

**В.А. ЧАНТУРИЯ** академик РАН,

**Г.П. ДВОЙЧЕНКОВА** канд. техн. наук

(Россия, Якутск, Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова),

**Ю.Б. СТЕГНИЦКИЙ**, канд. г-м. наук

(Россия, Мирный, Научно-исследовательский и проектный институт "Якутнипроалмаз" АК "АПРОСА"),

**О.Е. КОВАЛЬЧУК**

(Россия, АК "АПРОСА"),

**Е.Н. Чернышева**, канд. техн. наук

(Россия, Москва, Московский государственный горный университет),

**ТИМОФЕЕВ А.С.**

(Россия, Москва, Учреждение Российской академии наук Институт проблем комплексного освоения недр РАН)

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ КИНЕТИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ИОННОГО СОСТАВА ОБОРОТНЫХ ВОДНЫХ СИСТЕМ И МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СПОСОБОВ ИХ ОБЕСШЛАМЛИВАНИЯ ДЛЯ УСЛОВИЙ ПЕРЕРАБОТКИ АЛМАЗОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ**

Существующая технология обогащения кимберлитов, как правило, включает рудоподготовку с последовательным извлечением алмазов методами рентгенолюминесцентной сепарации, гравитационного обогащения, липкостной и пенной сепарации. При этом значительные колебания технологических показателей по отдельным месторождениям и даже внутри них при извлечении алмазов физико-химическими методами часто непредсказуемы и обусловлены, в основном, степенью вторичных изменений кимберлитовых пород, и как следствие адсорбцией новообразованных минеральных частиц на поверхности алмазов. Проведенными ранее исследованиями [1-4] установлено, что потери алмазов мелких классов связаны с величиной первичной природной гидрофильности кристаллов и степени их вторичной гидрофилизации в результате адсорбции на поверхности кристаллов ионных комплексов жидкой фазы пульпы (магний, кальций, железо, силикаты, карбонаты, хлориды, сульфаты и др.). Также отрицательное воздействие на эффективность процессов липкостной и пенной сепараций оказывают тонкодисперсные и коллоидные образования (шламы) в оборотных водных системах обогатительных фабрик, блокирующие активность липких поверхностей и реагентов-собирателей по отношению к алмазу.

Согласно результатам наблюдений и контрольных опробований схемы флотационного обогащения на обогатительных фабриках с момента поступления в обработку вторично измененных кимберлитов зафиксировано присутствие алмазов, поверхность которых заблокирована минеральными пленками. При этом общее извлечение алмазов класса  $-2+0,5$  мм составляет в среднем около 78% против 97-98% при обработке в аналогичных условиях алмазного сырья, кимберлитовые породы которого не затронуты процессами вторичной

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

минерализации [5].

Таким образом, одной из наиболее существенных проблем организации оборотного водоснабжения обогатительных фабрик при переработке алмазосодержащих кимберлитовых руд является резкое ухудшение характеристик осветленной минерализованной воды, связанное с увеличением объема поступающего в переработку труднообогатимого сырья с высоким содержанием вторично измененных глинистых и карбонатных минералов. Многократное использование в обороте – основная причина преобразования технологической воды в многофазную систему из микродисперсных взвешенных примесей минеральных частиц, находящихся в водно-солевом растворе. При этом оборотная вода приобретает особые свойства, зависящие как от минерального состава взвешенных частиц и химического состава растворенных солей, так и от эффективных поверхностей раздела фаз.

Наиболее явно характеристики оборотных вод ухудшаются при переработке кимберлитовых руд с широко развитой вторичной минерализацией, а также с высоким содержанием обломков осадочных пород (табл. 1 *таблица 1*). Таким образом, основная цель данной работы заключалась в исследовании основных направлений формирования минералогического состава шламов, физико-химического состояния оборотных водных систем обогатительных фабрик и разработки методики оценки технологической эффективности способов их обесшламливания.

Практически все регрессивные метасоматически – гидротермальные процессы вторичной минерализации в кимберлитах так или иначе связаны с серпентинизацией пород. Одним из важных аспектов серпентинизации кимберлитов является минералого-геохимическая направленность процесса на разных стадиях преобразования породы, оказывающая существенное влияние на формирование ионного состава жидкой фазы рудной пульпы и, соответственно, на формирование физико-химических свойств поверхности разделяемых в процессах обогащения минералов.

*Таблица 1*

Усредненный вещественный состав различных кимберлитовых руд

Наименование кимберлитовой трубки	Степень измененности	Обломки осадочных пород, содержание в объемных, %	Состав обломков осадочных пород	Вторичная минерализация, в массовых, %			Присутствие в породе минералов гидротермального генезиса
				Serp + Cat	Карбонаты без Cat	Clt + Phlog	
"Юбилейная"	выс.	до 40	Слабо-метаморфизованные глинисто-карбонатные	10-15	до 70	5	Serp, Qu, Mgt
"Зарница"	выс.	20-25		15	15	менее 5	Serp, Qu, Mgt
"Айхал"	средн.	20-40		10-20	свыше 50	до 15	Gr
"Удачная"	низк.	15-20		40-50	20	до 10	Serp, Qu, Mgt карбонаты, целестин
"Нюрбинская"	средн.	20-40		10-20	До 60	До 20	Serp, Qu, Mgt
"Архангельская"	выс.	15-20		30-40	40	До 30	Serp, Qu, Mgt
"Мир"	низк.	10		около 50	20	до 10	Pyt, Qu, карбонаты

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

где Serp – серпентин; Qu – кварц; Mgt – магнетит; Cat – кальцит; Clt – хлорит; Phlog – флогопит; Pyr – пирит; Gr – гипс.

Для изучения кинетики указанных процессов использована серия образцов кимберлитов, представляющая собой постепенный переход от исходных не затронутых серпентинизацией пород до полностью измененных вторичной минерализацией кимберлитов. В зависимости от интенсивности процесса серпентинизации, количественного соотношения различных видов серпентинов, а также сопутствующих вторичных минералов в породе выделено пять зон гидротермально-метасоматического преобразования кимберлитов. В ходе последовательной смены зон происходит изменение химического состава серпентинов, прослеженное в условиях эксперимента на примере основного минерала кимберлитов – лизардита. Определение химически чистого состава лизардита проводилось с применением диагностики рентгенодифрактометрическим методом.

Особенностью химического состава петельчатого лизардита первой зоны является унаследование исходного состава замещенного оливина. При этом магнезиальность раннего лизардита постоянно ниже (на 4-6 мол.%) в сравнении с составом сосуществующих с ним реликтов оливина. Лизардиты, образовавшиеся по крупным вкрапленникам магнезиальных оливинов, характеризуются меньшей степенью железистости, чем лизардиты из псевдоморфоз по оливину основной массы кимберлита. По мере интенсивности процесса серпентинизации (зона 2) происходит нарушение прямой связи составов между серпентином и сосуществующим оливином, а также заметное увеличение железистости лизардитов. В этом же направлении наблюдается повышение концентраций кальция и марганца в лизардитах. Наиболее высокие содержания железа характерны для лизардитов третьей зоны. Поэтому аномально железистые лизардиты были тщательно изучены для выяснения вопроса их фазовой однородности. Площадное сканирование поверхности образца в характеристических лучах  $K_{\alpha}$  показало равномерное распределение Fe, Ca, Cl в лизардитах (состав 24,4 масс.% FeO, 0,76 масс.% CaO, 0,93 масс.% Cl) третьей зоны. Корреляционный анализ содержания элементов в лизардитах трех зон свидетельствует о значимой прямой связи общего железа с кальцием и хлором. Высокая положительная корреляция устанавливается между  $FeO_{\text{общ}}$ , MnO,  $Al_2O_3$ , а также обратная связь  $Al_2O_3$ ,  $FeO_{\text{общ}}$  с  $SiO_2$ . Особенности распределения элементов в лизардитах отражают изоморфное замещение в тетраэдрических позициях кремния алюминием и железом (в виде  $Fe^{3+}$ ) и указывают на вхождение в структуру лизардитов хлора и кальция. Построенная компонентная диаграмма состава лизардитов позволяет выявить их химическую эволюцию в процессе серпентинизации кимберлитов (рис. 1). Ведущий тренд изменчивости состава лизардитов определяет постепенное возрастание железистости и концентраций MnO, CaO в серпентинах от первой к третьей зонам. Поля составов лизардитов третьей и частично второй зон, сохраняя главную тенденцию к понижению магнезиальности, приобретают новое направление в сторону увеличения  $Al_2O_3$  и, соответственно, уменьшения  $SiO_2$ .

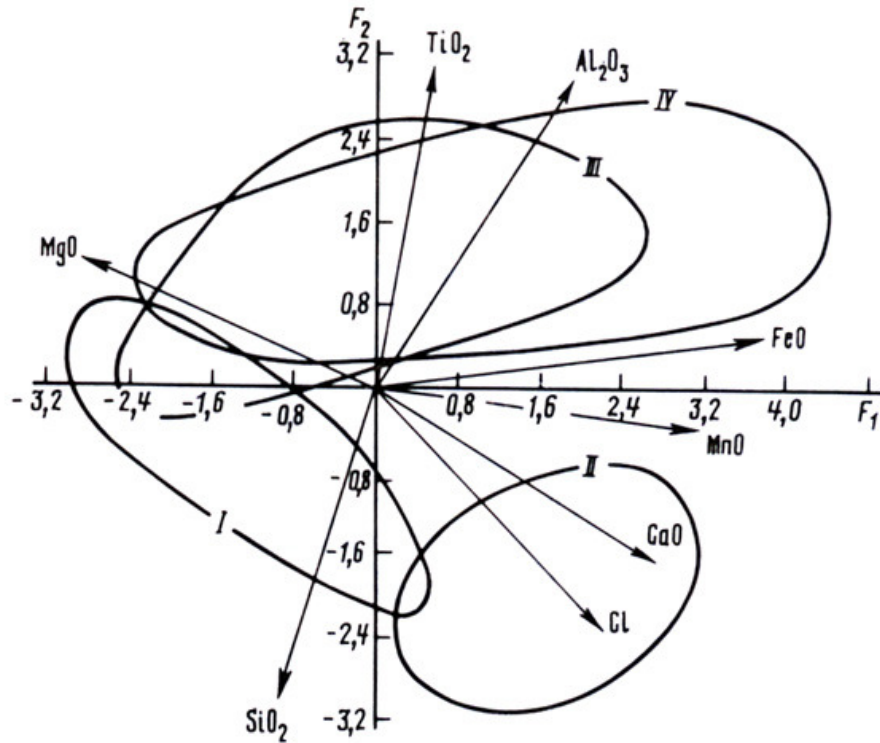


Рис. 1. Компонентная диаграмма состава лизардитов первой (поле 1), второй (поля 2, 3) и третьей (поле 4) зон. Число анализов 77

Приведенные широкие диапазоны вариаций составов, корреляционные зависимости элементов и их трендовые характеристики для лизардитов свидетельствуют об изменяющихся физико-химических условиях кристаллизации серпентинов в процессе метасоматического преобразования кимберлитов, оказывающих существенную роль на формирование ионного состава сопутствующих водных систем. Начальный этап серпентинизации кимберлитов происходит под воздействием слабокислых метеорно-гидротермальных вод, поступающих из осадочных вмещающих пород. Взаимодействие серпентинизирующих растворов, обогащенных углекислотой, хлоридами кальция, натрия, с породой ведет к замещению оливина Ca, Si-содержащим петельчатым лизардитом с одновременным выносом магния. На ранних стадиях серпентинизации оливина (зона 1) железо входит в структуру лизардита или в редком случае осаждается в форме окислов (не более 1-2%), ассоциирующих с хризотилом. По мере взаимодействия растворов с кимберлитом (зона 2) содержание магнетита увеличивается в породе за счет перекристаллизации и частичного замещения петельчатого лизардита, а также оливина хризотилом. Постоянный подток серпентинизирующих компонентов способствует полной гидратации оливина (зона 3) с образованием Ca, Si-содержащего высокожелезистого лизардита. Рост интенсивности процесса лизардитизации кимберлитов от первой к третьей зоне осуществляется параллельно с нарастающим выносом магния в раствор и соответственно резким снижением отношений  $Mg/Si$  и  $Mg/(Mg + Fe)$  в лизардитах. В результате выщелачивания кимберлитов при высокой обводненности системы происходит

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

увеличение основности раствора и повышение активности оснований Mg, Al, Fe. Уже в третьей зоне серпентинизации кимберлитов отмечается развитие магнезиального хризотила с характерной примесью алюминия по лизардиту. При этом на границе замещения хризотилом высокожелезистого лизардита в псевдоморфозах по оливину постоянно фиксируется прерывистая цепочка изометричных выделений сульфидов Ni и Fe. Появление сульфидных минералов в кимберлитах третьей зоны, а также большое количество сульфидов в целиком измененных породах четвертой и пятой зон указывают на возрастание фугитивности серы от начальных стадий серпентинизации к поздним. Массовая хризотилизация кимберлитов (4, 5 зоны) протекает с повышением химических потенциалов мало-подвижных компонентов – кремния, алюминия в условиях высокой щелочности гидротермальных растворов. Состав позднего серпентина, независимо от формы выполнения в породе (псевдоморфозы, интерстиции основной массы, прожилки и т.д.), практически одинаков и отличается высокой магнезиальностью (94,73-96,51 мол.%) и максимальной концентрацией алюминия (1,2-2,2 мас.%).

Таким образом, серпентинизация кимберлитов имеет четко выраженный аллохимический характер. Поведение породообразующих компонентов (Mg, Si, Fe, Al) полностью зависит от типа и степени серпентинизации. Главной закономерностью химизма процесса является возрастающая роль выноса магния по мере роста серпентинизации кимберлитов. Подвижность кремния и алюминия, определяющаяся кислотностью-щелочностью раствора, активно проявляется на поздних стадиях этого процесса. При серпентинизации кимберлитов миграция железа регулируется составом флюидной фазы (фугитивностью серы и кислорода), а также pH раствора.

Результатами предварительных расчетов в условиях температур насыщенных паров воды установлено:

1. Обобщенная метасоматическая колонка процесса преобразования кимберлитов представляет собой последовательную смену парагенезисов минералов от неизменного кимберлита (оливин+карбонат) до полностью преобразованной вторичной минерализацией породы. Начальная степень изменения кимберлита характеризуется развитием магнетитовой сыпи по оливину и частичной серпентинизацией. Дальнейшее развитие процесса приводит к появлению брусита. Кальцит-серпентин-брусит-магнетитовая ассоциация сменяется серпентин-карбонат-магнетитовой (гематитовой) минерализацией, которая в свою очередь замещается карбонатной или кварц-карбонатной ассоциацией. Изохимическая серпентинизация оливина приводит к развитию по нему серпентин-бруситовой минерализации. В тоже время оливин может преобразовываться в серпентин-магнетитовый парагенезис с отсутствием брусита. При этом состав реликтового оливина, по периферии зерен, становится более магнезиальным. Железо мигрирует в раствор или образует самостоятельные фазы, а так же может сохраняться в серпентине. Более глубокая переработка карбонат-серпентиновых зон метасоматической колонки приводит к образованию кальцита, а наличие высокого парциального давления CO<sub>2</sub> к кварц-карбонатной ассоциации.

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

2. Обобщенная схема метасоматического преобразования характеризуется следующими кислотно-щелочными особенностями. На первых стадиях серпентинизации оливина, без появления брусита, возможно существование слабокислых растворов, которые могут накапливать Fe и Mg. Затем наступает щелочной этап, отмеченный появлением брусита, он сменяется слабощелочным, нейтральным, а затем кислым этапом. Вместе с тем нужно отметить, что в процессе серпентинизации возможно только подщелачивание исходного раствора с резким скачком Ph при появлении брусита.

3. Независимо от первоначальной концентрации кремния, в исходном растворе, происходит выравнивание его содержания на различных стадиях серпентинизации кимберлита. В случае если концентрация кремния в растворе высока, то он связывается в новообразованном тальке, при дефиците кремния отмечается его накопление до уровня кристаллизации серпентин-тальковой ассоциации. Однако парагенетические ассоциации вторичных минералов с тальком в кимберлитах встречаются редко. К тому же высокая активность кремния обуславливает резкое снижение устойчивости серпентина и способствует появлению талька уже на ранних стадиях процесса. Это позволяет считать, что серпентинизация кимберлитов осуществляется при низкой химической активности кремния в водном растворе.

4. В процессе серпентинизации кимберлитов активно участвуют хлоридно-кальциевые рассолы. Высокая активность хлорида кальция в исходном растворе наряду с высоким парциальным давлением CO<sub>2</sub> приводит к увеличению активности магния. При этом происходит процесс интенсивной карбонатизации породы и накопление магния в остаточном растворе. Данный процесс также приводит к отсутствию в метасоматической колонке зон парагенезисов с бруситом и высокой интенсивности переработки породы.

5. Характерной особенностью серпентинизации кимберлита является обогащение остаточных растворов солями Na, Ca и Mg вследствие осушения системы за счет связывания воды в серпентине.

Таким образом, как видно из представленных результатов экспериментальных исследований, оборотные шламсодержащие водные системы обогатительных фабрик, перерабатывающих алмазосодержащее сырье, достаточно сильно отличаются между собой по величине минерализации, ионному составу водной фазы, свойствам шламовых частиц, обусловленных степенью вторичной минерализации перерабатываемого кимберлитового сырья и его исходным минералогическим составом. Данный факт требует целенаправленного подхода для выбора методов обесшламливания оборотных водных систем, конкретных исследований для каждого промышленного объекта с учетом специфики свойств перерабатываемого сырья. Для предварительного определения технологической эффективности методов, применяемых с целью интенсификации процессов осветления шламсодержащих водных систем, необходимо выполнить оценку количества воды, которую возможно возвратить в технологический процесс. Для реализации этой задачи предлагается методика отдельной оценки и расчета содержания типов воды, различающихся по степени связи с

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

минеральним скелетом.

Известно, что вода, находящаяся в шламах, по степени связи с минеральными частицами делится на следующие виды:

1. Свободная, или гравитационная вода, а также капиллярная вода, находящаяся в глинистой массе в жидком состоянии между частицами, а также в порах и трещинах более крупных частиц и их агрегатов. Данная вода может перемещаться под влиянием сил гравитации и градиента напора.

3. Физически связанная вода, удерживается глинистыми частицами с помощью сил межмолекулярного взаимодействия. Различают воды адсорбционные или гигроскопические (прочносвязанные, не способные к перемещению без нагревания или уплотнения), и пленочные (рыхлосвязанные). Прочносвязанная вода на поверхности минералов образует два слоя: один сравнительно тонкий слой (толщиной в несколько молекул), прилегающий непосредственно к поверхности частицы, и второй (значительно больший по толщине) – слой рыхлосвязанной воды. Удерживаются эти два вида связанной воды за счет электростатических сил, возникающих между твердой поверхностью частиц и молекулами воды. Соотношение свободной и связанной воды в порах породы зависит от степени дисперсности минералов в суспензии.

Химически связанная вода входит в состав минералов в той или иной форме.

Разработан метод последовательной оценки содержания различных типов воды в образцах. Для определения количества свободной, или гравитационной воды, а также капиллярной воды, пробы взвешивались ( $\%_{хим. св. воды}$ ) и помещались в центрифугу (5 тыс. оборотов в течение 30 мин.), где происходило вытеснение свободной воды из пространства пробы, тем самым происходило разделение минералов и более легкой воды под действием центробежных сил. Уплотненный осадок и воду ( $W_{своб. воды}$ ) взвешивали. Затем полученную воду испаряли для определения массы растворенных в воде солей ( $W_{сух. остатка воды}$ ). Содержание по массе свободной, или гравитационной воды, а также капиллярной воды определяли по формуле:

$$\%_{своб. воды} = \frac{100(W_{своб. воды} - W_{сух. остатка воды})}{W_{пробы}}$$

Для определения количества физически связанной воды пробы, полученные после определения содержания химически связанной воды, помещались в сушильный шкаф и высушивались при температуре 80 °С. Высушенную пробу взвешивали ( $W_{высуш. пробы}$ ). Относительное содержание по массе физически связанной воды ( $\%_{физ. св. воды}$ ) определяли по формуле:

$$\%_{физ. св. воды} = 100 - \frac{100 \times W_{высуш. пробы}}{W_{пробы}} - \%_{своб. воды} - \%_{сух. остатка воды}$$

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

Определение химически связанной воды производилось путем нагрева пробы до 1000 °С для кристаллической структуры минералов, выделения конституционной и кристаллизационной воды. Оставшееся после прокаливания вещество взвешивали ( $W_{\text{прокал. пробы}}$ ) Относительное содержание по массе химически связанной воды ( $\%_{\text{хим. св. воды}}$ ) определяли по формуле:

$$\%_{\text{хим. св. воды}} = 100 - \frac{100 \times W_{\text{прокал. пробы}}}{W_{\text{пробы}}} - \%_{\text{своб. воды}} - \%_{\text{физ. св. воды}} - \%_{\text{сух. остатка воды}} \cdot$$

Сумма свободной и физически связанной воды – отображает теоретическое (потенциальное) количество воды, которое мы сможем извлечь, применяя различные физико-химические воздействия на пульпу и суспензию. Количество свободной или гравитационной воды показывает то количество воды, которое может образоваться при естественном уплотнении осадка. В дальнейшем все исследования необходимо направить перераспределение баланса в суспензии и пульпе между свободной и физически связанной водой в сторону увеличения количества свободной воды. Определение баланса различных видов воды может служить аналитическим способом сравнения эффективности различных физико химических способов воздействия на суспензию и пульпу.

Предлагается следующая формула для определения. Чем выше коэффициент, тем больше потенциальной для высвобождения физически связанной воды.

$$K_{\text{водн. пот.}} = \frac{\%_{\text{физ. св. воды}}}{\%_{\text{физ. св. воды}} + \%_{\text{своб. воды}}} \cdot$$

Таким образом, измерение соотношений свободной и физически связанной воды будет являться инструментальным методом определения и контроля эффективности применения любых физико химических воздействий. Разработанная методика апробирована для оценки эффективности исследуемых методов интенсификации процессов осветления реальной шламсодержащей оборотной воды с высоким содержанием смектитовых минералов и компонентов вторичной минерализации кимберлита. Результаты оценки приведены ниже (табл. 2-4) и на диаграмме (рис. 2).

Полученные результаты, представленные в таблицах и на диаграмме, наглядно иллюстрируют наибольшую эффективность для применения в заданных условиях методов интенсификации процесса обесшламливания исследуемых проб оборотной водной системы, основанных на криогенных и электрохимических воздействиях и характеризующихся коэффициентом водного потенциала 0,06 и 0,15 соответственно.



## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

Таблиця 2

Результаты исходной оценки типов воды в представленных пробах

Пробы	Вода в образцах			Минеральное вещество		
	Свободная или гравитационная, капиллярная вода, масс. %	Физически связанная вода, масс. %		Сумма свободной и физически связанной воды, масс. %	Химически связанная вода, масс. %	Твердый остаток после прокаливания до 1000 °С, масс. %
		Вода	Растворенное вещество			
Исследуемые пробы	59,6	21,1	Не опр.	80,7	1,7	10,7

Таблиця 3

Результаты исходной оценки типов воды в представленных пробах

Методы обработки шлам	Свободная вода, %	Физически связанная вода, %	Химически связанная вода, %
Естественное осаждение	32,5	65,6	2,0
Применение ультразвуковой обработки для осветления шламодержащих сливов	27,6	70,5	2,2
Применение акустического воздействия в звуковом и низком звуковом диапазоне частот для очистки шламодержащих вод от высокодисперсных взвешенных частиц	36,4	61,6	2,0
Применение криогенной обработки для осветления шламодержащих вод	81,1	17,0	2,0
Применение электрохимической технологии для осветления шламодержащих сливов	41,3	56,7	2,1

Таблиця 4

Результаты оценки эффективности применения исследуемых методов

Методы обработки шлам	Коэффициент водного потенциала
Естественное осаждение	0,67
Применение ультразвуковой обработки	0,72
Применение акустического воздействия в звуковом и низком звуковом диапазоне частот	0,63
Применение криогенной обработки	0,17
Применение электрохимической технологии	0,58

## Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

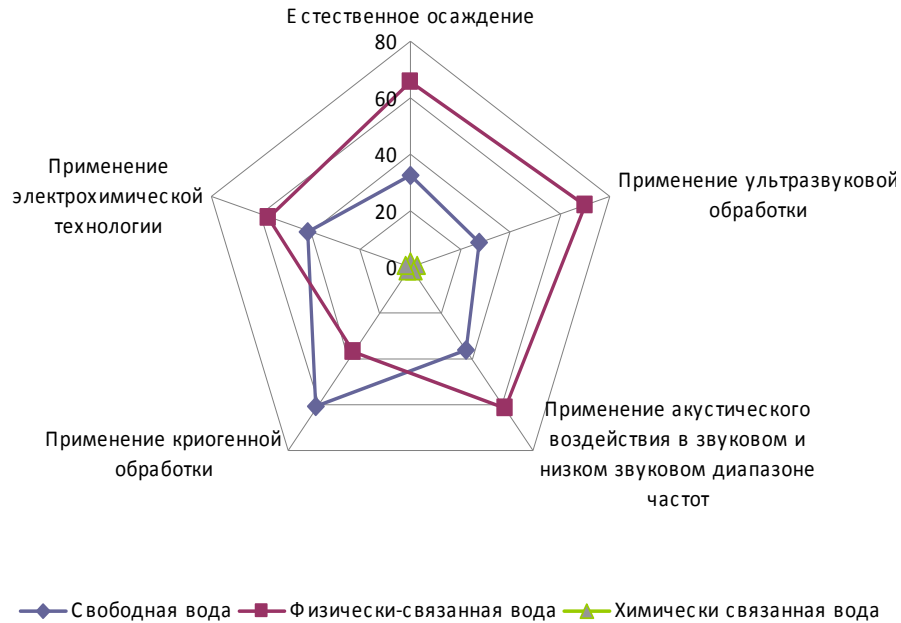


Рис. 2. Эффективность исследуемых методов интенсификации процесса осветления смектитсодержащих оборотных водных систем.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках комплексного проекта № 2010-218-01-001 по созданию высокотехнологичного производства, выполненного с участием российского высшего учебного заведения.*

### Список литературы

1. Интенсификация очистных операций доводки алмазных концентратов применением электрохимически обработанных водных систем / А.В. Зуев, Э.А. Трофимова, Г.П. Двойченкова и др. // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – № 7. – С. 183-184.
2. Chanturiya V.A., Trofimova E.A., Dvoichenkova G.P., Bogachev V.I., Zaskovich M.V. Electrochemical pretreatment of recycled water in flotation of non-sulphide and diamond-containing ores: Proceeding of the XIX International Mineral Processing Congress. – Colorado, USA, 1995. – Vol. 4. – P. 101-104.
3. Chanturiya V.A., Trofimova E.A., Dvoichenkova G.P., Vedin A.T., Zuev A.V., Bichkova G.M. Electrochemical water treatment technology in diamond-kimberlite processing: XXIII International Mineral Processing Congress, 2006, 3-8 September. – Istanbul, Turkey, 2006. – V 2. – P. 1541-1545.
4. Герасимчук А.В., Ротман А.Я., Зырянов И.В., Ковальчук О.Е. Актуальные научно-практические разработки проектно-исследовательских подразделений АК "АЛРОСА" // Горный журнал. – 2011. – №1. – С. 33-37.
5. Современные методы интенсификации процессов обогащения и доводки алмазосодержащего сырья класса -5 мм / В.А. Чантурия, Г.П. Двойченкова, Э.А. Трофимова и др. // Горный журнал. – 2011. – №1. – С. 71-74.

© Чантурия В.А., Двойченкова Г.П., Стегницкий Ю.Б., Ковальчук О.Е., Чернышева Е.Н., Тимофеев А.С., 2012

*Надійшла до редколегії 19.02.2012 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*