

УДК 628.33

*М.А. Тюленев*

## **НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРОВЕРКИ ОЧИСТКИ КАРЬЕРНЫХ СТОЧНЫХ ВОД ФИЛЬТРАЦИЕЙ В МАССИВАХ ВСКРЫШНЫХ ПОРОД**

Приведены некоторые результаты анализов карьерных сточных вод до и после их очистки в искусственных фильтрующих массивах на горных предприятиях Кузбасса. Установлены предварительные зависимости изменения загрязняющих примесей в карьерных водах от различного состава углеотходов.

*Ключевые слова:* искусственные фильтрующие массивы, вскрышная порода, фильтрация, очистка карьерных сточных вод.

**Р**ешение вопроса очистки сточных вод при открытой разработке месторождений полезных ископаемых связано с большими трудностями. В связи с постоянным ужесточением требований к качеству сбрасываемых сточных вод их очистка в отстойниках и прудах-осветлителях не обеспечивает достижение показателей ПДК; кроме того, эти очистные сооружения занимают значительные площади земли. Также необходимо отметить, что на разрезах, как правило, имеется несколько удаленных друг от друга водосбросов, к тому же изменяющих свое местоположение по мере развития горных работ. Так, например, ОАО «УК «Кузбассразрезуголь» имеет 32 места водопользования с учетом того, что в структуру компании входит 7 разрезов.

В настоящее время значительная часть существующих и перспективных [1] разрезов Кузбасса ведут очистку сточных вод в искусственных фильтрующих массивах из углеотходов [2]. Учитывая, что тенденция роста доли открытой угледобычи в Кузбассе сохраняется [3], а как следствие — объемы сбрасываемой разрезами воды будут неизбежно возрастать, необходимы дальнейшие исследования по повышению экологической безопасности ведения горных работ. Промышленная проверка очистки сточных вод фильтрацией в массивах вскрышных

пород проводилась на очистных сооружениях, построенных по рекомендациям КузПИ-КузГТУ на предприятиях ОАО «УК «Кузбассразрезуголь»: «Краснобродский угольный разрез» (Новосергеевское и Краснобродское поля), «Кедровский угольный разрез», а также Кедровской автобазе. Исследования заключались в отборе и анализе проб сточной воды до и после очистки в фильтрующих массивах. Фильтрующие массивы были возведены из вскрышных пород, разрабатываемых на соответствующем разрезе.

Результаты исследований изменения состава и свойств сточных вод в процессе фильтрации во вскрышных породах представлены в табл. 1. Сравнивались полученные результаты очистки промстоков на разрезах «Краснобродский», «Кедровский» и Кедровской автобазе.

Показатель рН уменьшается, максимальное значение 9,07; минимальное 7,73. Известно, что концентрация водородных (рН) ионов обусловлена отношением концентраций свободной двуокиси углерода, бикарбонат-ионов, содержанием гуминовых веществ, основных карбонатов и гидроокисей. В нашем случае карбонаты изменяются аналогично рН.

Сульфаты увеличиваются после прохождения воды через фильтр на Краснобродском угольном разрезе и уменьшаются на разрезе «Кедровский» и автобазе этого же разреза. Аналогичные изменения можно наблюдать для хлоратов, нитритов, нитратов и карбонатов. Можно предположить, что в результате длительного контакта (до 7–8 часов) промстоков с углепородными фильтрующими массивами происходят процессы выщелачивания (вымывания), которые приводят к изменению солевого состава.

Например, содержание сульфатов на разрезе «Краснобродский» после очистки увеличивается в 4 раза, хлорид-иона в 2 раза, нитрат-иона в 2 раза.

Увеличение количества минеральных солей при прохождении фильтрующих массивов обнаружено на трех из четырех очистных сооружений. Например, на Краснобродском разрезе сухой остаток увеличился в 2,5 раза, в то же время на Кедровской автобазе сухой остаток уменьшился с 400 мг/л до 300 мг/л, содержание анионов и катионов — соответственно с 311 мг/л до 254,5 мг/л и с 127,87 мг/л до 93,88 мг/л.

Таблица 1

## Изменение состава и свойств воды при фильтрации во вскрышных породах

Разрез	Ед. изм.		Цвет	Запах	Прозр.	К	Na	Ca	Mg	Fe <sup>+2</sup>	Fe <sup>+3</sup>	NH <sub>4</sub>	Сумма
	мг/л	экв-%											
Разрез Краснобродский, участок Новосергеевское поле (до очистки)	66°	б/з	0,11	3,3	33,81	72,14	42,56	н/о	н/о	0,3	52,11		
				0,08	1,47	3,6	3,5			0,02	3,67		
				0,92	16,95	41,52	40,37			0,24	100		
Разрез Краснобродский, участок Новосергеевское поле (после очистки)	58°	б/з	0,08	0,92	н/о	30,06	74,18	н/о	н/о	0,28	105,47		
				0,02		1,5	6,1			0,02	7,64		
				0,26		19,63	79,84			0,17	100		
Разрез Краснобродский, участок Краснобродское поле (до очистки)	27,5°	б/з	0,05	3,2	72,91	52,1	92,24	н/о	н/о	0,34	222,79		
				0,08	3,17	2,6	7,75			0,02	13,62		
				0,59	2,27	16,09	56,90			0,15	100		
Разрез Краснобродский, участок Краснобродское поле (после очистки)	23°	б/з	0,075	7,0	27,6	54,11	345,34	н/о	н/о	0,6	434,65		
				0,18	12	2,7	28,4			0,03	32,51		
				0,55	3,69	8,31	87,36			0,09	100		

Окончание табл. 1

Разрез	Ед. изм.	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	Сумма	Сухой остаток	Жесткость		pH	Окисляемость
										общ.	устр.		
Разрез Краснобродский, участок Новосергеевское поле (до очистки)	мг/л	45,0	280,6	73,25	33,18	140	6,2	438,23	480	7,1	2,3	9,07	7,68
	мг-экв/л	1,5	4,6	1,53	0,94		0,1	8,67					
	экв-%	17,30	53,06	17,65	10,84			1,15	100				
Разрез Краснобродский, участок Новосергеевское поле (после очистки)	мг/л	18,0	219,6	82,30	57,72	0,01	2,5	380,13	400	7,6	2,2	8,76	7,2
	мг-экв/л	0,6	3,6	1,71	1,63		0,04	7,58					
	экв-%	7,85	47,12	22,38	21,33		1,32	100					
Разрез Краснобродский, участок Краснобродское поле (до очистки)	мг/л	18,0	170,8	342,4	95,45	0,01	24,8	651,43	810	10,35	1,9	8,78	3,04
	мг-экв/л	0,6	2,8	7,13	2,69		0,4	13,62					
	экв-%	4,41	20,56	52,35	17,75		2,93	100					
Разрез Краснобродский, участок Краснобродское поле (после очистки)	мг/л	12,0	134,2	132,6	52,72	1,98	47,1	1574	2000	31,1	1,6	8,51	2,88
	мг-экв/л	0,4	2,2	27,62	1,49	0,04	0,76	32,51					
	экв-%	1,23	6,77	84,26	4,58	0,12	2,34	100					

Для объяснения этих изменений необходимо исследовать процессы, сопровождающие фильтрацию через массив.

Показатель окисляемости во всех случаях уменьшается на 0,48; 0,32; 0,48; 0,16 мг/л. Можно предположить, что количество веществ, окисляющихся сильными окислителями (перманганатом калия), уменьшается после фильтрации во всех случаях.

На всех фильтрах отмечается увеличение общей жесткости на  $0,5 \div 20,75$  мг-экв/л. Концентрация катионов двухвалентных щелочноземельных металлов, прежде всего кальция и магния, может увеличиваться в фильтрате вследствие воздействия двуокиси углерода, карбонатных минералов или в результате биохимических процессов, происходящих в увлажненных угольно-породных массивах. Содержание растворенных солей кальция в воде и изменение их концентрации зависит в естественных условиях от равновесия углекислых солей и двуокиси углерода. В очень жестких водах при нарушении углекислотного равновесия и уменьшении концентрации углерода может произойти выделение карбоната кальция.

Микроэлементный анализ промстоков проводился по специфическим загрязняющим веществам в промстоках карьеров. Анализы показали, что марганец присутствует в воде обычно в растворенной форме в виде двухвалентных ионов, и в нерастворенной форме в виде гидроокисей высших степеней окисления. Из таблицы видно, что при малых начальных концентрациях —  $10^{-3} \div 10^{-2}$  мг/л количество марганца незначительно увеличивается. При начальной концентрации марганца 0,42 мг/л (Кедровская автобаза) после очистки его количество уменьшается до 0,27 мг/л. При небольших концентрациях ( $10^{-2} \div 10^{-4}$  мг/л) остаются постоянными количества таких микрокомпонентов, как мышьяк, селен и фтор. Отмечено уменьшение концентрации свинца на  $10^{-3}$  мг/л и увеличение стронция на 0,4–1,1 мг/л.

Данные, полученные в лабораторных условиях ВНИИОСуглем, подтверждают наши выводы о возможности влиять на микро- и макрокомпонентный состав промстоков в результате их фильтрации через массив углеотходов.

Анализ изменения содержания взвешенных веществ при фильтрации, наряду с описанием его механизма, подробно рассмотрен в [4, 5] и в данной статье не приводится.

Состав шахтной воды после замачивания в ней различных образцов песчаников и алевролитов показал, что количество макроэлементов может увеличиваться, уменьшаться или оставаться постоянным в зависимости от состава породы. Например, количество катионов кальция уменьшается на всех образцах, магния же — на трех образцах увеличивается, а на одном алевролите уменьшается. Количество железа постоянно на трех образцах (0,5 мг/л), а на четвертом (алевролите) увеличилось до 2 мг/л. Зависимость макроэлементного состава воды от различного состава углеотходов (алевролиты, песчаники) прослеживается и по другим показателям: хлоридам, нитратам, карбонатам, аммиаку, жесткости и окисляемости [6].

Концентрации стронция, бария, титана уменьшаются на всех пробах. Концентрации алюминия, железа, кремния [7], меди, никеля, циркония могут уменьшаться или увеличиваться по отношению к исходным величинам.

Для последующих исследований было необходимо сделать литологический состав угленосных отложений Кузбасса.

Угленосная толща Кузнецкого бассейна представлена преимущественно верхней частью каменноугольной системы и всей пермской системой. Отложения этих систем состоят из таких петрографических разновидностей терригенного характера, как конгломераты, песчаники, алевролиты, аргиллиты и органогенных отложений в виде пластов каменного угля [8, 9]. Наибольшая доля принадлежит песчаникам (31,9%), алевролитам (44,3%) и аргиллитам (16,7%). Остальная часть приходится на конгломераты с гравелитами, углистые породы, уголь и карбонатные конкреции (табл. 2).

Анализ таблицы 2 наглядно показывает, что верхнепермские отложения  $P_2$  (кольчугинская серия) состоят на 67,4% из алевролитов и аргиллитов (глинистых разновидностей), а песчаники занимают только 24,9%, тогда как в отложениях нижней перми  $P_1$  преобладают песчаники (51%), а алевролиты и аргиллиты составляют 35–43%. Песчаники характеризуются более высокой прочностью, меньшей склонностью к размягчению и размоканию, большей водопроницаемостью [10, 11].

Таким образом, более благоприятные условия для возведения искусственных фильтрующих массивов для очистки сточных

Таблица 2

**Состав верхнепалеозойских угленосных отложений  
Кузнецкого бассейна**

Свита	Соотношение литотипов, %				
	Конгломерат, гра- велит, карбонат- ные конкреции	Песчаник	Алевролит	Аргиллит	Углистые породы
Кольчугинская серия (P <sub>2</sub> )					
Все свиты	3,5	26,0	49,6	20,8	0,1
Ерунаковская подсерия					
Все свиты	5,0	26,2	47,8	20,9	0,1
Тайлуганская	4,8	26,7	49,8	18,6	0,1
Грамотеинская	6,1	25,9	51,7	16,2	0,1
Ленинская	4,7	25,9	43,4	25,9	0,1
Ильинская подсерия					
Все свиты	1,8	25,8	51,2	21,1	0,1
Ускатская	3,5	20,6	51,4	24,4	0,1
Казанково-мар- кинская	1,0	28,2	51,2	19,5	0,1
Кузнецкая подсерия					
Все свиты	3,4	26,1	50,5	20,0	–
Балахонская серия (C <sub>1</sub> -P <sub>1</sub> )					
Все свиты	1,4	45,9	39,3	11,3	2,1
Верхнебалахонская подсерия (P <sub>1</sub> )					
Все свиты	1,3	53,5	37,2	5,5	2,5
Кемеровская	1,1	55,9	31,1	9,0	2,9
Ишановская	0,6	53,2	41,9	2,0	2,3
Промежуточная	1,8	52,4	38,2	5,1	2,5
Нижнебалахонская подсерия (C <sub>2-3</sub> )					
Все свиты	1,6	39,4	39,1	17,0	2,9
Алыкаевская	1,3	40,9	35,0	19,9	2,9
Мазуровская	1,9	37,8	43,8	13,7	2,8

карьерных вод существуют на угольных разрезах, отрабатывающих пласты угля свит верхнебалахонской подсерии балахонской серии (кемеровской, ишановской, промежуточной). На разрезах, работающих на угленосных отложениях кольчугинской серии, целесообразно производить селективную отсыпку вскрышных пород в фильтрующие массивы, чтобы обеспечить преобладание в них песчаников.

---

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тюленев М.А. Технология очистки сточных вод на действующих разрезах Кузбасса / М.А. Тюленев, Ю.В. Лесин // ГИАБ. — 2012. — № S6. — С. 104–109.
2. Тюленев М.А. Технология строительства очистных сооружений из твердых отходов горного производства / М.А. Тюленев, Ю.В. Лесин // В сборнике: Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр Материалы XI Международной конференции. Ответственный редактор А.Е. Воробьев. Москва, 2012. — С. 238–239.
3. Жиронкин С.А. Угольная отрасль Кузбасса / С.А. Жиронкин // ЭКО. — 2008. — № 5. — С. 81–86.
4. Lesin Yu.V. Mass transfer of dispersed particles in water filtration in macro-grained media / Yu.V. Lesin, S. Yu. Luk'yanova, M.A. Tyulenev // Journal of Mining Science. — 2010. — Vol. 46. — № 1. — P. 78–81 (doi:10.1007/s10913-010-0011-z).
5. Tyulenev M.A. Justification complex purification technology open-pit mines wastewater / Tyulenev M.A., Lesin Y.V. // Taishan Academic Forum — Project on Mine Disaster Prevention and Control 2014. — С. 441–444 (doi:10.2991/mining-14.2014.66).
6. Тюленев М.А. Перенос загрязняющих веществ при фильтрации сточных карьерных вод во вскрышных породах / М.А. Тюленев, С.Ю. Лукьянова, А.В. Папин, Е.А. Макаревич // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2011. — № 2. — С. 22–30.
7. Лесин Ю.В. Сравнительная оценка содержания загрязняющих примесей в карьерных сточных водах при использовании различных методов их очистки / Ю.В. Лесин, М.А. Тюленев, С.Ю. Лукьянова // ГИАБ. — 2012. — № S7. — С. 76–95.
8. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири [Текст] / Угольная база России. — Т. II. — М.: ООО «Геоинформцентр», 2003. — 694 с.
9. Lesin Y.V. Formation of the composition and properties of dumps on the open-pit mines of Kuzbass / Y.V. Lesin, S.Y. Luk'yanova, M.A. Tyulenev // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. Т. 91. № 1. С. 012093 (doi:10.1088/1757-899X/91/1/012093).
10. Справочник геолога-угольщика [Текст] / К.В. Миронов. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1991. — 363 с.
11. Штумпф Г.Г. Физико-технические свойства горных пород и углей Кузнецкого бассейна [Текст]: справочник / Г.Г. Штумпф [и др.]. — М.: Недра, 1994. — 447 с.

---

## КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Тюленев Максим Анатольевич — канд. техн. наук, доцент кафедры «Открытые горные работы», Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru



UDC 628.33

## **SOME RESULTS OF PURIFICATION QUARRY WASTE WATER SCALE TESTS BY FILTERING IN THE ARRAY OF OVERBURDEN**

*Tyulenev Maksim A.*, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor, Open Pit Mining Department, Gorbachev Kuzbass State Technical University, e-mail: tma.geolog@kuzstu.ru

The article presents some results of career wastewater analyzes which were made before and after purification in artificial filter arrays at mining enterprises of Kuzbass. It was determined that changing of pollutants in mining waste waters depends on material and petrographic composition of overburden.

*Key words:* artificial filter arrays, overburden, filtration, quarry wastewater purification.

### **REFERENCES**

1. Tyulenev M.A., Lesin Yu.V. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2012, no. S6, pp. 104–109.
2. Tyulenev M.A., Lesin Yu.V. *Technology for construction of treatment plants using hard mining waste, Resource-Saving, Low-Waste and Environmental Mining Technologies: The 11th International Conference Proceedings*, Moscow, 2012, pp. 238–239.
3. Zhironkin S.A. *ECO*, 2008, no. 5, pp. 81–86.
4. Lesin Yu.V. Mass transfer of dispersed particles in water filtration in macro-grained media, *Journal of Mining Science*, 2010, vol. 46, no. 1, pp. 78–81, doi: 10.1007/s10913-010-0011-z
5. Tyulenev M.A. Justification complex purification technology open-pit mines wastewater, *Taishan Academic Forum — Project on Mine Disaster Prevention and Control*, 2014, pp. 441–444, doi:10.2991/mining-14.2014.66
6. Tyulenev M.A., Luk'yanova S.Yu., Papin A.V., *Kuzbass State Technical University Bulletin*, 2011, no. 2, pp. 22–30.
7. Lesin Yu.V., Tyulenev M.A., Luk'yanova S.Yu. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, 2012, no. S7, pp. 76–95.
8. *Coal basins and deposits of the Western Siberia, Russian Coal, Vol. II*, Geoinformtsentr, Moscow, 2003, 694 p.
9. Lesin Y.V. Formation of the composition and properties of dumps on the open-pit mines of Kuzbass, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2015, vol. 91, no. 1, pp. 012093, doi:10.1088/1757-899X/91/1/012093
10. Mironov K.V. *Geologist–Coal Miner's Manual*, Moscow, Nedra, 1991, 363 p.
11. Shtumpf G.F. et al. *Physico-Technical Properties of Rocks and Coal in Kuznetsk Basin: Reference Book*, Moscow, Nedra, 1994, 447 p.