

УДК 592.66

А.Б. Бекназарова, Н.Р. Мажренова

**Перспективность использования метода электронно-лучевой обработки для решения экологических задач в области обогащения рудного сырья**

Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы

**Аннотация.** Применение радиационных процессов открывает принципиально новые возможности для реализации производственных процессов комплексной переработки минерального сырья, в которых основным технологическим фактором является энергия ионизирующего излучения. Электронно-лучевые методы очистки являются экологически чистыми, обладают высокой эффективностью и широким диапазоном действия.

*Ключевые слова:* электронно-лучевой метод, рудоподготовка, обогащение.

Электронно-лучевым технологиям, основанным на переносе энергии к обрабатываемому веществу с помощью гамма-квантов и электронов высокой энергии (до 10 МэВ), генерируемых ускорителями заряженных частиц присуща высокая чистота во всех отношениях и безопасность производства. В настоящее время электронные ускорители успешно применяются в мировой практике благодаря высокому КПД использования энергии потока частиц (98%) и высокому КПД преобразования электрической энергии (80%) в энергию пучка. Разработки новых способов разделения минеральных комплексов в условиях резкого обеднения минерально-сырьевой базы, характеризующейся, прежде всего, сложным вещественным составом руд, низким содержанием, тонкой вкрапленностью и низкой контрастностью физико-химических и технологических свойств разделяемых компонентов остается актуальной проблемой в настоящее время. Практика переработки таких руд позволяет говорить об экологической нецелесообразности применения традиционных технологий. В связи с этим стоит задача разработки новых процессов и методов, которые могли бы обеспечить эффективную комплексную переработку минерального сырья [1-3]. В связи с вовлечением в переработку труднообогатимых руд сложного вещественного состава, требующих

повышенного расхода электроэнергии на измельчение, раскрытия «сростков» минералов, увеличения ассортимента реагентов, снижения их расходов при флотации (большинство из которых обладает токсичными свойствами) перед технологами-обогащателями стоит задача изыскания принципиально новых методов повышения эффективности процессов обогащения, при этом обеспечивающих экологическую безопасность среды. Чрезвычайно важной в настоящее время для всего человечества остается утилизация промышленных отходов.

**Материалы и методы исследований**

В данной статье приведены основные результаты по изучению перспективы использования электронно-лучевой обработки в процессах рудоподготовки, обогащения минерального сырья и для очистки промышленных отходов.

Золото-баритовая руда месторождения «Са-лаир» крупностью – 2 мм облучалась ускоренными электронами на ускорителе ИЛУ-6. Облучение проводилось в широком интервале доз (от 0,05-10 Мрад) и мощностей доз, а также исследовалась зависимость флотационных параметров от времени после облучения до начала флотации. Эксперименты по флотации проводились по схеме, принятой на золотоискательной

фабрике, которая включает: две основные флотации золота, куда подается собиратель – бутиловый ксантогенат, суммарным расходом 145 г/т, вспениватель – Д-3 – расходом 50 г/т и на вторую флотацию. В качестве активатора подается сульфат меди – 20 г/т. После трехкратной отмывки илов проводится две основные баритовые флотации с добавкой пасты ДНС – суммарным расходом – 200 г/т и на первую основную баритовую флотацию подается жидкое стекло в качестве депрессора пустой породы расходом 350 г/т. Затем, после объединения продуктов баритовых флотаций, проводилась их перемешка. При этом получались два кондиционных концентрата: золото-серебро содержащий и баритовый.

В лабораторных открытых опытах определялись оптимальные параметры облучения и оптимальное время измельчения.

Для проверки достоверности полученных результатов были проведены укрупненные лабораторные испытания предфлотационного облучения золото-баритовой руды Салаирского месторождения в замкнутом цикле.

Особенности воздействия ионизирующего излучения с веществом позволяют создавать гибкие технологические схемы не только с целью получения ценных продуктов, но и способствуют решению некоторых экологических задач, таких, как очистка газов от соединений серы и азота, сточных вод.

Радиационная очистка газов заключается в радиационно-химическом доокислении соединений серы и азота с последующим получением кислот. В предлагаемом способе  $\text{NO}_x$  и  $\text{SO}_2$  могут быть отделены в ходе одного процесса. Отходящие газы, содержащие газообразные  $\text{NO}_x$  и  $\text{SO}_2$  и образующиеся в результате предыдущих технологических переделов при взаимодействии с воздухом в реакторе (печи) поступают в электрофильтр для отделения пыли. После этого поток серосодержащих газов направляют в реактор, где он облучается пучком электронов с энергией 0,2-1 МэВ.

Для обеспечения высокой эффективности процесса в реакторе поддерживают температуру 70-90°C (причем нагрев газа осуществляется тем же пучком ускоренных электронов в процессе облучения).

### Результаты исследований и обсуждение

Флотация облученной руды Салаирского месторождения показала:

1. Предварительное облучение активизирует процесс извлечения минералов при флотации.

2. Существует зависимость флотационных свойств облученной руды от поглощенной дозы. При интегральной поглощенной дозе 0,3-0,6 Мрад и мощности дозы 0,3 Мрад/с увеличение извлечения из облученной руды составляет по серебру 5-7%, по золоту – 8-10%.

3. Облучение руд Салаирского месторождения потоком ускоренных электронов с энергией 1-8 МэВ позволяет повысить выход баритового концентрата на 3-4% при дозе 0,3-1 Мрад с одновременным улучшением качества (то есть без снижения концентрации-содержания барита в концентрате).

4. Эффект является достаточно стабильным и сохраняется не менее 3-х часов. Эксперименты по определению времени стабильности эффекта проводились с рудой облученной дозой 1,0 Мрад.

5. Повышение извлечения ценных компонентов из облученной руды отмечается также при предварительной радиационной обработке руды гамма-квантами с энергией 1,25 МэВ.

Проведенные исследования по влиянию ионизирующего излучения на различные классы флотационных реагентов также подтвердили факт повышения их активности после облучения.

Дальнейшие исследования показали, что изменяя с помощью радиационной обработки электрические и магнитные свойства железосодержащих руд, удастся повысить извлечение магнитных фракций в процессе магнитной сепарации.

Применение пучка ускоренных электронов в пирометаллургических процессах приводит к возможности снижения температуры процессов термического разложения возгонки отдельных сульфидов цветных металлов, повышению скорости термических процессов.

В результате радиационно-химических процессов образуются возбужденные комплексы, радикалы и ионы. Последние приводят в действие реакционные цепи, которые переводят токсичные соединения  $\text{NO}_x$  и  $\text{SO}_2$  в соединения с более высокой степенью окисления. В присутствии воды, поступающей из распылительного холодильника образуются серная и азотная кислоты, а также промежуточные продукты.

Для нейтрализации кислот используют аммиак. В результате нейтрализации получают

соли аммония, главным образом, серно- и азотнокислые. Последние представляют собой главный компонент азотных удобрений и могут широко применяться в сельском хозяйстве.

Радиационные методы очистки сточных вод позволяют одновременно производить очистку от различных примесей, как органических, так и неорганических, и дезинфекцию воды. На ускорителе электронов ЭЛУ-4 потоками ускоренных электронов с энергией 4 МэВ и тормозного гамма-излучения с энергией около 2 МэВ были подвергнуты радиационной обработке пробы сточных вод в количестве 2 литра.

Анализ состава сточных вод проводился до и после облучения химическими методами и с помощью рентгено-флюоресцентного метода. Хи-

мический анализ применялся для определения рН, количества взвешенных частиц, нефтепродуктов. Рентгено-флюоресцентными методами анализа измерялось содержание металлов.

В таблице 1 приведены результаты радиационной обработки 7 проб сточных вод различного исходного состава. Из приведенных данных видно, что после облучения увеличивается количество взвешенных веществ в 2-3 раза, то есть элементы переходят из раствора в нерастворимые соединения, концентрация нефтепродуктов уменьшается в десятки раз. Измерения содержания металлов в сточных водах показывают, что облучение до дозы 1,5 Мрад приводит к снижению содержания кальция, железа, цинка, стронция, меди в растворе.

Таблица 1

**Концентрация элементов в образцах сточных вод различного исходного состава до и после облучения (мг/мл)**

№ пробы	Концентрация элементов и веществ в стоках до (верхняя строка) и после (нижняя строка) облучения					
	Ca	Fe	Zn	Sr	Взвешенные частицы	Нефтепродукты
Проба 1	5,0	1,4	3,5	0,4	53,6	0,42
	1,9	0,75	2,9	0,15	143,2	0,07
Проба 2	4,7	1,1	3,8	0,75	64,2	15,8
	2,3	0,5	1,5	0,65	153,6	1,2
Проба 3	3,8	1,6	2,6	1,1	69,8	2,5
	2,4	0,7	1,4	0,75	193,7	<0,1
Проба 4	5,6	0,8	2,3	5	40,5	3,5
	2,9	0,4	0,6	0,20	203,3	<0,1
Проба 5	2,5	1,3	1,6	0,24	75	200
	0,7	0,7	0,5	0,08	306,9	10,3
Проба 6	6,0	1,7	3,4	0,17	114	10,3
	1,9	1,3	2,8	0,12	369,3	1,45
Проба 7	5,8	1,43	3,7	3,8	53,2	15
	3,0	0,6	2,1	1,9	164,8	0,16

Следует отметить, что энергия излучения, используемого в очистке, недостаточна для протекания ядерных реакций. После облучения объекты не становятся радиоактивными.

В заключении можно сделать выводы о пер-

спективности использования радиационных процессов при разработке технологических схем переработки руд. Основные преимущества радиационных технологий по сравнению с традиционными: 1) экологическая чистота, 2) высокая

скорость процесса радиационной обработки, 3) простота технологического воплощения, 4) высокая экономичность, 5) полная автоматизация, 6) высокая селективность радиационного воздействия на материалы.

В радиационной технологии переработки минерального сырья и всевозможных «отходов» сейчас наметились три основных направления:

1) Радиационная технология рудоподготовки, вскрытия и обогащения;

2) Радиационная технология извлечения полезных компонентов из минерального сырья пиро-, гидро- или химико-металлургическими способами;

3) Радиационная технология утилизации жидких, твердых и газообразных «отходов» в горно-металлургическом и топливно-энергетическом комплексах.

Каждое из трех направлений отличается и техническими решениями и типами ускорителей, а также режимами радиационной обработки, видом и энергией ионизирующего излучения [4].

## Литература

1 Чантурия В.А., Филиппова И.В., Филиппов

Л.О., Рязанцева М.В., Бунин И.Ж. Влияние мощных наносекундных электромагнитных импульсов (МЭМИ) на состояние поверхности и флотационные свойства карбонатсодержащих пирита и арсенопирита // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2008. - № 5. – С. 105-118.

2 Чантурия В.А., Филиппова И.В., Филиппов Л.О., Рязанцева М.В., Бунин И.Ж. Влияние мощных наносекундных электромагнитных импульсов (МЭМИ) на состояние поверхности пирита и арсенопирита // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: Изд-во МГТУ. – 2009. - № 13. – С. 55-61.

3 Рязанцева М.В., Богачев В.И. Влияние наносекундных электромагнитных импульсов на электрофизические свойства и электродный потенциал пирита и арсенопирита. // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2009. - № 5. – С. 102-113.

4 Мажренова Н.Р., Руденко Н.В., Медеуов Ч.К., Кожаметов С.М. Основы комплексной переработки минерального сырья с использованием радиационных процессов. – Алматы: Изд-во КазГУ, 1995. – 190 с.

**Бекназарова А.Б., Мажренова Н.Р.**

**Рудалы шикізатпен байыған аймақтың экологиялық міндеттерін шешу үшін электронды-сәулемен өңдеудегі әдістерді қолдану перспективасы**

Радиациялық процестерді қолдану негізгі технологиялық факторы ионизирлеуші шағылу энергиясы болатын комплексті минералды шикізатты өңдеу өндірістік процестерін іске асырудың принципіалды жаңа мүмкіндіктерін туғызады. Электронды-сәулелі тазалау әдістері экологиялық таза, эффективтілігі жоғары, әсер ету диапазоны кең.

**Becknazarova A.B., Mazhrenova N.R.**

**Prospect of using methods of electron-beam processing in solving ecological tasks in the area of ore dressing**

Application of radiating processes opens essentially new possibilities for realization of productions of complex processing mineral raw materials in which the major technology factor is energy of ionizing radiation. The electron beam methods of purifying are ecologically clean, high efficient and have wide range of action.