-3$ ) и сульфатный состав. Сульфатные железисто-алюминиевые, натриево-кальциевые воды Кизеловского бассейна имеют минерализацию 2,5-19 г/л. В ходе эксплуатации месторождения, в связи с увеличением водопритоков, воздухообмена и объема пород, вовлеченных в геохимические процессы, минерализация шахтных вод имеет тенденцию к увеличению. В кислой шахтной воде по сравнению с природной на несколько порядков повышается содержание свинца, меди, цинка, серебра, никеля, кобальта и др. [3, 4].

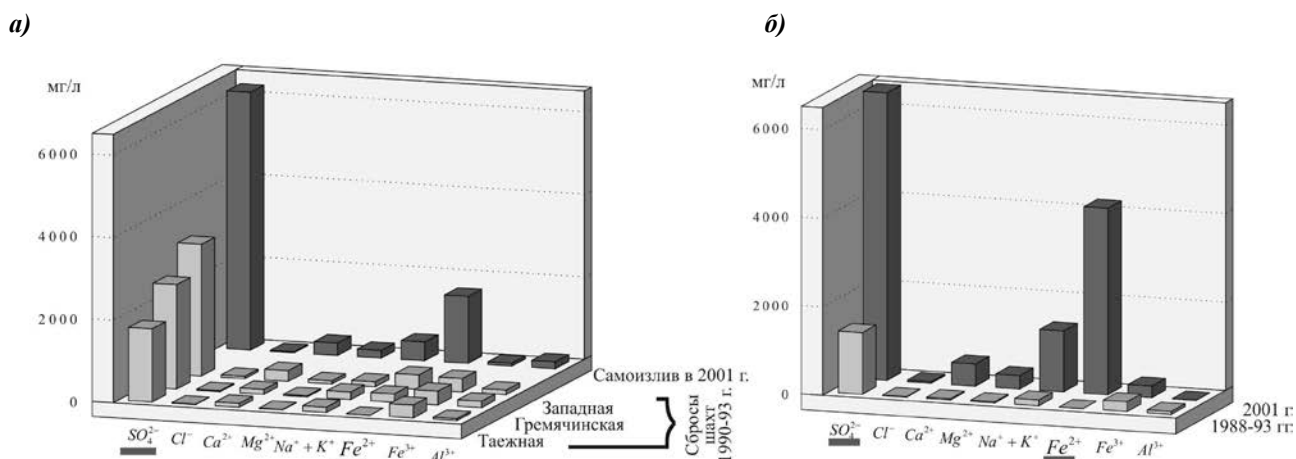
При работе бассейна шахтные воды без очистки сбрасывались в местную гидросеть. Малые реки до впадения в них шахтных вод имели  $HCO_3-Ca-Na$  гидрохимическую фацию, минерализацию 90-150 мг/л и близкую к нейтральной реакцию среды. Ниже по течению стока шахтных вод они приобретают  $SO_4-Fe-Al$  состав при минерализации от 640 до 6000 мг/л. Содержание  $SO_4$  составляет от 1000 до 3700, железа - от 70 до 900, алюминия - от 11 до 160 мг/л при  $pH 2,5-2,9$ .

Ликвидация шахт в период 1990-х гг. не решила экологических проблем. Откачка кислых шахтных вод на поверхность прекращена, однако, после восстановления уровня подземных вод в течение нескольких лет сформировался самопроизвольный излив шахтных вод.

В настоящее время существует более 12 участков самоизлива шахтных вод на поверхность. Их суммарный среднегодовой расход составляет около 2,5 тыс.  $m^3/час$ , что в несколько раз меньше, чем в период работы бассейна. Однако значительно увеличилась их

Максимович Н. Г. Защита гидросферы от загрязнения при ликвидации угольных шахт Кизеловского бассейна // Геоэкологические проблемы загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами: 2-я Междунар. геоэколог. конф.: Материалы конф.- Тула, 2004. – С.135-141.

минерализация – до 25 г/л и более, химический состав изменился в худшую с экологической точки зрения сторону (рис. 2). Произошло резкое увеличение концентрации двухвалентного железа – до 5 г/л. При смешении с речными водами и увеличением pH,  $Fe^{2+}$  больше, чем  $Fe^{3+}$  преобразуется в осадок, что привело к загрязнению рек на протяжении десятков километров вплоть до самых устьев. Этого не наблюдалось при работе шахт. Шахтные воды поступают в 19 рек, 15 из которых практически выведены из водопользования. Даже для крупных рек, таких как р. Косьва и р. Вильва, постоянно наблюдаются высокие и экстремально-высокие уровни загрязнения воды по концентрации общего железа.



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

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

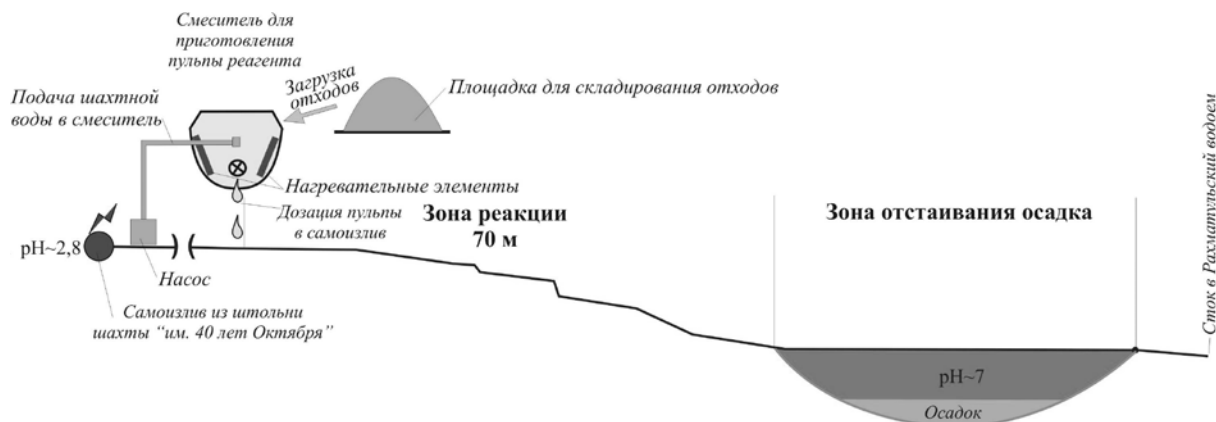
С середины 80-х годов активно велись поисковые работы направленные на решение проблемы очистки кислых шахтных вод Кизеловского угольного бассейна и стоков с отвалов угольных шахт. Стратегическим направлением при этом был поиск методов, исключающих строительство капитальных очистных сооружений, а в качестве реагента велся поиск производственных отходов, т.е. создание искусственных геохимических барьеров. При этом в основу легла теория разработанная А.И. Перельманом и его последователями [5, 6, 7, 8, 9, 10, 11].

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

Для реализации способа нейтрализации была предложена простая технологическая схема. Реагент предлагалось добавлять в поток шахтной воды вытекающей из водоотлива, а образующийся осадок собирать в каскаде отстойников. Однако по различным причинам в те годы предложенный способ не был реализован. В 2002 г. совместно с А.Б. Холостовым и

Максимович Н. Г. Защита гидросферы от загрязнения при ликвидации угольных шахт Кизеловского бассейна // Геоэкологические проблемы загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами: 2-я Междунар. геоэколог. конф.: Материалы конф.- Тула, 2004. – С.135-141.

В.Н. Басовым разработана специальная установка, позволяющая готовить пульпу определенной консистенции из отходов БСЗ и шахтной воды и выливать ее непосредственно в канал стока самоизлива в рассчитанных количествах в зависимости от расхода и состава воды (рис. 3) [12].



**Рис. 3. Общая технология схемы нейтрализации воды самоизлива отходами ОАО «Березниковский содовый завод».**

Отходы БСЗ относятся к 5 классу опасности. Оптимальными для нейтрализации составом и свойствами обладает шлам верхнего 1,5 м слоя старой карты шламонакопителя. Он более чем на 90 % состоит из тонкодисперсного карбоната кальция. Водородный показатель вытяжки составляет 9-12. Содержание водорастворимых хлоридов, сульфатов, натрия в отходе этого слоя в 37-54 раза ниже, чем в отходе действующей карты. Содержание 38 определенных спектральным анализом микроэлементов не превышает ПДК валового содержания в почвах (табл. 1). Вредных органических примесей в шламе не обнаружено. Объем шлама готового к использованию в качестве реагента для нейтрализации шахтных вод без какой-либо подготовки превышает 1 млн. м<sup>3</sup>.

**Таблица 1**  
**Валовое содержание микроэлементов в отходах из старой карты шламонакопителя ОАО «Березниковский содовый завод», мг/кг**

N пробы	Глуб., м	pH	Ni	Co	Cr	Mn	V	Sc	Ye	Cu	Zn	Pb	Ba	Sr	Be	Zr	Y	La	Li	Nb
1	0		7	3	10	500	10	3	н.о.	20	70	10	5	500	н.о.	50	20	15	15	н.о.
3	0	8,8	10	5	30	700	10	н.о.	н.о.	15	50	4	200	500	<1	30	40	н.о.	н.о.	н.о.
2	1,6-	11,8	9	4	30	500	10	3	н.о.	18	н.о.	7	300	400	1	30	30	н.о.	н.о.	7
5	0	8,7	7	3	18	1000	10	3	н.о.	15	н.о.	7	200	400	н.о.	20	40	н.о.	н.о.	н.о.
4	1,0-	11,8	6	3	15	400	10	н.о.	н.о.	10	н.о.	30	200	300	1,5	20	30	н.о.	н.о.	7
8	0	9,9	6	3	30	700	10	н.о.	н.о.	10	н.о.	7	200	300	1	20	40	н.о.	н.о.	н.о.
7	1,0-	11,4	9	3	30	700	10	н.о.	н.о.	10	н.о.	70	200	300	1	50	40	н.о.	н.о.	н.о.
6	3,5-	11,8	10	3	40	1500	10	3	н.о.	20	50	180	200	400	1	20	40	н.о.	н.о.	7
11	0	9,2	7	3	30	1000	10	н.о.	н.о.	10	н.о.	20	200	300	н.о.	20	40	н.о.	н.о.	н.о.
10	1,5-	11,5	9	3	50	1000	10	3	н.о.	20	н.о.	180	200	300	15	20	50	н.о.	н.о.	н.о.
9	4,0-	11,6	9	3	70	1000	10	4	н.о.	18	н.о.	180	1500	500	1	30	50	н.о.	н.о.	н.о.
12	0	12,3	5	н.о.	15	1000	10	3	н.о.	18	н.о.	15	200	200	1	20	15	н.о.	н.о.	н.о.
13	2,5-	12,4	7	3	30	700	10	3	1	18	н.о.	100	200	200	1,5	40	18	н.о.	н.о.	н.о.
14	3,5-	12,4	9	3	30	900	10	3	н.о.	20	50	150	200	300	1	40	18	н.о.	н.о.	н.о.
ПДК*			50	50	100	1500	150			55	100	32								

Примечания: ПДК\* - ПДК валового содержания в почвах

P, Ge, As, Sb, Cd, Bi, W, Ce, Tl, Ta, Hf, Sn, Be, Nb, Ag, Mo, – спектральным анализом не обнаружены;

н.о. – не обнаружено.

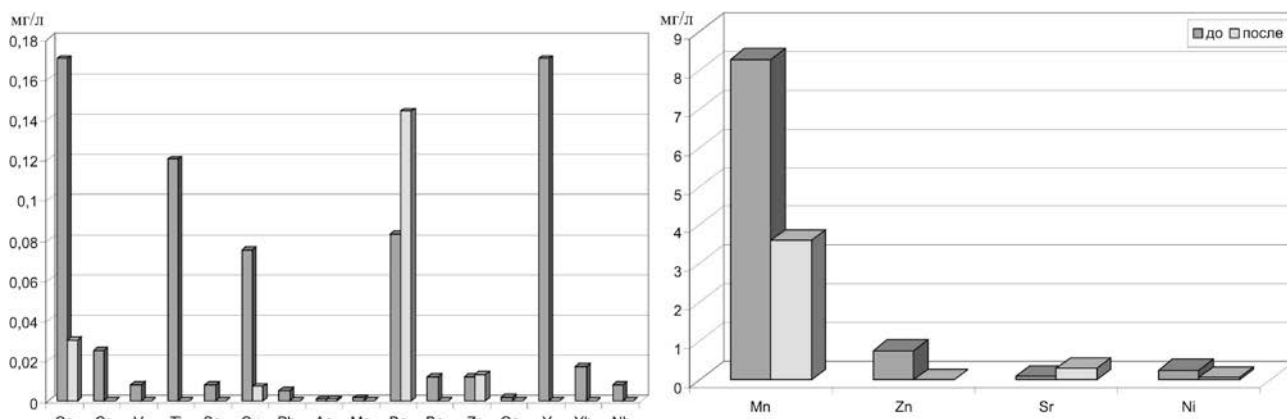
При смешивании шахтной воды с шламами БСЗ происходит повышение pH за счет взаимодействия с карбонатом и гидроксидом кальция, которые являются основными

Максимович Н. Г. Защита гидросферы от загрязнения при ликвидации угольных шахт Кизеловского бассейна // Геоэкологические проблемы загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами: 2-я Междунар. геоэколог. конф.: Материалы конф.- Тула, 2004. – С.135-141.

компонентами отходов БСЗ. При этом происходит очистка воды от ряда загрязнителей, которые хорошо мигрируют в кислой среде и малоподвижны в нейтральной и щелочной. К ним относятся Fe, Al, Mn, Co, Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Ti и др. При повышении pH растворов в которых присутствуют ионы этих металлов происходит их осаждение.

Испытания проводились на самоизливе воды из штольни шахты «им. 40 лет Октября». В период летней межени расход самоизлива составляет 180-220 м<sup>3</sup>/час, в период паводков – 300-400 м<sup>3</sup>/час. Водородный показатель составляет 2,6-2,9. Минерализация изменяется от 400-600 мг/л в периоды паводков до 800-900 мг/л в период летней межени. Максимальное превышение ПДК<sub>в</sub> для железа – в 400, для алюминия – в 46 и для сульфатов – в 1,3 раза. Показатель превышения ПДК<sub>в</sub> для бериллия составляет 52,8, марганца – 36,9, лития – 3,5, никеля – 2,5, кадмия – 1,9, кобальта – 1,6, бария – 1,5 и титана – 1,2 раза.

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



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

Образующийся осадок представляет смесь тонкодисперсных частиц гидроксидов железа и гипса, частично не прореагировавшего карбоната кальция. Он имеет нейтральную реакцию среды. Подвижных форм железа, алюминия, марганца, свинца и др. практически не обнаружено. В следствие этого, образующийся в результате нейтрализации шахтных вод осадок не является источником вторичного загрязнения водных объектов (табл. 2). Эксперименты с образующимся в результате нейтрализации осадком (В.И. Каменщикова и др.) показали, что он зарастает многолетними травами (тимофеевка, овсяница, пырей, люцерна) практически так же, как и контрольные образцы почвы.

Таким образом, проведение опытно-экспериментальных работ еще раз показал перспективу использования геохимических барьеров для решения комплексных экологических проблем. Дополнительным плюсом данного метода является использование для очистки шахтных вод отходы содового производства, утилизация которых представляет серьезную проблему.

Таблица 2

**Микроэлементный состав осадка до (1) и после (2) нейтрализации шахтных вод отходами ОАО “Березниковский содовый завод”, мг/кг**

Пробы	pH	Ni	Co	Cr	Mn	V	Sc	Cu	Zn	Pb	Ag	Mo	Ba	Sr	Be	Zr	Y	Nb
<i>Валовое содержание</i>																		
1	2,9 2	30	9	150	100	150	1,5	100	100	30	0,2	2	30 0	15 0	10	300	60	30
2	7,2 2	70	30	90	150 0	40	9	100	500	90	0,2	3	30 0	18 0	10	100	90	15
	не опр	40	18	100	100 0	30	7	90	400	90	0,1	1,5	30 0	15 0	9	100	70	10
ПДК*		50	50	100	1500	150		55	100	32								
<i>Подвижные формы</i>																		
1	2,9 2	0,8 1	0,8 1	0,08	27,1	0,03	0,0 2	27,1	27, 1	0,0 4	н.о .	0,00 5	0,8	0,8	0,10 8	0,1 4	0,4	0,03
2	7,2 2	0,0 2	н.о.	<0,0 6	н.о.	<0,0 6	н.о.	<0,0 6	0,3	н.о.	н.о .	0,00 9	1,8	0,6	0,00 6	0,2 4	<0,06	0,05

Примечания: ПДК\* - ПДК валового содержания в почвах  
Ge, As, Sb, Cd, Bi, W, Sn, La, Li спектральным анализом не обнаружены;  
н.о. – элемент спектральным анализом не обнаружен.

Исследование выполнено при поддержке “Университеты России ” УР.09.01.009

### Литература

1. Бабенко О.Б, Попова Т.А., Семикобыла Я.Г. Горно-экологический мониторинг закрываемых нерентабельных шахт ОАО “Ленинградсланец”// Горный журнал. 2002, № 1, С.70-72
2. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Закономерности концентрации элементов и методы их изучения/ В.Р. Клер, В.Ф. Неханова, Ф.Я. Сапрыкин и др. – М.: Наука, 1988. – 256 с.
3. Максимович Н.Г. Геохимия угольных месторождений и окружающая среда // Вестник Перм.ун-та.-Пермь,1997.-Вып.4.-Геология.-С.171-185.
4. Максимович Н.Г., Горбунова К.А. Геохимические изменения геологической среды при разработке угольных месторождений // Известия ВУЗ, Геология и разведка. 1991, N5, С.137-140.
5. Алексеенко В.А., Алексеенко Л.П. Геохимические барьеры: Учебное пособие.- М.: Логос, 2003. – 144 с.
6. Емельянов Е.М. Барьерные зоны в океане. Калининград: 1998.- 416 с.
7. Перельман А.И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М.: Недра, 1972.- 288 с.
8. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: Астрейя – 2000, 1999- 768 с.
9. Langer M. The role of geological barrier in waste disposal projects // Proceedings International Symposium on Engineering Geology and the Environment, Athens, Greece, 23-27 June 1997. - A.A.Balkema, 2001. – V.4, P. 3617-3635.
10. Sergeev V.I., Shimko T.G., Kuleshova M.L., Maximovich N.G. Groundwater protection against pollution by heavy metals at waste disposal sites // Wat. Sci. Tech. Vol. 34. No. 7-8, 1996. pp. 383-387.
11. Геохимические барьеры в зоне гипергенеза/ Под ред. Чл.-корр. РАН Н.С. Касимова и проф. А.Е. Воробьева. - М.: Изд-во Моск. Ун-та, 2002. – 395 с.
12. Максимович Н.Г., Блинов С.М., Холостов С.Б., Басов В.Н. Очистка шахтных вод Кизеловского угольного бассейна с использованием отходов ОАО «Березниковский

Максимович Н. Г. Защита гидросферы от загрязнения при ликвидации угольных шахт Кизеловского бассейна // Геоэкологические проблемы загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами: 2-я Междунар. геоэколог. конф.: Материалы конф.- Тула, 2004. – С.135-141.

содовый завод» // Экологические проблемы и здоровье населения Верхнекамья: Материалы науч. – практ. конф., 7-9 октября г.Березники.-Пермь, 2002.- С.94-97.

## **PROTECTION OF HYDROSPHERE AGAINST POLLUTION UNDER LIQUIDATION OF MINES OF KIZEL COALFIELD**

*N.G.Maksimovich, Natural Science institute of the Perm state university, Perm, Russia*

The problem of pollution of hydrosphere by heavy metals under closing mines of Kizel coalfield is considered. For struggle against pollution it is offered to use artificial geochemical barriers. Results of experiment tests of a method of clearing acid (pH 2-3) Fe-Al-SO<sub>4</sub> waters, which enter on a surface after closing mines with high concentration of heavy metals are resulted. As a reagent alkaline waste products of soda manufacture which problem of recycling sharply stands in region were used.