

УДК 622.775

М.В. Рыльникова, Д.Н. Радченко, Г.А. Матюшенко

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ
МЕТАЛЛОВ ИЗ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ
ПРОДУКТИВНЫХ РАСТВОРОВ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ
ОТХОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ МЕДНО-КОЛЧЕДАНЫХ РУД**

Исследован процесс сорбции методом сравнительного анализа сорбционной способности различных смол по отношению к исследуемым элементам.

Ключевые слова: извлечение металлов, медно-колчеданные руды, обогащение руд, сорбция.

Семинар № 17

**M.V. Rilnikova, D.N. Radchenko,
G.A. Matyushenko**
**THE STUDY ON THE
TECHNOLOGY OF METAL
EXTRACTION FROM
MULTICOMPONENT PREGNANT
SOLUTION RECEIVED FROM
LEACHING REFINEMENT OF COPPER-
SULPHIDE ORE REJECTS**

The sorption process using the method of comparative analysis of sorption capacity of different kinds of gum to the examined elements is reviewed.

Key words: of metal extraction, copper-sulphide ore rejects, sorption.

Продуктивные растворы выщелачивания отходов обогащения медно-колчеданных руд являются многокомпонентными и содержат широкий спектр цветных и благородных металлов. Процесс сорбции элементов, присутствующих в продуктивных растворах выщелачивания на ионообменных смолах был исследован для следующих групп: неметаллы, редкоземельные металлы, благородные металлы, группа железа, прочие металлы.

Методика исследований сорбции элементов ионообменными смолами предусматривала использование стандартных государственных образцов

(ГСО) растворов металлов, исходное содержание исследуемых элементов в тестируемых растворах находилось в пределах 9-20 мг/дм³ (табл. 1), время сорбции составляло 30 минут, эффективность сорбции оценивалась по конечной концентрации металлов в растворе, получаемом после сорбции.

В эксперименте были использованы ионообменные смолы, отобранные на основе анализа опыта переработки продуктивных растворов – аниониты АМп, АМП, АМ-2Б и АМ-17-8 и катионит КУ-2-8.

Методика изучения процессов сорбции предполагала сравнительный анализ сорбционной способности различных смол по отношению к исследуемым элементам.

Установлено, что сорбционные свойства анионитов АМп и АМП достаточно близки по отношению ко всем элементам (рис. 1). Отличия состоят лишь в несколько большей степени концентрирования теллура и германия смолой АМП. Этот ионит отличается также меньшей сорбционной способностью по отношению к цинку. Анионит АМп сорбирует в 2 раза больше европия, чем АМП за равный промежуток времени. Этим определяется основное

преимущество смолы АМп. Сходные характеристики ионитов АМп и АМП,

Содержания исследуемых элементов в исходных и маточных (после сорбции) растворах за 30 минут, мг/дм³

Элементы	Исходный раствор	Маточные растворы сорбции на ионообменных смолах			
		АМп	АМП	АВ-17-8	АМ-2Б
	10,04	0,26	0,29	0	0
Теллур (Te)	9,87	8,21	6,2	6,24	0,55
Палладий (Pd)	10,15	0,27	0,27	0,04	0,19
Платина (Pt)	10,04	0,09	0,11	0,08	0,05
Таллий (Tl)	10,71	7,85	7,86	1,41	1,13
Европий (Eu)	10,18	0,52	0,46	0,38	0,67
Германий (Ge)	10,03	1,38	1,42	8,63	7,44
Селен (Se)	10,01	8,15	5,8	6,43	0,58
Серебро (Ag)	9,5	0,04	0,24	0,07	1,31
Кадмий (Cd)	8,64	0,003	0,11	0	3,36
Кобальт (Co)	8,15	7,33	7,52	7,68	7,28
Медь (Cu)	11,3	10,9	11,3	11,3	5,77
Железо (Fe)	9,67	9,67	9,67	9,54	4,59
Магний (Mg)	17,2	17,2	17,2	17,2	17,92
Стронций (Sr)	9,66	8,51	9,04	9,14	8,63
Цинк (Zn)	12,41	1,54	3,48	0,35	9,85

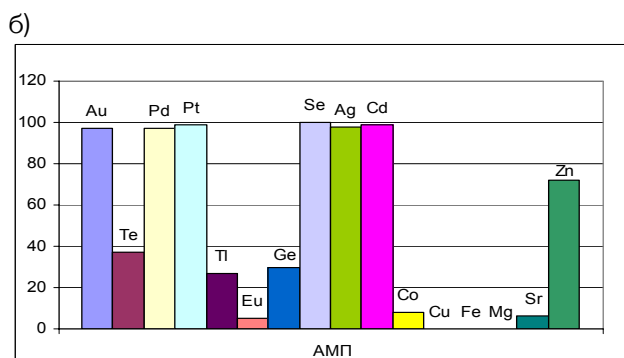
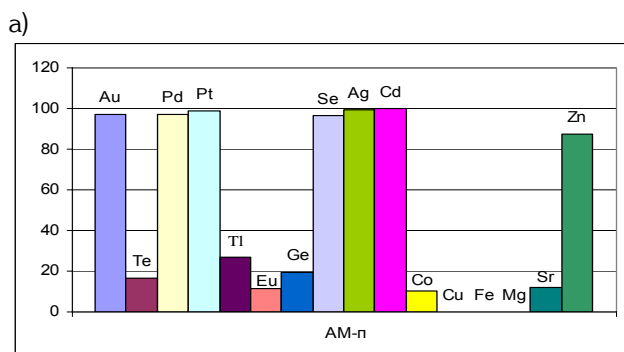


Рис. 1. Сравнительная характеристика сорбционной способности анионитов АМп (а) и АМП (б)

обуславливают: выбор наиболее целесообразного в промышленном использовании смолы следует осуществлять на основании технико-экономического сравнения, с учетом физико-механических свойств, способности к регенерации и срока службы.

Анионит АМ-2Б показал высокую сорбционную способность по отношению к благородным металлам и селену (рис. 2), а также к меди и железу. С учетом этого при сорбции микроэлементов из комплексных продуктивных растворов выщелачивания необходимо выби-

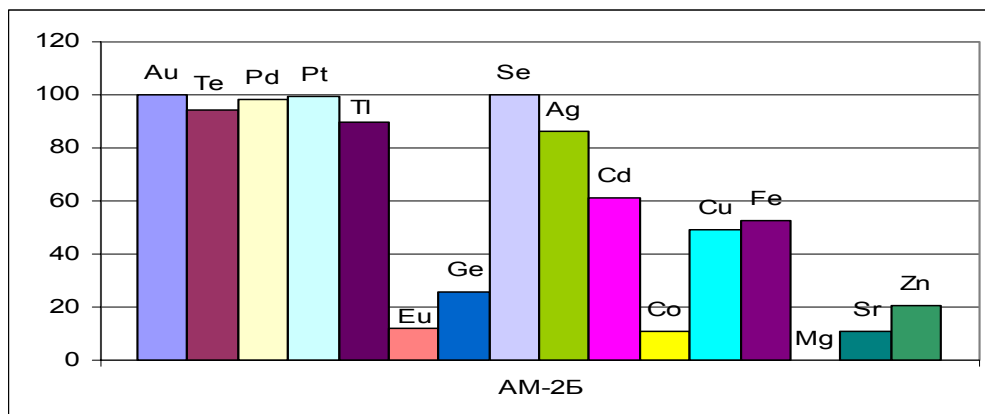


Рис. 2. Характеристика сорбционной способности анионита AM-2Б

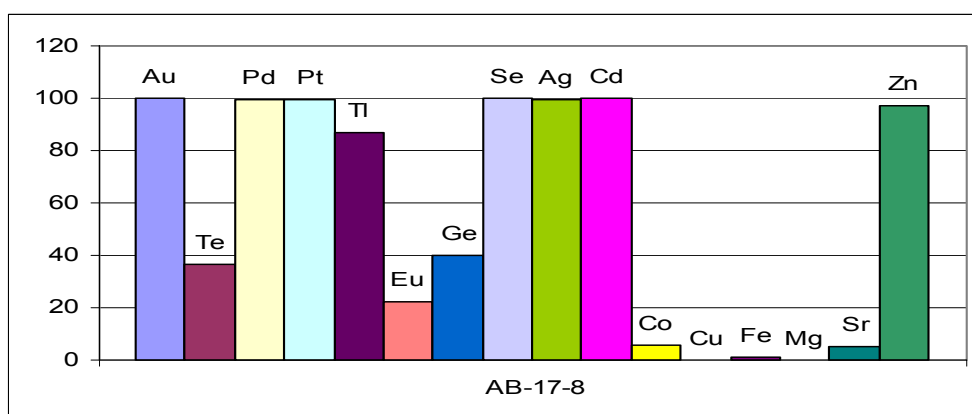


Рис. 3. Характеристика сорбционной способности анионита АВ-17-8

рать режимы извлечения металлов, при которых не будет сказываться негативное влияние макрокомпонентов.

В отличие от ионита AM-2Б, смола АВ-17-8 не обладает сорбционной способностью по отношению к основным макроэлементам (рис. 3) - железу и меди, а также кобальту и магнию и характеризуется высоким уровнем извлечения благородных металлов, таллия, германия, селена, кадмия. Однако на эту смолу также хорошо сорбируется цинк, поэтому для повышения продуктивности использования сорбционной емкости смолы АВ-17-8 не-

обходимо предварительно выделять цинк из растворов.

После насыщения ионообменных смол (достижения предельного значения статической обменной емкости), производят удаление сорбированного металла или группы металлов из ионита. Это осуществляют посредством десорбции с применением концентрированных серно-кислых растворов, серно-кислотно-нитратных хлоридных, а также других кислот (соляной, азотной).

Проведенный анализ закономерностей сорбции элементов, входящих в состав продуктивных растворов серно-

кислотного выщелачивания текущих и старогонных хвостов обогащения руд, позволил сделать следующие выводы:

1. На примере извлечения из сернокислых растворов европия показано, что наилучшей сорбционной способностью по отношению к лантаноидам характеризуется анионит АВ-17-8.

2. Характеристика сорбционной способности исследуемых смол по отношению к неметаллам – селену, теллуру и германию неодинакова. Для извлечения из растворов и концентрирования каждого из этих элементов требуется разработка стадийных режимов сорбции. С учетом отсутствия в России сырьевой базы этих элементов, достаточно высоких их содержаний в медно-колчеданных рудах и отходах их переработки, возможности извлечения их при сернокислотном выщелачивании, внедрение технологии переработки хвостов обогащения весьма перспективно.

3. Извлечение золота, платины, палладия и серебра весьма эффективно на всех видах смол.

4. Анионит АМ-2Б обладает наибольшей сорбционной способностью по отношению к ионам черных металлов – железу и кобальту. Учитывая их высокие содержания в продуктивных растворах выщелачивания, перед сорбционным извлечением микроэлементов на эту смолу, из растворов должны быть предварительно выделены ионы железа.

5. В целом, анализ закономерностей сорбции таких макрокомпонентов, как железа и меди показал, что все аниониты, кроме АМ-2Б, не обладают по отношению к этим элементам сорбционной способностью (за период сорбции 30 мин.), поэтому переработка многокомпонентных растворов выщелачивания может осуществляться и в их присутствии.

6. Выбор наиболее целесообразной в промышленном использовании смолы АМп или АМП следует осуществлять на основании экономического

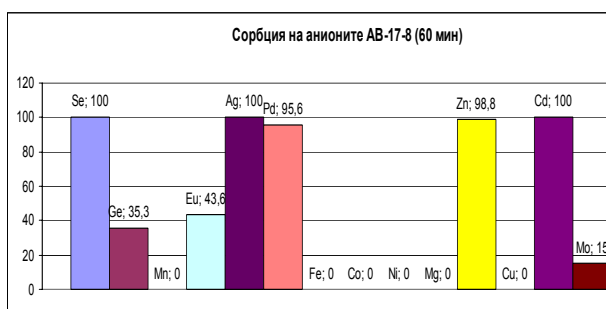
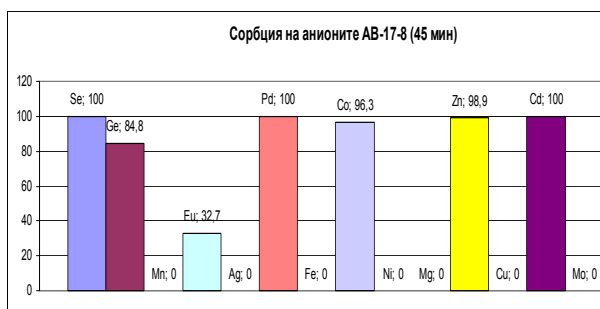
сравнения с учетом физико-механических свойств, способности к регенерации и срока службы, так как сорбционные характеристики этих анионитов весьма схожи.

7. Наиболее целесообразным для извлечения благородных металлов, таллия, германия, селена, кадмия является анионит АВ-17-8. Кроме этого, этот анионит практически не сорбирует ионы и соединения железа и меди, а также кобальта и магния.

На базе выполненных «эталонных» экспериментов были проведены исследования закономерностей сорбционно-го извлечения металлов из продуктивных растворов выщелачивания текущих хвостов обогащения БОФ. Исследования технологии сорбции полиметаллов на ионообменной смоле – анионите АВ-17-8, характеризующейся весьма высокой селективностью сорбции таких элементов, как селен, германий, европий, серебро, палладий, цинк, кадмий производились в опытной колонне, объемом 150 см³ в противоточном режиме. При достижении требуемых для сорбционного передела концентраций благородных и редких металлов, рассеянных элементов в продуктивном растворе, он поступал в экспериментальную сорбционную колонку для их извлечения.

Данные сорбции, полученные при испытании анионита в лабораторной сорбционной установке в режиме перемешивания, приведены на рис. 4.

Анализ данных, приведенных на рис. 4 свидетельствует, что в результате стадийной противоточной сорбции на анионите АВ-17-8 возможно за 45 минут пребывания продуктивного раствора в сорбционной колонне извлечение на смолу селена, палладия, кобальта, цинка и кадмия на уровне 100 %, германия на 84,8 %, европия – 32,7 %. Увеличение уровня сорбционного извлечения европия достигается путем увеличения времени контакта раствора со смолой и может быть реализовано в отдельных циклах (рис. 4).



Процесс десорбции элементов с насыщенного анионита исследовался по следующей методике. В экспериментальную сорбционную колонну с анионитом АВ-17-8 в прямоточном режиме промывки подавались растворы серной кислоты концентрацией 5, 10, 15, 20, 25 и 30 %. Затем, методом атомно-эмиссионной спектроскопии оценивалось содержание в элюате исследуемых элементов.

Установлено, что при использовании в качестве десорбирующего раствора серной кислоты концентрации 5 % при линейной скорости подачи не более 5 м/ч происходит селективная десорбция германия, серебра и кобальта с насыщенного анионита. Эффективность десорбции этих элементов составляет 94-100 % (рис. 5). В результате был получен элюат с содержанием этих элементов в 7 раз превышающий содержание их в исходном продуктивном растворе и не содержащий иных примесей.

При повышении концентрации серной кислоты в растворе десорбента до

Рис. 4. Эффективность сорбции элементов за время контакта с анионитом АВ-17-8 из многокомпонентных растворов выщелачивания текущих хвостов обогащения БОФ

15 % с эффективностью 100 % был десорбирован европий, а при концентрации 30 % - селен (рис. 6).

Таким образом, в результате переработки продуктивных растворов методом сорбции на анионите АВ-17-8 с последующей десорбцией были получены жидкие коллективные концентраты: германия, серебра и кобальта; европия;

селена. Содержание в элюате германия составило 1,5 мг/дм³, серебра – 5,24 мг/дм³, кобальта 6,45 мг/дм³, европия 0,5 мг/дм³, селена 11,73 мг/дм³.

Регенерация анионита производилась 2-4 % раствором гидроксида натрия при линейной скорости потока 7 м/ч, промывка – при той же скорости свежей технической водой.

Исследование извлекаемой ценности сырья техногенных месторождений, представленных отходами переработки медно-колчеданных руд

Исследованиями выщелачиваемости металлов из текущих отходов обогащения Бурибаевского ГОКа было показано, что в продуктивные растворы переходит широкий спектр ценных компонентов – цветные, благородные, редкие металлы, рассеянные элементы. В результате переработки продуктивных растворов с использованием анионита АВ-17-8 получены богатые элюаты европия, серебра, селена, кобальта и германия. Макрокомпоненты – медь,

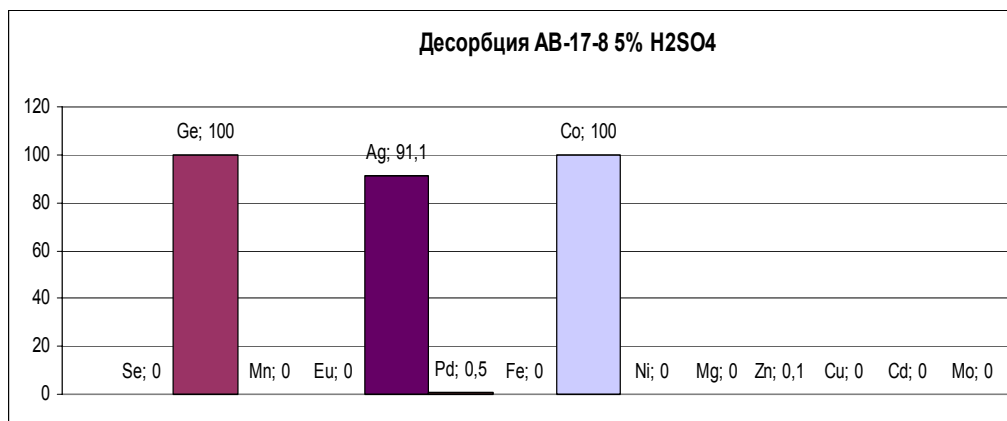


Рис. 5. Эффективность десорбции германия, серебра и кобальта при линейной скорости промывного потока 5 м/ч

железо, цинк, кадмий, марганец, которые не сорбируются данным анионитом, могут быть извлечены в отдельных циклах известными осадительными методами и цементацией. Необходимо отметить, что использование в цикле переработки продуктивных растворов

не только анионита АВ-17-8, но и других ионообменных смол позволяет извлекать из продуктивных растворов выщелачивания все основные промышленно-значимые ценные компоненты при дополнительном обосновании режимов и параметров сорбционной технологии.

Для условий переработки годового объема текущих хвостов Бурибаевского ГО-Ка - 200 тыс. т, была рассчитана извлекаемая ценность элементов. В основу расчетов были заложены данные экспериментальных исследований качественного состава растворов выщелачивания и стоимость каждого элемента на лондонской бирже металлов (рис. 7). Общая сумма извлекаемой ценности элементов в продуктивный раствор выщелачивания за год составит 17468,37 тыс. долл.

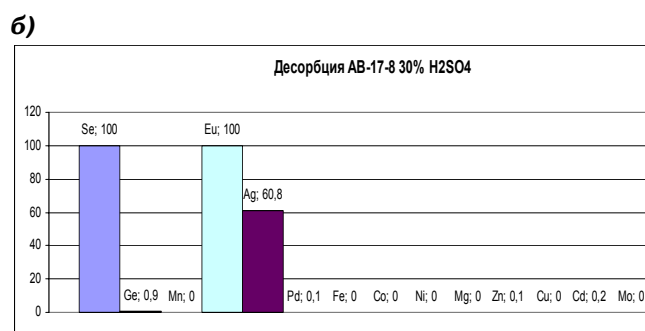
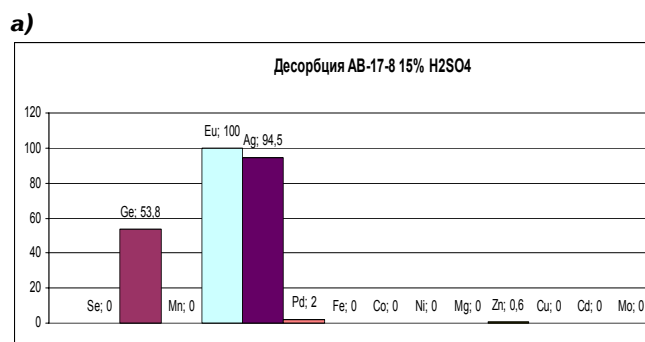


Рис. 6. Эффективность десорбции европия и селена при линейной скорости потока 7 м/ч

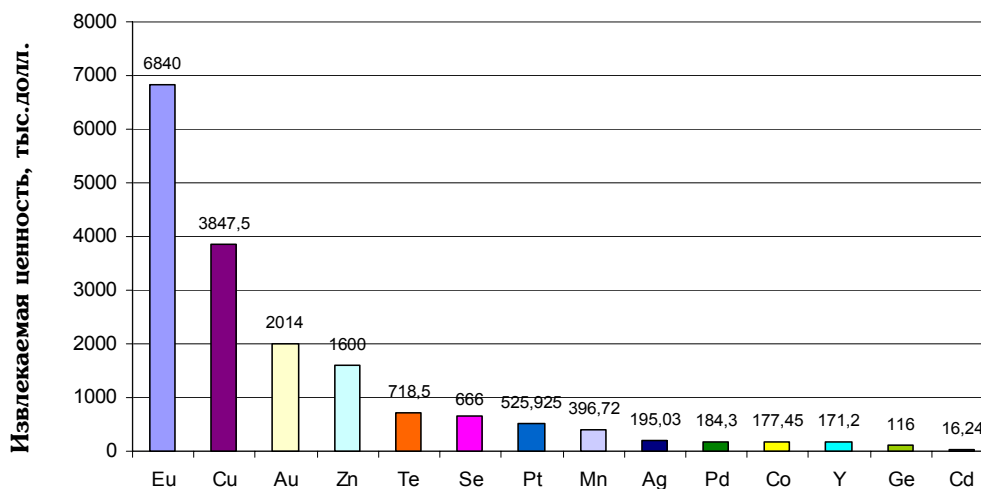


Рис. 7. Извлекаемая ценность элементов, содержащихся в годовом объеме переработки текущих хвостов обогащения

Анализ данных, свидетельствует, что наибольшая извлекаемая ценность в текущих хвостах обогащения Бурибаевского ГОКа приходится на долю редкоземельного европия. Несмотря на его малое содержание в продуктивных растворах выщелачивания, стоимость в годовом объеме переработки хвостов составляет 6 840 тыс. долл.

Необходимо отметить, что в физико-химической геотехнологии, наряду с извлекаемой ценностью элементов, содержащихся в исходном сырье имеет значение их ценность в продуктивных растворах выщелачивания, которая определяет целесообразность переработки продуктивных растворов с извлечением того или иного компонента.

Высокая товарная ценность и стратегическое значение металлов, извлекаемых методами физико-химической геотехнологии, реальная возможность получения их концентратов с использованием сорбционных методов, дефицит данных металлов на мировом рынке сырья обуславливают актуальность вовлечения отходов переработки медноколчеданных руд в промышленную эксплуатацию путем селективной разра-

ботки существующих техногенных месторождений, целенаправленного формирования техногенных массивов из текущих отходов и выщелачивания ценных компонентов.

Выводы

1. Формирование техногенных массивов с заданными для выщелачивания фильтрационными характеристиками обеспечивается низкотемпературным окомкованием текущих отходов обогащения с использованием в качестве вяжущего медного шлака и извести в процентном соотношении по массе 90:5:5.

2. В низко концентрированных растворах серной кислоты (2%) из старогодних хвостов обогащения достаточно интенсивно выщелачивается большинство элементов, содержащихся в лежалых отходах обогащения медноколчеданных руд. Оптимальное время орошения окомкованных старогодних хвостов в режиме циркуляции составляет 40 суток, так как за этот период достигается пороговая предельная концентрация ионов макроэлементов в растворе, при достижении которой необходимо проводить их извлечение из

продуктивных растворов с регенерацией последних.

3. Переработку продуктивных растворов следует производить при достижении в них концентраций: меди - 500 мг/дм³ с ее первоочередным выделением, и последующим сорбционным концентрированием на анионите АВ-17-8 микроэлементов, десорбция которых 5 %-ным раствором серной кислоты позволяет получить коллективный концентрат германия, серебра и кобальта, 15 %-ным раствором селективно выделить европий, а 30 %-ным - селен. Степень концентрации металлов в растворе при этом увеличивается в 7-9 раз.

4. Высокая товарная ценность и стратегическое значение вышеперечисленных элементов, извлекаемых методами физико-химической геотехнологии, реальная возможность получения их концентратов с использованием сорбционных методов, дефицит

на мировом рынке сырья обуславливают актуальность вовлечения отходов переработки медно-колчеданных руд в промышленную эксплуатацию путем селективной разработки существующих техногенных месторождений, целенаправленного формирования техногенных массивов из текущих отходов и выщелачивания ценных компонентов.

5. Обоснование и выбор рациональной технологической схемы освоения техногенных массивов следует производить в соответствии с разработанным алгоритмом выбора способа формирования и комплексного освоения техногенных месторождений, представленных отходами переработки полиметаллических руд основанным на учете первичного способа освоения природных месторождений и переработки руд, вида техногенных отходов и формы сформированного в ходе горных работ выемочного пространства. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Рыльникова М.В. – профессор, доктор технических наук,

Радченко Д.Н. – кандидат технических наук,

ИПКОН РАН, info@ipkonran.ru

Матюшенко Г.А. – ГОУ ВПО «МГТУ им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, mgtu@magtu.ru



РУКОПИСИ,

ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Пироженко В.А. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВЫХ АЛГОРИТМОВ ПРИ ИНТЕРПРЕТАЦИИ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ (699/07-09 от 16.04.09) 13 с.

Рассмотрены теоретические основы построения нейросетевых алгоритмов, приводятся предпосылки их применения при создании программных средств интерпретации геолого-геофизических данных, кратко описываются эксперименты в указанном направлении.

Ключевые слова: нейрон, нейронная сеть, фашиальный анализ, геологическая информация, геофизические данные.

Pirojenko V.A.

Theoretical base of neural network algorithms building is reviewed, prerequisites for using such algorithms in software for interpretation of geological and geophysical information are enumerated, experiments are outlined.

Key words: neuron, neural network, facies analysis, geological information, geophysical data.