

ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ ТЕХНОГЕННЫХ ОБРАЗОВАНИЙ ЦВЕТНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ И ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Рыбаков Ю.С., Дальков М.П.

ФГБОУ ВПО «Уральский институт государственной противопожарной службы» МЧС России, Екатеринбург, Россия (620062, г.Екатеринбург, ул.Мира, 22), e-mail: thkm@mail.ru

В результате деятельности предприятий химической и металлургической промышленности в их технологическом цикле возникают опасные техногенные образования, размещающиеся на техногенной провинции, несущая опасность окружающей среде и в первую очередь человеку. Однако наибольшую опасность представляют отвалы руд и пород предприятий цветной металлургии. В сточных водах, стекающих с техногенных образований на обследованных нами предприятиях содержание меди, цинка и железа в тысячи и сотни тысяч раз превышает ПДК. Проводили исследование раствора после выщелачивания металлов из отобранных проб материалов путем получения водно-кислотной вытяжки в перколяционном режиме. Критерием опасности техногенных образований являлось превышение содержания опасных элементов и веществ их ПДК. Установлено, что шлако- и золоотвалы, шламо- и хвостохранилища незначительно загрязняют водные объекты. Также установлено, что основными загрязнителями являются отвалы медных, медно-цинковых, свинцово-цинковых и молибденовых руд. В результате исследований разработана классификация отвальных руд и пород по степени опасности для окружающей среды и человека, а также даны их химическая и минералогическая характеристики для оценки их степени опасности.

Ключевые слова: техногенные образования, техногенная провинция, отвалы руд и пород, оценка класса опасности, превышение ПДК, химическая и минералогическая характеристики.

HAZARD ASSESSMENT OF TECHNOGENIC FORMATIONS COLOR METALLURGY AND CHEMICAL INDUSTRY

Rybakov J.S., Dalkov M.P.

Ural Institute of State Fire-Prevention Service of Emercom of Russia, Ekaterinburg. E-mail: thkm@mail.ru

As a result of activity of the enterprises of the chemical and metallurgical industries in their process cycle lead to a dangerous technogenic formations sleeping in technogenic province, bearing the danger to the environment and first person. However, the greatest danger is posed by stockpiles of ores and rocks of non-ferrous metallurgy. In the wastewater flowing from man-made structures in the surveyed us companies, the content of copper, zinc and iron in thousands and hundreds of thousands of times higher than the MAC. Conducted a study of the solution after videla-zivania metals from selected samples of materials by obtaining water-acid hoods in did Yukki-translational mode. The hazard criterion of man-made structures was excess in the concentration of hazardous elements and substances their MAC. It is established that cinder and ash dumps, Shlomo - and tailing slightly pollute water bodies. It is also established that the main pollutants are the dumps of copper, copper-zinc, lead-zinc and molybdenum ores. The research developed a classification of dump ores and rocks on the degree of danger to the environment and humans, and given their chemical and mineralogical characteristics to assess their degree of danger.

Keywords: technogenic formations, man-made province, heaps of ores and rocks, evaluation of a class of hazards, exposure limits are exceeded, chemical and mineralogical characteristics.

В результате добычи и переработки полезных ископаемых, в особенности при открытых горных работах, предприятиями цветной металлургии и химической промышленности сотни тысяч гектаров водосборных территорий занимают различными техногенными образованиями. Возникает техногенная провинция предприятия, несущая опасность окружающей среде и в первую очередь человеку [1-3]. При этом промышленные разработки загрязняют водные объекты и почвы, изменяют рельеф местности, характер и структуру ландшафта, гидрологический режим. В связи с этим в человеческий организм и

сельскохозяйственную продукцию происходит поступление токсических веществ из атмосферного воздуха, почвы и водоемов, что порождает проблемы, связанные с накоплением в продовольственном сырье и продуктах питания чужеродных веществ, или ксенобиотиков, и ставит целый ряд задач, нацеленных на обеспечение безопасности продуктов питания и источников питьевого водоснабжения [4, 5].

К техногенным образованиям предприятий горнохимической и металлургической промышленности относятся отвалы и терриконы забалансовых руд, минерализованных пород, шлако- и золоотвалы, горные выработки, действующие и законсервированные шламо- и хвостохранилища станций нейтрализации и обогатительных фабрик и другие новообразования [1, 2, 6].

Поэтому нами были проведены исследования по выщелачиванию руд и пород в лабораторных и полупромышленных условиях, а также осуществлена классификация техногенных образований по минералогическим характеристикам, скоростям выщелачивания загрязняющих элементов и по степени опасности для окружающей среды.

Цель работы. Оценить потенциальную опасность перечисленных выше техногенных образований горнохимической и металлургической промышленности на окружающую среду и человека.

Материал и методы исследования

Для исследований потенциальной опасности техногенных образований были отобраны пробы: шлаков со шлакоотвалов Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ), Кировградского (КМК) и Красноуральского (КУМК) медеплавильных комбинатов; шламов из шламохранилищ станций нейтрализации Левихинского рудника КМК, Восточно-Казахстанского медно-химического (ВКМХК), Иртышского химико-металлургического завода (ИХМЗ) и Башкирского медно-серного (БМСК) комбинатов; хвостов обогащения ВКМХК, БМСК, Карабашского медеплавильного (КарМК), Учалинского (УГОК) и Гайского (ГГОК) горно-обогатительных комбинатов; оставшиеся в недрах горные потери руд цветных металлов Золотушинского рудника АО «Алтайполиметалл», Левихинского рудника КМК, КарМК и Шерловгорского рудника Шерловгорского ГОКа; забалансовые руды ВКМХК, КМК, Салаирского ГОКа и ряда других рудников.

Пробы руд были отобраны в период обследования рудников. Полученные пробы естественной крупности подвергались гранулометрическому анализу, часть их дробилась до крупности $-30 + 0$ и $-10 + 0$ мм (для поисковых и технологических исследований). Химический и минералогический анализы проб делались на стадии пробоотбора.

Проводили исследование раствора после выщелачивания металлов из отобранных проб материалов путем получения водно-кислотной вытяжки в перколяционном режиме.

Механизм процесса перколяционного выщелачивания в общих чертах соответствует механизму естественного растворения металлов в условиях просачивания дождевых и паводковых вод через естественные трещины, поры и сквозь раздробленную горную массу. Исследования по выщелачиванию кускового материала осуществляли в перколяторах по методикам, описанным в работах [3, 7, 8].

Критерием опасности техногенных образований являлось превышение содержания опасных элементов и веществ в полученных растворах перколяционного выщелачивания их предельно допустимых концентраций (ПДК) [9].

Результаты исследований и их обсуждение

В процессе исследований получены следующие результаты.

Из перечисленных выше техногенных образований шлако- и золоотвалы незначительно загрязняют водные объекты. Содержащиеся в них компоненты находятся в остеклованном виде в соединении с кремнием и практически нерастворимы в водной среде, формируемой на этих образованиях за счет атмосферных осадков. Это подтверждено обследованием шлакоотвалов Среднеуральского медеплавильного завода (СУМЗ), Кировградского (КМК) и Красноуральского (КУМК) медеплавильных комбинатов. Было показано, что сточные воды, вытекающие из-под них, загрязнены только твердыми взвешиваемыми веществами. Превышения ПДК не обнаружено как на месте складирования этих техногенных образований, так и в процессе исследований выщелачивания проб шлаков, что позволяет отнести их к неопасным для окружающей среды.

Сток шламохранилищ станций нейтрализации, как правило, наоборот значительно загрязнен металлами, сульфат- и хлор-ионами. Так, например, воды, сбрасываемые в реку Тагил из шламохранилища Левихинского рудника КМК содержат, мг/дм³: меди - до 8, цинка - до 15, железа - до 2, взвешенных веществ - до 30, сухой остаток - более 3500. В то же время как ПДК для рыбохозяйственного водоема [9] составляют, мг/дм³: по меди – 0,001; цинку – 0,01; железу – 0,5. Сами же шламы в сухом виде содержат, %: меди – 0,8-0,9; цинка – до 0,73; свинца – до 0,02; железа – до 10; серы – более 8. Формы нахождения металлов в шламе гидратная, то есть при определенных условиях шламы можно отнести к опасным для окружающей среды.

Сток хвостохранилищ менее загрязнен, чем сток шламохранилищ. Это связано с тем, что на обогатительных фабриках перерабатывается сульфидное сырье, которое плохо растворимо в нейтральной и щелочной средах хвостохранилища. Так, например, обследованный дренаж хвостохранилища АО «Алтайполиметалл» содержал, мг/дм³: меди – до 0,75, цинка – до 10. Такая же картина наблюдается и на других хвостохранилищах.

Оставшиеся в недрах горные потери руд цветных металлов так же являются постоянным источником загрязнения окружающей среды в связи с медленно текущими окислительными процессами и выщелачиванием образующихся оксидов подземными водами. Данные процессы практически не контролируются и наносят ущерб окружающей среде. Так, например, в шахтных водах Золотушинского рудника АО «Алтайполиметалл» содержание меди составляло $5,4 \text{ мг/дм}^3$, цинка – $51,1 \text{ мг/дм}^3$. Общий водоприток составляет $50 \text{ м}^3/\text{час}$. В настоящее время предприятие не работает и имеется большая вероятность, что эти воды практически без очистки попадают в реку Золотушку. Такая же ситуация грозит осуществиться на Карабашском, Левихинском и Шерловогорском рудниках.

Однако наибольшую опасность водным объектам представляют отвалы руд и пород предприятий цветной металлургии. В сточных водах, стекающих с техногенных образований на обследованных нами предприятиях содержание меди, цинка и железа достигает $100\text{-}500 \text{ мг/дм}^3$, свинца – до 10 мг/дм^3 , что в тысячи и сотни тысяч раз превышает ПДК. Также установлено, что основными загрязнителями подотвального стока с отвалов медных, медно-цинковых, свинцово-цинковых и молибденовых руд являются медь, цинк, железо. В меньшей степени сток загрязнен свинцом, молибденом и мышьяком.

Основными рудными минералами, в которых сосредоточены эти металлы являются: пирит (FeS_2), марказит (FeS_2), арсенопирит (FeAsS), пирротин (FeS), гетит, лимонит (FeOOH), магнетит (Fe_3O_4), халькопирит (CuFeS_2), халькозин (Cu_2S), ковеллин (CuS), тенорит (CuO), куприт (Cu_2O), малахит [$\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$], сфалерит (ZnS), цинкит (ZnO), смитсонит (ZnCO_3), гослерит (ZnSO_4), галенит (PbS), церрусит (PbSO_4), ангизит (PbCl_2), молибденит (MoS_2), повеллит (CaMoO_4), ферримолибдит [$\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3$]. Наличие в рудах значительного количества серы и сульфатов в естественных условиях техногенной провинции приводит к наработке значительного количества серной кислоты, которая служит хорошим растворителем и способствует окислению сульфидных минералов [1, 3]. Предыдущее утверждение можно объяснить следующими химическими превращениями. В процессе растворения ряда сульфидных минералов, которое катализируется тионовыми бактериями, в орошающих растворах появляется двухвалентное железо и элементарная сера. Элементарная сера при окислении кислородом образует серную кислоту, которая образуется также и при гидролизе трехвалентного железа. Одновременно двухвалентное железо окисляется кислородом, то есть в процессе выщелачивания возможна регенерация серной кислоты и трехвалентного железа [10]. Химические реакции по окислению и растворению рудных минералов и их термодинамический анализ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Изменение энергии Гиббса химических реакций растворения рудных минералов

№ п/п	Уравнения химических реакций	Изменение энергии Гиббса, кДж/моль	
		298°C	373°C
I группа			
1.	$\text{CuO} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$	- 42.41	- 62.30
2.	$\text{CuCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$	- 20.35	- 35.41
3.	$\text{ZnO} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$	- 96.64	- 110.20
4.	$\text{ZnCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{ZnSO}_4 + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$	- 17.93	- 23.82
5.	$\text{PbCO}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{PbSO}_4 + \text{CO}_2\uparrow + \text{H}_2\text{O}$	- 30.91	- 33.20
6.	$\text{PbSO}_4 + 3\text{NaCl} = \text{NaPbCl}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4$	Не определено	
7.	$\text{PbCl}_2 + \text{NaCl} = \text{NaPbCl}_3$	Не определено	
8.	$\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$	- 35.21	- 37.60
9.	$\text{CaMoO}_4 + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CaSO}_4 + \text{H}_2\text{MoO}_4$	- 8.15	- 10.35
10.	$\text{Fe}_2(\text{MoO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 = 3\text{H}_2\text{MoO}_4 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$	- 39.80	- 43.20
II группа			
11.	$2\text{S}_0 + 3\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$	- 531.47	- 381.25
12.	$4\text{FeSO}_4 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 2\text{H}_2\text{O}$	- 48.32	- 16.50
13.	$2\text{Cu}_2\text{O} + \text{O}_2 + 4\text{H}_2\text{SO}_4 = 4\text{CuSO}_4 + 4\text{H}_2\text{O}$	- 208.92	- 120.30
14.	$2\text{CuS} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{S}_0$	- 126.41	- 92.40
15.	$\text{Cu}_2\text{S} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{CuSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + \text{S}_0$	- 265.72	- 180.70
16.	$\text{CuFeS}_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + \text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{S}_0$	- 339.21	- 225.79
17.	$2\text{ZnS} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{ZnSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{S}_0$	- 188.91	- 125.68
18.	$2\text{PbS} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{PbSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{S}_0$	- 125.24	- 109.74
III группа			
19.	$2\text{FeS}_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{S}_0$	- 174.97	- 120.04
20.	$2\text{FeS} + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{SO}_4 = 2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{S}_0$	- 127.12	- 104.71
21.	$\text{MoS}_2 + 6\text{H}_2\text{O}_2 + \text{O}_2 = \text{H}_2\text{MoO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$	- 305.28	- 241.32
22.	$2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{O}_2 + 6\text{H}_2\text{O} = 4\text{Fe}(\text{OH})_3 + 6\text{H}_2\text{SO}_4$	- 229.57	- 69.33
IV группа			
23.	$\text{Cu}_2\text{O} + \text{H}_2\text{SO}_4 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 = 2\text{CuSO}_4 + 2\text{FeSO}_4 + \text{H}_2\text{O}$	- 112.42	- 120.60
24.	$\text{CuS} + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 = \text{CuSO}_4 + 2\text{FeSO}_4 + \text{S}_0$	- 29.98	- 33.87
25.	$\text{CuS}_2 + 2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 = 2\text{CuSO}_4 + 4\text{FeSO}_4 + \text{S}_0$	- 50.91	- 53.42
26.	$\text{CuFeS}_2 + 2\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 = \text{CuSO}_4 + 5\text{FeSO}_4 + \text{S}_0$	- 73.02	- 79.88
27.	$\text{ZnS} + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 = \text{ZnSO}_4 + 2\text{FeSO}_4 + \text{S}_0$	- 92.28	- 92.70
28.	$\text{PbS} + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 = \text{PbSO}_4 + 2\text{FeSO}_4 + \text{S}_0$	- 25.76	- 27.3
29.	$\text{FeS}_2 + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 = 3\text{FeSO}_4 + 2\text{S}_0$	- 78.34	- 87.04
30.	$\text{FeS} + \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 = 3\text{FeSO}_4 + \text{S}_0$	- 26.70	- 27.8

Согласно данным табл. 1 все химические реакции по растворению минералов медных, медно-цинковых, свинцово-цинковых и молибденовых руд в сернокислотной среде можно разделить на 3 группы:

- I - растворение минералов без добавки окислителей,
- II - окисление сульфидов и других соединений кислородом,
- III - окисление и растворение минералов трехвалентным железом.

Сопоставление величин изменения энергии Гиббса для реакций различных групп в первом приближении указывает на предпочтительность выщелачивания с участием кислорода. Прямое кислотное выщелачивание некоторых сульфидов возможно лишь при температурах выше 100°C. Однако низкая растворимость кислорода в водных растворах (до 8 мг/дм³) снижает эффективность реакций II группы.

Восстановление оксида железа (III) до (II) имеет большую вероятность для температур 25-100°C, а развитие процесса окисления железа (II) и гидролиз солей железа (III) предпочтителен при температурах близких к 25°C. При этом для реакций I и II групп характерно увеличение абсолютного значения энергии Гиббса с повышением температуры. В то же время для реакций II группы наблюдается обратная картина. Это объясняется снижением концентрации растворенного кислорода в растворах с повышением температуры.

Результаты перколяционного исследования по выщелачиванию представлены в табл.2, в которой руды и породы объединены в классы в порядке убывания степени опасности для окружающей среды и человека (первый класс самый опасный). Для удобства восприятия в таблице приводятся данные по содержанию меди в растворе, как наиболее опасному металлу-загрязнителю.

Таблица 2

Результаты перколяционного выщелачивания руд и пород

Класс опасности руд и пород	Тип руды в отвале	Среднее содержание меди в вытяжке	
		мг/дм ³	в долях ПДК _{рыбохоз.}
Класс 1	Медные и медно-цинковые, залегающие в кислых породах	890,0	890000
Класс 2	Медные и медно-цинковые, залегающие в основных и карбонатных породах	35,0	35000
Класс 3	Медные, залегающие в глинистых породах	9,5	9500
Класс 4	Медно-цинковые метаколлоидные	5,0	5000
Класс 5	Медно-свинцово-цинковые, залегающие в породах кислого состава	3,5	3500
Класс 6	Медно-свинцово-цинковые, залегающие в породах основного состава	0,75	7500
Класс 7	Окисленные молибденовые и медно-молибденовые	0,5	500
Класс 8	Сульфидные медно-молибденовые с высокой и средней дефектностью кристаллической структуры	0,2	200

Химическая и минералогическая характеристика отвальных руд и пород цветной металлургии и химической промышленности для оценки их класса опасности приведены в табл. 3. По минеральному и фазовому составу соединений металлов складированных руд и пород можно определить степень их опасности путем сравнения данных об отвале с данными этой таблицы.

Первый этап оценки степени опасности – это сбор данных об отвале: минеральный состав складированных обломков; фазовый состав руд и пород, складированных в отвал; гранулометрический состав складированных обломков; морфометрические характеристики отвала; объем и масса отвала; гидрологические условия площадки складирования.

Таблица 3

Химическая и минералогическая характеристика отвальных руд и пород цветной металлургии и химической промышленности для оценки их класса опасности[6]

Класс опасности руд в отвале	Основные минералы главных металлов-загрязнителей	Вмещающие породы	Содержание оксидов главных металлов-загрязнителей в минералах, %	Содержание в рудах, %	
				пород основного состава (щелочные и карбонатные)	глинистых пород
Класс 1	Малахит, брошантит, азурит, халькозин, ковеллин, борнит, цинкит, гослерит, сфалерит	Кислые и средние изверженные породы, вторичные кварциты, песчаники	20-60	1-5	1-5
Класс 2	Малахит, псевдомалахит, гётит, магнетит, сфалерит, смитсонит	Габбро, средние и основные эффузивы	5-35	7-10	5-10
Класс 3	Малахит, хризоколла, лимонит, гётит, ковеллин, тенорит	Измененные сиенито-диориты, моноциты, средние и основные эффузивы	20-35	2-5	5-20
Класс 4	Халькопирит и сфалерит с высокой дефектностью кристаллической структуры	Кислые эффузивы (порфиры, кератофиры, альбитофиры)	15	5-7	1-5
Класс 5	Смитсонит, церуссит, пирит, сфалерит, галенит, в меньшей степени халькопирит, блеклая руда, свинцовые охры, ковеллин, малахит, госларит и халькантит,	Кварцево-серицитовые сланцы, кварцевые кератофиры, алевропелиты, туфы и лавы кислого и среднего состава, микроклин-плагиоклазовые граниты, альбитофиры, граниты	20-60	5-15	5-10
Класс 6	Пирит, сфалерит, галенит, халькопирит, ковеллин, смитсонит, церуссит, ангизит	Кварц, калиевый полевой шпат, серицит, карбонат, биотит измененный, гидроксиды железа, ярозит	20-30	7-15	5-8
Класс 7	Повелит, ферримолибдит, вульфенит, малахит, азурит	Серицитизированные, слабокальцинизированные, хлоритизированные, ожелезненные, биотитовые граниты, гранодиориты	18-25	3-10	5-13
Класс 8	Молибденит, халькопирит, в меньшей степени ферримолибдит, марказит, борнит, малахит, повеллит	Биотитовые граниты, мелкозернистые граниты, гранодиориты, липариты, кварцсерицитовые метасоматиты, кварц, полевой шпат, биотит	5-12	4-8	5-8

Эти данные могут быть получены из следующих источников: паспорт отвала; материалы разведочных работ, проводимых на различных этапах оценки запасов

отрабатываемых горизонтов рудного тела; данные опробования отгружаемой из забоя горной массы; показатели потерь и разубоживания добываемой руды с учетом особенностей геологического строения месторождения; результаты научно-исследовательских работ, проводимых на месторождении в ходе его отработки; данные геолого-маркшейдерского учета движения запасов, установленных разведочными работами, при отработке месторождения; отчет по оценке воздействия отвала на окружающую среду; другая имеющаяся документация по разработке и использованию месторождения; гидрологические справочники по территории. Если в указанных документах всех требуемых данных нет, то следует провести опробование отвала.

В настоящее время для каждого класса руд и пород разработаны технологические схемы проведения процесса, определены оптимальные режимы химической рекультивации. Исследованиями также установлено, что в ряде случаев при осуществлении химической рекультивации возможно не только очистить техногенное образование от легкорастворимых металлов-загрязнителей, но и окупить понесенные затраты.

Заключение

Таким образом, определив класс опасности отвала, можно знать приблизительное содержание металлов-загрязнителей в стоке из-под отвала, а на этом основании в дальнейшем рекомендовать метод химической рекультивации. Кроме того, это позволит заранее определить извлечение металла при проведении химической рекультивации, что позволит сделать выводы о рентабельности того или иного способа предотвращения загрязнения водных объектов.

Список литературы

1. Рыбаков Ю.С., Рыбаков А.Ю., Овсянников А.Ю. Организационно-экономический механизм и инвестиционные проекты рекультивации техногенных образований. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. экон. ун-та, 2011. – 141 с.
2. Рыбаков Ю.С. Управление качеством вод на техногенной провинции медно-цинковых рудников // Современные проблемы науки и образования.- 2013.- № 1 (электронное издание). <http://www.Science-education.ru/107-8271>
3. Халезов Б.Д. Кучное выщелачивание медных и медно-цинковых руд.- Екатеринбург: РИО УрО РАН, 2013.- 332 с.
4. Рыбаков А.Ю., Федоров М.В., Рыбаков Ю.С. Проблемы продовольственной безопасности в зоне деятельности предприятий горно-промышленного комплекса // Продовольственная

безопасность в системе народосбережения / Сб.научн.тр.- Екатеринбург: УрГЭУ, 2006.- Ч. 1.- С. 128-131.

5. Рыбаков Ю.С., Рыбаков А.Ю. Рудный техногенез и качество пищевых продуктов // Современное хлебопекарное производство, перспективы его развития / Сб.научн.тр.- Екатеринбург: УрГЭУ, 2006.- С. 70-74.

6. Рыбаков Ю.С. Управление качеством сточных вод и выщелачивающих растворов при химической рекультивации отвалов руд и пород цветной металлургии // Известия УрГЭУ.- 2013.-№ 3-4.- С. 136-142.

7. Рыбаков Ю.С., Рыбаков А.Ю., Неугодникова И.В. Предотвращение загрязнения почв и водных объектов стоком с отвалов свинцово-цинковых руд и пород // Безопасность жизнедеятельности на железнодорожном транспорте / Сб.научн.тр. – Екатеринбург: УрГУПС, 2006. – С. 152–168.

8. Рыбаков Ю.С. Предотвращение загрязнения вод стоками с техногенных образований цветной металлургии // Экология и безопасность жизнедеятельности / Сб.научн.тр. – Екатеринбург: УрГУПС, 2003. – С. 75–83.

9. Предельно-допустимые концентрации химических элементов в окружающей среде: Справочник / Сост. Г.П.Беспамятов, Н.А.Кротов. - Л.: Химия, 1985. - 528 с.

10. Каковский И.А., Набойченко С.С. Термодинамика и кинетика гидрометаллургических процессов. - Алма-Ата: Наука, 1986. - 270 с.

Рецензенты:

Пищиков Г.Б., д.т.н., профессор кафедры пищевой инженерии и экологии ФГБОУ ВПО «Уральский государственный экономический университет», г. Екатеринбург.

Бондаренко В.В., д.т.н., профессор кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения», г. Екатеринбург.