

## УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ВОД НА ТЕХНОГЕННОЙ ПРОВИНЦИИ МЕДНО-ЦИНКОВЫХ РУДНИКОВ

Рыбаков Ю. С.

*ФГБОУ ВПО «Уральский государственный экономический университет Минобрнауки России», Екатеринбург, Россия (620144, г. Екатеринбург, ул. 8 Марта, 62), e-mail: thkm@mail.ru*

Проведен анализ формирования качества стока в районах складирования отвалов руд и пород медно-цинковых месторождений. Установлено, что сточные воды, сформированные на техногенной провинции, загрязнены медью, цинком, железом и сульфат-ионами в концентрациях, значительно превышающих их ПДК. Для улучшения качества стока разрабатываются технологии, связанные с очисткой техногенных образований от легко растворимых форм металлов-загрязнителей. Наиболее эффективным способом такой очистки является химическая рекультивация, которая может быть осуществлена с помощью кучного выщелачивания. Для осуществления кучного выщелачивания необходимо прогнозировать содержание указанных выше металлов в стоке как при воздействии растворителя (серной кислоты), так и при воздействии дождевых и талых вод. Проведены перколяционные исследования по выщелачиванию меди и цинка из руд Лёвихинского месторождения (Средний Урал) в зависимости от плотности орошения, концентрации серной кислоты, паузы между орошениями и продолжительности процесса. Полученные результаты были обработаны методом Бокса – Уилсона. В результате были получены математические выражения, с помощью которых можно определять качество стока при различных режимах процесса. На основании этих данных можно определять с технологией химической рекультивации и управлять качеством стока на техногенной провинции медно-цинковых горнорудных предприятий.

Ключевые слова: рудный техногенез, техногенная провинция, медно-цинковые забалансовые руды, химическая рекультивация, кучное выщелачивание, управление качеством сточных вод.

## WATER QUALITY CONTROL AT COPPER-ZINK MINES TECHNOGENIC PROVINCES

Rybakov J. S.

*The Ural State University of Economics, Jekaterinburg, Russia (ul. 8 Marta, 62), e-mail: thkm@mail.ru*

The paper presents an analysis of gutter quality formation where copper-zink deposits store their ores and rocks. The authors founded that sewage is contaminated with copper, zink, iron and sulphate-irons in considerable proportions. Technologies aimed at improving gutter quality are being developed. They are connected with technogenic formations refining from easily dissolved forms of metals-contaminants. Chemical recultivation is considered to be the most effective way of such a refining with the help of dealcalization process. It is necessary to forecast the mentioned metals content in gutter under the influence of both a solvent (sulphur acid) and rain and thaw waters. Percolation investigations have been made on copper and zink dealcalization from ores extracted at Levikhinsky deposit (Middle Ural) depending upon irrigation density, sulphur acid concentration and the process longerity. The results gained have been processed by method. Mathematic values were calculated with whose help it became possible to determine gutter quality, chemical recultivation technology and to control gutter quality at technogenic zones of copper-zink mines.

Key words: ore technogenesis, technogenic province, copper-zink ores, chemical recultivation, dealcalization, sewage quality control.

### Введение

В процессе отработки медно-цинковых месторождений открытым способом в отвалах скапливаются значительные запасы забалансовых руд и минерализованных пород, содержащих большое количество цветных металлов и железа. Эти руды и породы, как правило, складываются в отвалы вдалеке от жилой зоны и мест переработки и обогащения балансовых руд. Так возникает техногенная провинция рудников. На этой техногенной

провинции могут также располагаться хвостохранилища обогатительного производства, шламоохранилища продуктов нейтрализации рудничных и карьерных вод и другие отходы производства. Такая широкомасштабная хозяйственная деятельность сопровождается неблагоприятными изменениями в окружающей природной среде: в условиях существенного роста антропогенных нагрузок изменяется характер подстилающей поверхности и происходит перестройка природных ландшафтов. Возникает рудный техногенез, формирующий ореол рассеяния загрязняющих веществ в районах складирования указанных выше отходов (техногенной провинции), который в настоящее время оказывает все большее влияние на качество воды в водных объектах [4, 5].

В соответствии с проведенными исследованиями [3, 5, 6] сток, формирующийся на техногенных образованиях, загрязняется металлами, сульфат- и хлор-ионами, другими компонентами, содержание которых значительно превышает ПДК. В таком стоке на ряде обследованных нами предприятий, например, содержание меди, цинка и железа достигает 100–500 мг/дм<sup>3</sup>, что в сотни тысяч раз превышает ПДК для рыбохозяйственного водоема. За год с техногенных образований в водные объекты поступает более одного миллиона тонн химических веществ, в том числе крайне опасных тяжелых и редких металлов, что приводит к значительному загрязнению водных источников. Наибольшую опасность для водных источников представляют отвалы труднообогатимых и забалансовых руд и минерализованных пород горнодобывающих предприятий, в особенности цветной металлургии, содержащие значительное количество загрязняющих элементов и соединений.

Наиболее важная задача управления качеством вод в настоящее время – это проведение мероприятий, которые препятствуют загрязнению водных объектов.

Одним из методов борьбы с загрязнением стока, сформированным на техногенных образованиях, в первую очередь на отвалах горных пород, является их рекультивация. В то же время по причине наличия значительного количества легкорастворимых загрязнителей эти образования не отвечают требованиям ГОСТ 17.5.1.03-86 для биологической рекультивации [8].

Поэтому сначала необходимо снизить содержание в них легкорастворимых соединений, а последующая биологическая рекультивация практически исключит угрозу загрязнения водных объектов. Для большинства техногенных образований необходимо осуществить три этапа рекультивации: горнотехническую, химическую и биологическую. При этом на первое место выдвигается химическая рекультивация, которую можно осуществить с применением приемов и методов кучного выщелачивания, что позволит не только защитить водные объекты от загрязненного стока с отвалов, но и извлечь из них

цветные металлы в товарную продукцию и подготовить отвал к биологической рекультивации [5, 7, 9].

**Цель работы.** Разработка методики прогнозирования содержания металлов в стоке, сформированном на техногенной провинции (отвалах руд и пород руд и пород) цветной металлургии.

### **Материал и методы исследования**

Известно, что оптимальный способ рекультивации может быть рекомендован только после проведения исследований по их химической рекультивации [3, 5].

Исследования проведены на примере забалансовых руд Лёвихинского месторождения (Средний Урал). Пробы руды были отобраны в период обследования рудника. 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.

Химический состав пробы, отобранной из отвала забалансовой руды Лёвихинского месторождения, %: кремния – 29,3; алюминия – 8,2; железа – 4,5; мышьяка – 0,006; хрома – 0,003; меди – 0,16; никеля – 0,001; свинца – 0,007; цинка – 0,1. Кремний, алюминий и железо имеют незначительную растворимость в талых и дождевых водах, поэтому они незначительно загрязняют сточные воды на техногенной провинции. В то же время медь и цинк, на 25–30 % представленные хорошо растворимыми в чуть подкисленной воде сульфатными и оксидными минералами, имеют наибольшую опасность для водных объектов. Поэтому в данной работе были изучены закономерности выщелачивания именно этих металлов.

После проведения химического и гранулометрического анализов от каждой фракции согласно гранулометрическому составу отбирали пробы для проведения исследований перколяционного выщелачивания. Механизм процесса перколяционного выщелачивания в общих чертах соответствует механизму кучного выщелачивания в условиях просачивания растворов через естественные трещины, поры и сквозь раздробленную горную массу.

Вследствие этого изучение процесса перколяционного выщелачивания является необходимым элементом в цепи исследований по химической рекультивации техногенных образований.

Исследования по выщелачиванию начинали в перколяторах, вмещающих 100–300 г (крупность породы менее 10 мм). При этом методом факторного планирования экспериментов Бокса – Уилсона [1] устанавливали область оптимальных факторов процесса, которые затем проверяли на крупностях породы менее 30 мм.

Полученные результаты экспериментов на малых перколяторах сводились в специальную матрицу, данные которой обрабатывались для установления уравнения регрессии вида:

$$y = B_0 + \sum_{i=1}^n B_i X_{H_i}, \quad (1)$$

где  $y$  – параметр оптимизации (скорость выщелачивания загрязнителей);  $B_0$  – свободный член;  $B_i$  – коэффициенты при линейных членах (факторах процесса);  $n$  – количество экспериментов.

### **Результаты исследований и их обсуждение**

В процессе исследований выщелачивания устанавливали зависимость скорости выщелачивания основных загрязнителей (меди и цинка) от концентрации серной кислоты –  $C$  (в том числе исследовался вариант безкислотного выщелачивания), окислительной паузы между орошениями –  $\tau$ , плотности орошения орошения –  $\rho$  (количество растворов, подаваемых на единицу массы руды в сутки) и продолжительности проведения процесса –  $t$  (включая продолжительность орошения и паузы между орошениями). Установление этих зависимостей позволяет прогнозировать качество стока, формируемого в месторождении как в условиях естественного, так и принудительного выщелачивания. Результаты исследований представлены на рисунках 1–4.

Исходя из результатов, представленных на рис. 1, можно предположить, что поднимать концентрацию серной кислоты выше 1 г/л в выщелачивающих (рекультивирующих) растворах нет необходимости. Также нет необходимости повышать плотность орошения выше 100 дм<sup>3</sup>/т (рис. 2) и паузу между орошениями выше 1 суток (рис. 3).

На основании данных рис. 4 было установлено, что легко растворимые соединения меди и цинка из руды можно извлечь примерно за 40–50 суток. Оставшиеся сульфидные минералы меди и цинка растворяются с гораздо меньшей скоростью, что практически не приводит к значительному загрязнению водных объектов.

В результате последующей математической обработки полученных результатов методом Бокса – Уилсона были выведены зависимости вида  $E = f(C, \rho, \tau)$ .

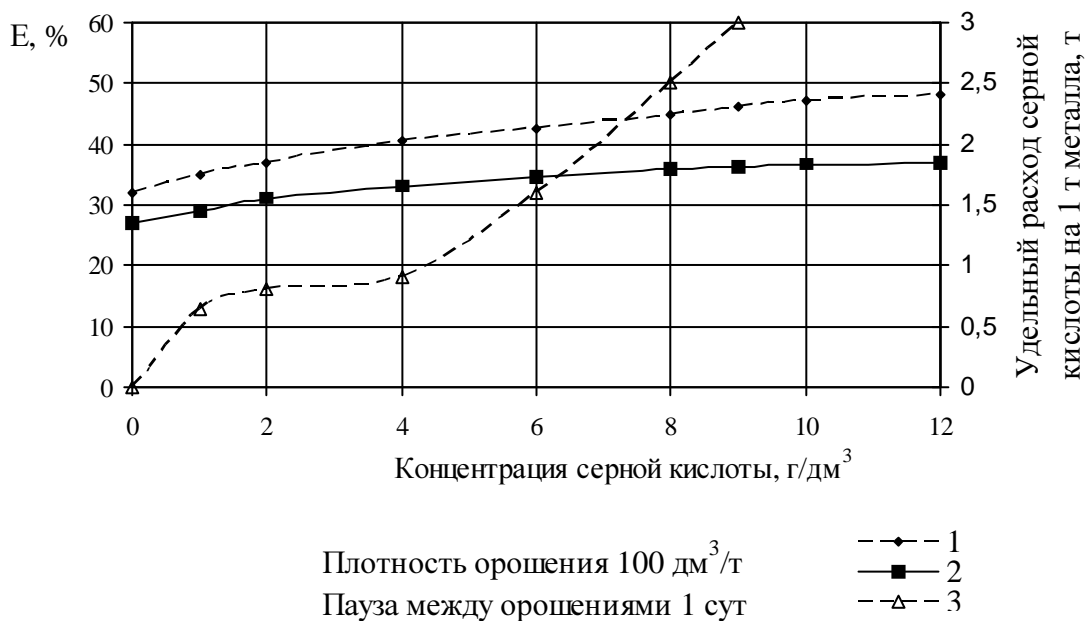


Рис. 1. Зависимость извлечения меди (1) и цинка (2) и удельного расхода серной кислоты (3) из забалансовой руды Лёвихинского месторождения крупностью – 10 мм от концентрации серной кислоты на 40-е сутки выщелачивания

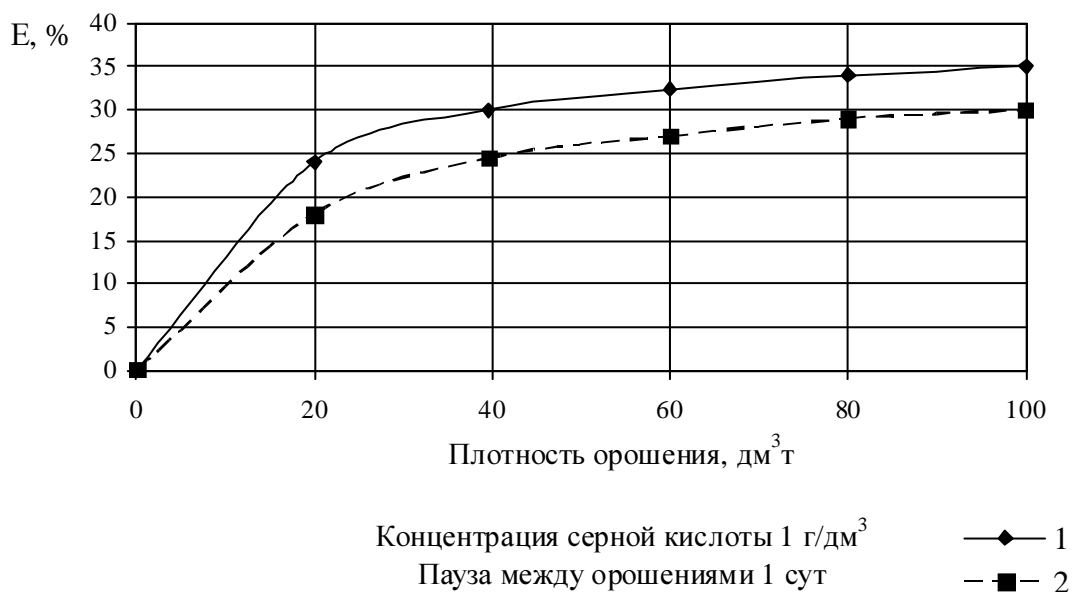


Рис. 2. Зависимость извлечения меди (1) и цинка (2) от плотности орошения на 40-е сутки выщелачивания пробы забалансовой руды Лёвихинского рудника

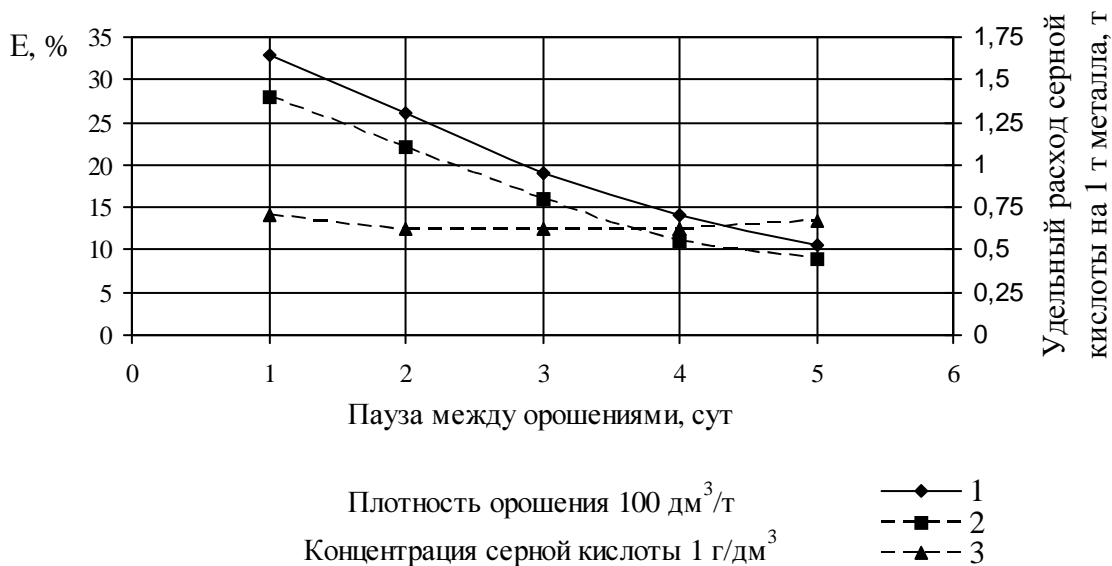


Рис. 3. Зависимость извлечения меди (1) и цинка (2) и удельного расхода серной кислоты (3) на 40-е сутки выщелачивания пробы забалансовой руды Лёвихинского месторождения от паузы между орошениями

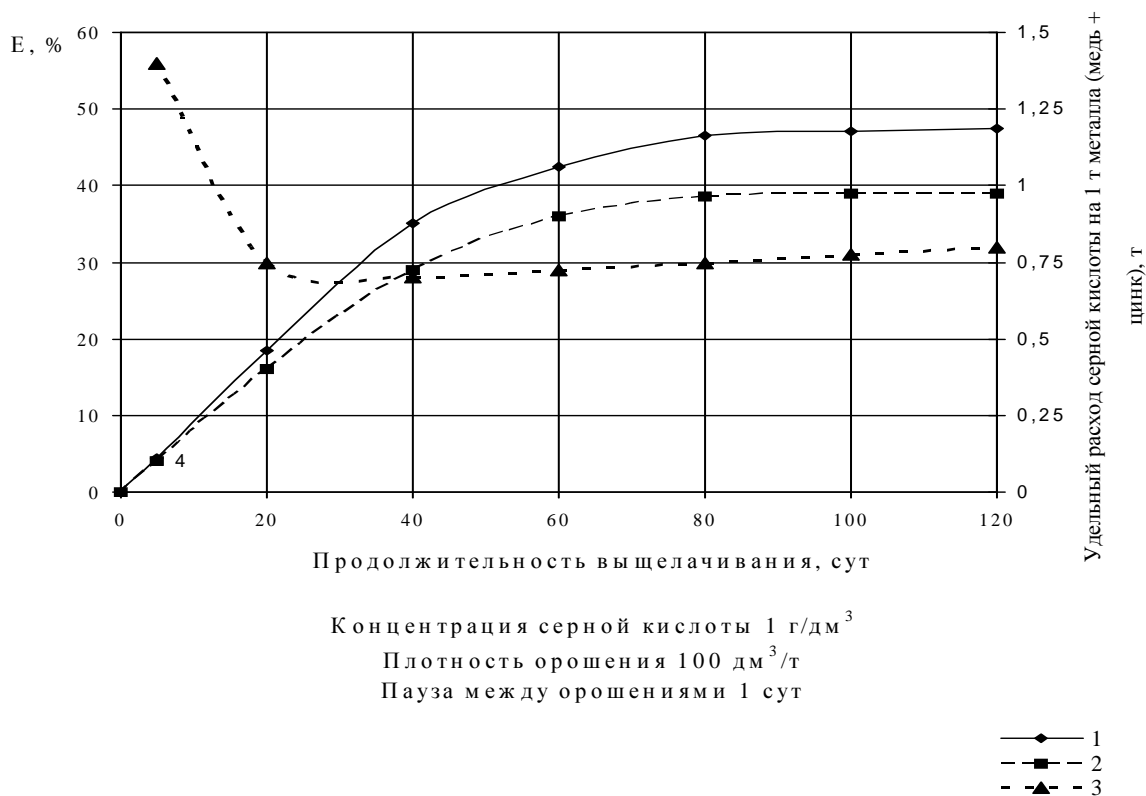


Рис. 4. Зависимость извлечения меди (1), цинка (2) и удельного расхода серной кислоты (3) от продолжительности выщелачивания пробы забалансовой руды Лёвихинского месторождения крупностью –10 мм

После ряда упрощений для определения извлечения металла из руд и пород Лёвихинского месторождения выведены функции:

$$E_{Cu}(C, \rho, \tau) = 1,2946C + 0,1492\rho + 1,3547\tau^2 - 16,485\tau + 45,586 \quad (2)$$

$$E_{Zn}(C, \rho, \tau) = 0,7857C + 0,1625\rho + 0,6643\tau^2 - 8,8957\tau + 28,31 \quad (3)$$

где:  $C$  – исходная концентрация выщелачивающего реагента (серной кислоты) в растворе, г/л;  $\rho$  – плотность орошения пробы раствором, л/т;  $\tau$  – пауза между орошениями, сут;  $E_{Cu}$  и  $E_{Zn}$  – извлечение меди и цинка (в процентах), которые можно рассчитать по формуле (4) :

$$E = \frac{V \cdot C_p}{m \cdot C_M} \times 100 \quad (4)$$

где:  $V$  – объем продуктивного раствора, л;  $C_p$  – концентрация извлекаемого металла в продуктивном растворе, г/л ;  $C_M$  – исходное содержание извлекаемого металла в руде, % ;  $m$  – масса породы в перколяторе, кг.

Величина извлечения металла, рассчитанная по формулам 2 и 3, действительна при выщелачивании обломков со средним диаметром ( $d$ ) 10 мм в лабораторных условиях. Предполагается, что зависимости, полученные для руд и пород Лёвихинского месторождения, будут справедливы и для других медно-цинковых месторождений.

Интенсивность выщелачивания металла в лабораторных условиях и в отвале отличаются из-за того, что в отвале и пробе различны: удельная поверхность контакта, время взаимодействия раствора и породы, а также температура и давление, при которых происходят химические реакции перехода металла в раствор. Кроме того, в отвале минералы распределены неравномерно. На данном этапе не ставилась задача учесть все эти факторы.

Для прогнозирования стока достаточно определить влияние поверхности контакта и времени взаимодействия раствора и породы на извлечение металла.

В результате исследований [5] была выведена зависимость, учитывающая изменение извлечения металла в зависимости от размеров обломков:

$$\frac{E_1}{t_1} = \frac{E_2}{t_2} \frac{\frac{\ln D_2/D_1}{D_2 - D_1}}{\frac{\ln D_6/D_5}{D_6 - D_5}} \quad (5)$$

где:  $E_1$  – извлечение металла из породы в отвале;  $E_2$  – извлечение металла из лабораторной пробы;  $t_1$  – время выщелачивания металла в отвале;  $t_2$  – время выщелачивания металла в лабораторных условиях;  $D_1$ ;  $D_2$  – наименьший и наибольший диаметр обломков, складированных в отвале;  $D_5$ ;  $D_6$  – наименьший и наибольший диаметры частиц породы лабораторной пробы.

Рассчитав извлечение металла из лабораторной пробы, можно определить извлечение металла из отвала, используя зависимость (5).

Концентрацию выщелачиваемого металла в стоке из-под отвала можно рассчитать по формуле:

$$C_{p2} = \frac{E \cdot M_{\text{отв}} \cdot C_M}{V \cdot 100} \quad (6)$$

где:  $C_{p2}$  – концентрация извлекаемого металла в стоке из-под отвала, г/л ;  $V$  – объем продуктивного раствора, л;  $C_M$  – исходное содержание извлекаемого металла в руде, % ;  $M_{\text{отв}}$  – масса породы в отвале, кг;  $E$  – извлечение металла в отвале, % (рассчитывается по формуле (5)).

### **Заключение**

Таким образом, рассчитав приблизительное содержание загрязнителя в стоке из-под отвала, можно в дальнейшем, с помощью гидродинамических расчетов, выявить количество поступающего в водный объект металла-загрязнителя. На основании полученных результатов расчета можно будет 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. Адлер Ю. П. Введение в планирование эксперимента. – М.: Metallurgy, 1969. – 297 с.
2. Павличенко Г. А., Рогов Б. М., Пирмагомедов Д. А. Возможности геотехнологии в переработке медьсодержащих окисленных руд // Цветные металлы. – 1992. – № 4. – С. 17-20.
3. Рыбаков Ю. С. Защита водных объектов от загрязнения стоком, сформированным на водосборной территории техногенных провинций // Эколого-водохозяйственный вестник. – 2002. – Вып. 6. – С. 105-115.
4. Рыбаков Ю. С., Рыбаков А. Ю. Рудный техногенез и качество пищевых продуктов // Современное хлебопекарное производство, перспективы его развития: сб. ст. седьмой межрегион. научно-практической конференции. – Екатеринбург, 2006. – С. 70-74.
5. 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.
6. Рыбаков Ю. С., Федоров М. В., Рыбаков А. Ю. Геотехнологический метод химической рекультивации отвалов свинцово-цинковых руд и пород // Известия УрГЭУ. – 2010. – № 2. – С.168-174.



7. Рыбаков Ю. С., Федоров М. В., Рыбаков А. Ю. Технико-экономическая оценка химической рекультивации техногенных образований цветной металлургии // Известия УрГЭУ. – 2007. – № 1. – С. 61-67.
8. Савич А. М. К вопросу о классификации вскрышных пород для биологической рекультивации // Проблемы рекультивации в СССР. – Новосибирск: Наука, 1974. – С. 124-130.
9. Халезов Б. Д., Неживых В. А., Рыбаков Ю. С., Павличенко Г. А. Кучное выщелачивание полиметаллических руд // Комплексное использование минерального сырья. – 1984. – № 9. – С. 47–48.

**Рецензенты:**

Семячков Александр Иванович, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой геоэкологии ФГБОУ ВПО «Уральский государственный горный университет», г. Екатеринбург.

Асонов Александр Михайлович, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры техносферной безопасности ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения», г. Екатеринбург.