Угленосные формации занимают 15 % территории континентов. Угленосная толща имеет ритмичное строение. Между угольными пластами последовательно залегают известняки, обломочные породы с возрастанием крупности частиц — аргиллиты (глины), алевролиты (супеси), песчаники (пески) и далее в обратной последовательности. При наличии условий в известняках могут развиваться карстовые процессы. Особенностью подземной гидросферы карстовых областей является высокая водообильность пород.

Пути решения экологических проблем связанных с развитием карста в угледобывающих районах

Н. Г. Максимович

Угленосные толщи имеют ряд геохимических особенностей. В углях установлено более 50 элементов, 12 из которых имеют концентрации в 10-1000 раз превышающие фоновые [2, 8, 9, 13]. 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. Высокая водообильность закарстованных массивов в сочетании с указанными геохимическими особенностями может существенно повлиять на экологическую обстановку угледобывающих районов [15].

Классическим примером служит Кизеловский угольный бассейн (Пермская область). Здесь угленосная толща нижнего карбона залегает среди карбонатных пород. Толща прошла начальный диагенез, поздний глубинный эпигенез, начальный метагенез, с которыми связано образование пирита, кальцита, сидерита и гипса [10]. Современная структура карстовых массивов закладывалась в естественных условиях олигоцен-миоцена в результате деятельности водных потоков, направленных по простиранию трещиноватых известняков к глубоко врезанным речным долинам, что и обусловило их закарстованность до глубины 1000-1100 м.

Карст региона относится к голому и покрытому типам, что является одним из факторов зависимости режима карстовых вод зоны активной циркуляции от режима атмосферных осадков. Условия добычи угля вследствие дислоцированности толщи, больших глубин разработки (до 1000 м) и закарстованности вышележащих известняков сложные. Водопритоки в шахты достигают в зонах карста 2500 м^3/час [3].

Химический состав шахтных вод зависит от содержания в угленосной формации серы (главным образом пирита), 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 имеют минерализацию 2,5-19 г/л. В ходе эксплуатации месторождения, в связи с увеличением водопритоков, воздухообмена и объема пород, вовлеченных в геохи-

мические процессы, минерализация шахтных вод может возрастать до 35 г/л. В кислой шахтной воде по сравнению с природной на несколько порядков повышается содержание свинца, меди, цинка, серебра, никеля, кобальта и др. [5, 7].

При работе бассейна шахтные воды без очистки сбрасывались в местную гидросеть. Малые реки до впадения в них шахтных вод имеют 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.

При сбросе кислых шахтных вод в карстовые полости происходит их частичная нейтрализация и выпадение железосодержащего осадка, заполняющего пустоты. Это сопровождается уменьшением подземного и увеличением поверхностного стока. Загрязненные воды, частично очищавшиеся ранее при прохождении по трещинам и полостям в карбонатных породах, впадают в реки.

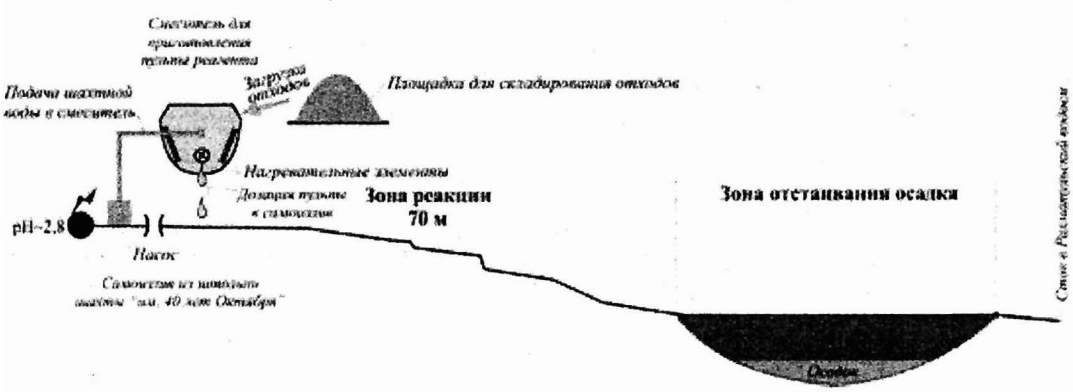
Ликвидация шахт в период 1990-х гг. не решила экологических проблем. Откачка кислых шахтных вод на поверхность прекращена, однако, после восстановления уровня подземных вод в течение нескольких лет сформировался самопроизвольный излив шахтных вод.

В настоящее время существует 12 участков самоизлива шахтных вод на поверхность. Их суммарный среднегодовой расход составляет около 2,5 тыс. $м^3$/час, что в несколько раз меньше, чем в период работы бассейна. Однако значительно увеличилась их минерализация — до 25 г/л и более, а также изменился химический состав в худшую с экологической точки зрения сторону. Произошло резкое увеличение концентрации двухвалентного железа — до 5 г/л. При смешении с речными водами и увеличением pH, Fe^{2+} дольше, чем Fe^{3+} преобразуется в осадок, что привело к значительному 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 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.

На загрязняемых участках рек ежесуточно

Рисунок 1.

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

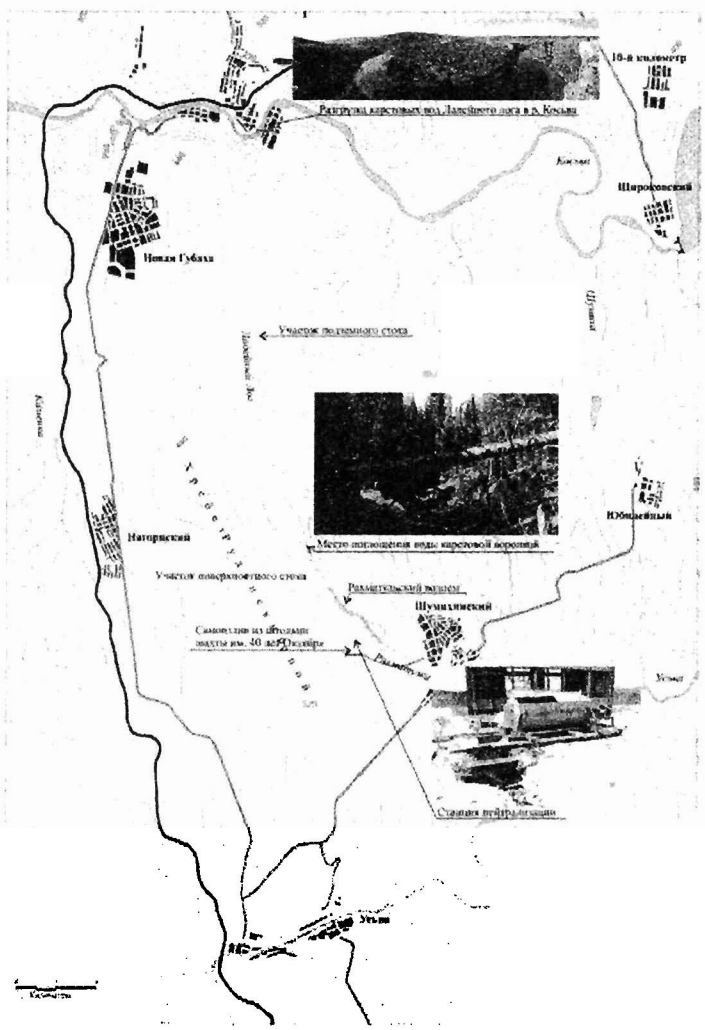


независимый интернет-портал
POGRANICHNIK.RU

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 централизованного питьевого водоснабжения. Уже в настоящее время фиксируются превышения ПДК по концентрации Fe на водозаборах, расположенных 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.

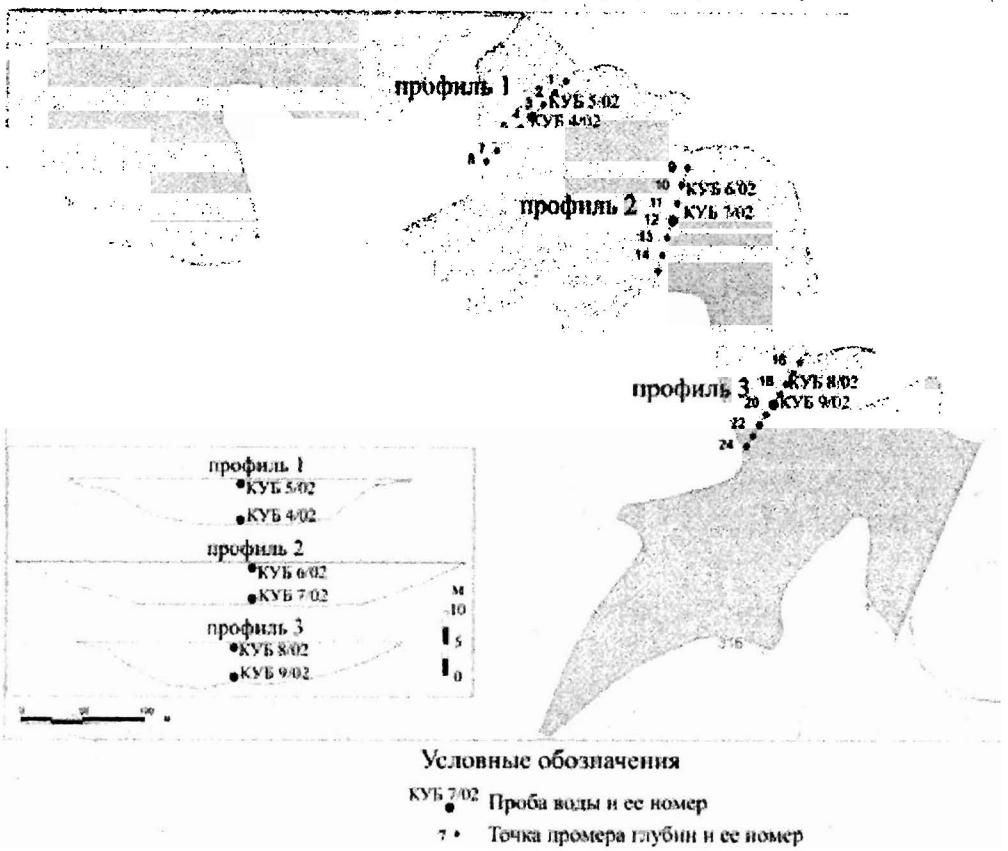
С 1984 г. проводились исследования экологической ситуации в пределах Кизеловского угольного бассейна и Верхнекамского месторождения калийных солей, включая Березниковско-Соликамский промышленный узел. С середины 80-х годов активно велись поисковые работы направленные на решение проблемы очистки кислых 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 [1, 4, 11, 12, 14, 16].

Рисунок 2.
Схема района карстового Ладейного Лога, в котором происходит поглощение вод шахтного самоизлива



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 лабораторные эксперименты показали высокую эффективность этого реагента, причем его можно было использовать

Рисунок 3.
Техногенный Рахматульский водоем, образовавшийся при закупорки карстовых воронок осадком шахтных вод.



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 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. 1) [6].

При смешивании шахтной воды с шламами БСЗ происходит повышение pH за счет взаимодействия с карбонатом и гидроксидом кальция, которые являются основными компонентами отходов БСЗ. При этом происходит частичная очистка воды от ряда загрязнителей, которые хорошо мигрируют в кислой среде и малоподвижны в нейтральной и щелочной. К ним относится большинство катионогенных металлов, таких как Fe, Al, Mn, Co, Zn, Cu, Ni, Pb, Cd, Ti и др. При повышении pH

независимый интернет-портал
POGRANICHNIK.RU

растворов в которых присутствуют ионы этих металлов происходит их осаждение в виде гидроксидов.

Испытания проводились на самоизливе воды из штольни шахты «им. 40 лет Октября» (рис. 2). В период летней межени расход самоизлива составляет 180-220 м³/час, в период паводков — 300-400 м³/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 ПДКв для железа — в 400, для алюминия — в 46 и для сульфатов — в 1,3 раза. Показатель превышения ПДКв 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.

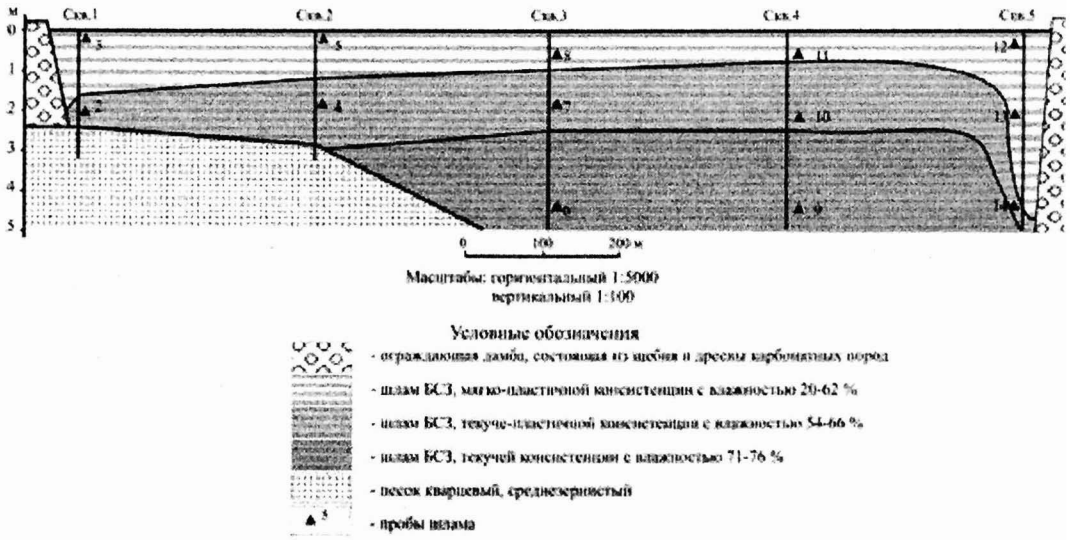
Шахтная вода от места выхода на поверхность около 1 км стекает вниз по склону и поступает в Рахматульский водоем техногенно-карстового происхождения (рис. 3). Он образовался в начале 1970-х г. за счет превышения объема поступающей шахтной воды над поглощающей способностью карстовой воронки и вследствие закупорки карстовых каналов образующимся осадком. Водоем имеет протяженность около 1,7 км при ширине 50-250 м.

Площадь верхней части Рахматульского водоема, куда поступают шахтные воды, составляет около 10 га. Средняя глубина около 5 м. Объем воды составляет около 500 тыс. м³. По составу вода близка к водам самоизлива. Водородный показатель составляет 2,8-3,1. Наблюдается ее расслоение — в придонном слое зафиксированы максимальные концентрации железа до 2 г/л, сульфатов до 5 г/л и других загрязнителей. На северо-западном окончании избыток воды переливается из него и течет по дну карстового лога в направлении р. Косьва.

Расход переливающейся воды в летнюю межень 2001 г. составлял около 120 м³/час. Через 1,2 км вода поглощается воронкой мощной карстовой системы Ладейного Лога и на протяжении более 10 км осуществляется подземный сток. Разгрузка вод карстовой системы происходит в р. Косьва из группы карстовых воронок расположенных в 1 км выше по течению от сухого устья Ладейного Лога, выше горы Ладейная.

Используемые для нейтрализации кислых шахтных вод отходы БСЗ относятся к 5 классу опас-

Рисунок 4.
Разрез старой карты шламонакопителя ОАО «Березниковский содовый завод»



Таблица

Минеральный состав отходов из старой карты шламонакопителя БСЗ, % (по данным В. Г. Шлыкова)

№ пробы	Место отбора	Интервал отбора, м	Кальцит	Арагонит	Доломит	Портландит	Эттрингит	Тауманит	Кварц	Кристобалит	Калиевые полевые шпаты	Иллит	Амфибол	Рентгеноаморфные вещества	
														всего	в т.ч. кальцит
1	Точ.1	0	50-58 (91-93)*						0,4-1,3						33-43
3	Скв.1	0,0-1,5	32 (97)	2					<1					65	63
2		1,6-2,4	26 (85)	1					6	<1	<1			66	59
5**	Скв.2	0,0-1,0	30 (98)	2										68	68
4		1,0-1,6	28 (94)	1			2	1	1		<1			66	66
8	Скв.3	0,0-1,0	29 (96)	2			1	<1	<1	<1				67	67
7		1,0-2,5	27 (88)	1			<1	1	2	<1				68	61
6		3,5-4,8	26 (91)	<1				3	<1	<1			2	68	65
11	Скв.4	0,0-1,5	28 (97)	1			<<1	<<1	<1				<1	69	69
10		1,5-2,5	26 (96)	1			1	2	<1				<1	70	70
9		4,0-4,8	22 (83)				2	5	1				1	69	61
12	Скв.5	0,0-1,5	37 (79)			2	<1	<1	6					54	42
13		2,5-3,2	24 (32)			27	2	3	7	2	1	1		33	8
14		3,5-4,8	19 (32)		1	12	2	3	8	1	1			53	13

Примечания:

* — в скобках указано общее количество кальцита, включая рентгеноаморфный;

** — не исключается примесь водного карбоната со структурой пироаурита

ности. Оптимальными для нейтрализации составом и свойствами обладает шлам верхнего 1,5 м слоя старой карты шламонакопителя (рис. 4). Он более чем на 90 % состоит из тонкодисперсного карбоната кальция (табл.). Водородный показатель вытяжки pH 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. 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^3. Принципиально возможно использовать отходы из других частей шламонакопителя.

В результате применения метода pH шахтной воды повышается с 2,6-2,9 до нейтральных значений. Суммарное содержание железа с 30-40 снижается до 0,2-0,3 мг/л, что не превышает ПДКв. После нейтрализации алюминия в шахтной воде не обнаружено, тогда как до нейтрализации его содержание

независимый интернет-портал
PROGRAMISTNIK.RU

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 ПДКв. Нейтрализованная вода после отстаивания удовлетворяет требованиям ПДКв.

Образующийся осадок представляет смесь тонкодисперсных частиц гидроксидов железа, частично не прореагировавшего карбоната кальция и примеси гипса. Он имеет нейтральную реакцию среды. Подвижных форм железа, алюминия, марганца, свинца, кобальта и др. практически не обнаружено. В следствие этого, образующийся в результате нейтрализации шахтных вод осадок не является источником вторичного загрязнения водных объектов. 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.

Предварительный расчет показал, что площадь отстойников за 5 лет нейтрализации всех шахтных вод Кизеловского бассейна, при средней мощности накопленного осадка 2 м, будет ориентировочно 6 га. Это составляет 1,2 % от общей площади земель, нарушенных в результате угледобычи. Отметим, что отстойники могут располагаться на уже нарушенных землях и затем рекультивироваться. Осадок предполагается использовать в качестве добавок к сырью на цементных и металлургических заводах. В этом направлении в настоящее время проводятся соответствующие работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеенко В. А., Алексеенко А. П. Геохимические барьеры: Учебное пособие.- М.: Логос, 2003. — 144 с.
2. Волков В. Н., Полеховский Ю. С., Сергеев А. С., Тарасова И. П.. Введение в металлогению горючих ископаемых и углеродосодержащих пород: Учебное пособие. — СПб.: Изд-во С. -Петербургского университета, 1997. — 248 с.
3. Горбунова К. А., Андрейчук В. Н., Костарев В. П., Максимович Н. Г. Карст и Пещеры Пермской области.- Пермь, 1992.-200с.
4. Емельянов Е. М. Барьерные зоны в океане. Калининград: 1998.- 416 с.
5. Максимович Н. Г. Геохимия угольных месторождений и окружающая среда // Вестник Перм.ун-та,- Пермь,1997.-Вып.4.-Геология.-С.171-185.
6. Максимович Н. Г., Блинов С. М., Холостов С. Б., Басов В. Н. Очистка шахтных вод Кизеловского угольного бассейна с использованием отходов ОАО «Березниковский содовый завод» // Экологические проблемы и здоровье населения Верхнекамья: Материалы науч. — практ. конф., 7-9 октября г.Березники.-Пермь, 2002.- С.94-97.
7. Максимович Н. Г., Горбунова К. А. Геохимические изменения геологической среды при разработке угольных месторождений // Известия ВУЗ, Геология и разведка. 1991, N5, С.137-140.
8. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Геохимия элементов/В.Р.Клер, Г. А. Волкова, Е. М. Гуревич и др. М.: Наука, 1987. С.239.
9. 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.
10. Пахомов В. И., Пахомов И. В. Визейская угленосная формация западного склона Урала и Приуралья . М.: Недра, 1980. — 152 с.
11. Перельман А. И. Геохимия элементов в зоне гипергенеза. М.: Недра, 1972.- 288 с.
12. Перельман А. И., Касимов Н. С. Геохимия ландшафта. М.: Астрея — 2000, 1999- 768 с.
13. Штах Э. Маковски М.Т. и др. Петрология углей. М.: Мир, 1978. 556 с.
14. 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.
15. Mine Water and Environment. Proceedings of 7th International Mine Water Assosiation Congress. Katowice, 2000. — 672 p.
16. 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.