

**Б.В. Комогорцев, А.А. Вареничев**

## **ПРИМЕНЕНИЕ СЕЛЕКТИВНЫХ РЕАГЕНТОВ-СОБИРАТЕЛЕЙ В ТЕХНОЛОГИЯХ ФЛОТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ ЗОЛОТОСОДЕРЖАЩИХ СУЛЬФИДНЫХ РУД**

На основе анализа зарубежной и отечественной обогатительной практики дана общая оценка разработанных реагентов-собираелей с повышенными селективными свойствами к сульфидам железа и повышенными собирательными свойствами к сульфидам цветных металлов и самородным благородным металлам. Отмечено, что на большинстве отечественных золотоизвлекающих фабрик в основном применяется бутиловый ксантогенат калия, который не всегда обеспечивает максимальную эффективность при флотации золотосодержащих сульфидов. В зарубежной практике набор реагентов-собираелей значительно шире, приведены типы наиболее используемых на практике. Рассмотрены последние разработки отечественных авторов по синтезу новых реагентов и модификации стандартных собирателей и их тестовые испытания при флотации сульфидных руд. Приведены примеры использования селективных собирателей в технологиях флотационного обогащения полиметаллических руд.

Ключевые слова: дитиофосфаты, аэрофины, ксантогенат, золото-содержащие руды, сульфидные руды, флотация, селективные собиратели, извлечение золота, цветные металлы.

**Р**уды золотосульфидного типа являются одним из основных источников благородных металлов, в них сосредоточено порядка 40% мировых запасов золота. В этих рудах золото ассоциировано с пиритом, арсенопиритом, халькопиритом и пирротинном. Руды характеризуются тонкой прожилково-вкрапленной сульфидной минерализацией с тонкодисперсным и субмикроскопическим золотом. Среднее содержание сульфидов в рудах составляет 5–10%.

Большое практическое значение в настоящее время имеют технологии извлечения золота из полиметаллических руд с уче-

том получения селективных товарных концентратов цветных металлов.

В последние годы в связи с ростом потребности в благородных металлах и истощением месторождений богатых и легкообогатимых руд все больше вовлекаются в эксплуатацию месторождения труднообогатимых золотосодержащих руд. Вопрос селективного выделения золота в отдельные товарные продукты успешно может быть решен только с использованием селективных собирателей и необходимых регуляторов процесса.

Наибольшее применение для флотации золотосодержащих руд получили собиратели сульфгидрильного типа. Из них можно выделить два наиболее важные и широко применяемые группы: ксантогенаты и дитиофосфаты (аэрофлоты). На большинстве золотоизвлекательных фабриках России применяется бутиловый ксантогенат калия (БКК), который не во всех случаях обеспечивает максимальную эффективность при флотации золотосодержащих сульфидов. Недостатком ксантогенатов является то, что они проявляют высокие собирательные свойства практически ко всем сульфидным минералам, что естественно создает значительные трудности при селективном разделении сульфидов меди, свинца, цинка и особенно пирита.

За рубежом крупная американская фирма Цианамид Компании производит большой ассортимент флотационных реагентов, в т.ч. реагентов-собирателей для руд цветных и благородных металлов [1]. Представлены 4 вида ксантогенатов щелочных металлов, начиная с этилового и заканчивая амиловым, которые характеризуются различной селективностью и собирательными свойствами, в большинстве случаев используют соль натрия.

Весьма большая группа аэрофлотов: жидкие аэрофлоты, имеют состав:  $(\text{CH}_3)_2 - (\text{C}_4\text{H}_9)_2 - \text{O}_2\text{PSS}(\text{H}, \text{NH}_4)$ .

Их 4 вида. В щелочной среде проявляют намного меньшую способность, чем ксантогенаты, флотировать пирит, пирротин и не активированный сфалерит.

Водные аэро- и аэрофлоты — 9 видов, содержат радикал этиловый, изопропиловый, изобутиловый, метиламиловый, а также их сочетания:

$\text{R}_2 - \text{O}_2\text{PSS Na}$  — Радикал — этиловый, вторичный бутиловый, изопропиловый, метиламиловый, изоамиловый. Все реагенты этой группы проявляют селективность против сульфидов железа.

Аэро 400 промоуторы — 4 вида, представляют смесь следующих соединений:  $\text{C}_4\text{H}_4\text{SNCS Na}$  и  $\text{R}_2\text{O}_2\text{PSS Na}$ .

Они проявляют сильные собирательные свойства при сохранении селективности против сульфидов железа, рекомендуются для сульфидных минералов и самородных металлов.

Другие аэро промоуторы: аэро 3302 имеет R = амил., аэро 3894 и 6098, состав алкил-алкил дитионокарбамат. Представленные аэро промоуторы имеют масляную форму, в воде нерастворимы, обычно дозируются в мельницу, повышают извлечение золота и серебра. Селективны против пирита.

Аэро 4037 промоутор состав: дитиофосфат – тионокарбамат. Частично водорастворим; реомендуется для медных руд, а также при золотой минерализации и для цинковых руд, очень селективен против пирита.

Аэрофин 3418А: R<sub>2</sub>PSS Na Проявляет сильные собирательные свойства ксантогенатов для медных, свинцовых и цинковых сульфидов при сохранении селективности против сульфидов железа; превосходный собиратель для серебра и золота, водорастворим, предпочитает короткое время кондиционирования; часто расход его на 30–50% меньше чем у ксантогенатов.

В настоящее время фирмой Cytek разработан ряд новых селективных собирателей, главной задачей которых исключить флотацию сульфидов железа при максимально полном извлечении сульфидов цветных металлов и самородных металлов, которые выпускаются под названием различных торговых марок. Вот некоторые из них: AERO 9950, AERO XD-5002, AERO MX-8522, AERO MX-7017.

О высоких технологических свойствах разработанных реагентов можно судить по следующим результатам селективной флотации, полученных на медной сульфидной руде с содержанием: меди 0,74%; железа 2,1%; молибдена 98 г/т. Были испытаны два типа новых собирателей: изопропил этилтионокарбамат (IPETC) и структурно модифицированный тионокарбамат (SMTC). В качестве базового собирателя применяли дитиофосфат (DTP). Результаты проведенных исследований показали, что при близких результатах по извлечению меди, извлечение Fe в концентрат составило: если при DTP оно было в пределах 50–58%, а при использовании IPETC и SMTC значительно меньше: 27,5 – 34% и 20,1 – 25,9% соответственно. Эти данные убедительно подтверждают высокие селективные свойства разработанных реагентов [2].

Существенными недостатками производства и использования флотореагентов в Российской Федерации в настоящее время являются следующие.

Из основного класса собирателей для руд цветных и редких металлов – ксантогенатов производится только бутиловый ксантогенат калия, в то время как ранее выпускались кроме бутилового ксантогената изобутиловый, изопропиловый, этиловый.

До сих пор не налажено производство высшего ксантогената (амилового), а также более дешевых натриевых ксантогенатов. Применяемая технология для производства ксантогенатов не обеспечивает их выпуск в современной форме в виде гранул, что ухудшает условия труда и увеличивает потери [3].

В России в настоящее время успешно решается вопрос производства селективных собирателей сульфидов цветных и редких металлов из класса диалкилдитиофосфатов (аэрофлотов), которые обеспечивают получение высококачественных концентратов и высокое извлечение дорогостоящих цветных, редких и драгоценных металлов.

Диалкилдитиофосфаты, выпускаемые в настоящее время ЗАО «Квадрат плюс», представлены следующим ассортиментом: БТФ-161, БТФ-1521, БТФ-152, БТФ-1541, БТФ-1761, ФРИМ-5, ФРИМ-9, ИМА-И413 и ИМА-1012А. Данный ассортимент диалкилдитиофосфатов разрабатывался с целью получения реагентов, обладающих как наибольшим собирательным действием (БТФ-161), так и повышенной селективностью (ФРИМ-9, БТФ-1541), что существенно расширяет технологические возможности использования разработанных реагентов. Как следует из представленных данных, ассортимент выпускаемых в настоящее время диалкилдитиофосфатов существенно больше, чем в СССР, когда производили только один бутиловый аэрофлот. Более высокая поверхностная активность диалкилдитиофосфатов на границе раздела жидкость-газ по сравнению с другими сульфидгидрильными собирателями способствует усилению диспергирования воздуха, повышению устойчивости воздушных пузырьков и образованию микропузырьков.

Собиратель БТФ-152, применяется в настоящее время в промышленных условиях при флотации серебряных руд, содержащих золото, был модифицирован в БТФ-1552, который повышает эффективность обогащения по серебру и золоту по сравнению с реагентом БТФ-152.

С целью повышения (по сравнению со стандартным режимом) извлечения медных минералов был синтезирован и испытан реагент БТФ-163. Испытания этого реагента для сравнения с действием реагентов БТФ-152, БТФ-175 и бутилового ксантогената проведены в сульфидном цикле при флотации шеелит-

скарново-сульфидной руды, перерабатываемой на Приморской обогатительной фабрике. В ряду испытанных реагентов, БТФ-163 имеет наиболее высокую гидрофобизирующую способность. Поверхностная активность его 1-процентного раствора составляет 53,4 мН/м. Использование реагента БТФ-163 позволило увеличить извлечение меди по сравнению с применением других испытанных реагентов. Из-за слабовыраженных комплексообразующих свойств диалкилдитиофосфатов по отношению к катионам железа, содержание мышьяка (арсенопирита) в медных концентратах, полученных с использованием реагентов серии БТФ, значительно ниже, чем при использовании бутилксантогената (БКс). Реагент БТФ-163 в сочетании с бутиловым ксантогенатом в настоящее время применяют при флотации золотосодержащих руд на одном из предприятий Казахстана. Данное исследование позволило расширить линейку реагентов серии БТФ, которые в настоящее время находят промышленное применение на 11 предприятиях России и Казахстана [4].

В последние 10–15 лет в ИПКОН РАН под руководством академика В.А. Чантурия и в НИТУ «МИСиС» под руководством профессора В.А. Бочарова проводятся целенаправленные и фундаментальные исследования по поиску, экспериментальному обоснованию применения новых селективных собирателей к золоту и сульфидам цветных металлов и разработке эффективных технологий флотации.

В ИПКОН РАН при исследовании флотационной активности новых реагентов, впервые предложено использовать измельченные сульфидные минералы, на поверхность которых нанесены платина, серебро или золото в виде наночастиц. На пирите, активированном золотом (3 мг золота на 1 г пирита), оценивали флотационную активность известного ионогенного собирателя диэтилдитиокарбамата натрия (ДЭДТК) и нового, полученного на его основе собирателя 2-оксипропилового эфира диэтилдитиокарбаминовой кислоты (ОПДЭТК). В реальных условиях флотации, в водной среде в интервале pH 4–9, оба реагента с достаточной скоростью способны образовывать трудно растворимые в воде комплексные соединения с золотом. Как показали исследования, флотированность золотосодержащего пирита в присутствии ОПДЭТК повысилась на 10–14% по сравнению с результатами, полученными с ДЭДТК, при этом сорбция ОПДЭТК после контакта с минералом, обогащенным золотом, на порядок выше, чем на необработанном пирите [5].

Известно, что для золота характерна способность к комплексообразованию с кислородсодержащими, серосодержащими и фосфорсодержащими лигандами, аммиаком и аминами.

Для исследований флотационных свойств по отношению к золоту были выбраны азотсодержащий реагент МТХ и фосфорсодержащий реагент диизобутилдитиофосфинат натрия (ДИФ). Сорбент МТХ класса дитиазинов — это пергидро-1,3,5-дитиазин-5-ил-метан, технический продукт, который содержит 70–85% основного вещества, доступный органический аналитический реагент, синтезируется из недорогого сырья и может быть произведен в России. Реагент ДИФ проявил себя как эффективный и селективный для металлов платиновой группы при флотации сульфидных медно-никелевых руд.

Применение ДИФ и МТХ способствуют существенному повышению показателей флотации золотосодержащего продукта по сравнению с результатами флотации одним ксантогенатом [6].

Ранее авторами было установлено, что при использовании БКс снижение флотируемости арсенопирита наблюдается при предварительном контактировании его с диметилдитиокарбаматом (ДМДК). Известно, что дитиокарбаматы щелочных металлов химически более активны, нежели ксантогенаты, и что они образуют значительно более труднорастворимые соединения с катионами тяжелых металлов. Выигрывая в конкуренции с ксантогенатами, дитиокарбаматы адсорбируются на поверхности сульфидов и за счет наличия в их молекуле коротких углеводородных радикалов создают слабогидрофобное покрытие, что облегчает флотационное разделение с использованием традиционных неорганических депрессоров. Авторы испытали этот метод снижения флотируемости арсенопирита в режиме предварительного дозирования ДМДК в каждую операцию флотации. Согласно полученным данным, в присутствии ДМДК извлечение золота повышается на 2,4%. Извлечение мышьяка в концентрат 1 основной флотации уменьшается на 6%. Общее снижение извлечения мышьяка составило 7% [7].

Теоретически и экспериментально обоснована возможность флотационного разделения золотосодержащих пирита и арсенопирита с близкими технологическими свойствами на основе использования новых комплексообразующих реагентов — 2-оксипропилового эфира N,N-диэтилдитиокарбаминовой кислоты (ОПДЭТК) и экстракта растительного происхождения класса фенолоксикилот (реагент ЭКД). На основе изучения условий комплексообразования и сорбционной активности указан-

ных реагентов по отношению к золотосодержащим сульфидам была установлена комплексообразующая способность реагента ОПДЭТК по отношению к золоту в условиях флотации. Определена избирательная адсорбция ОПДЭТК на пирите, арсенопирите и пирротине: адсорбция на пирите существенно выше, чем на арсенопирите. Предложенный реагентный режим позволит обеспечить селективное выделение ценных компонентов в разноименные концентраты при одновременном сокращении на 5–7% безвозвратных потерь золота с хвостами флотации [8].

Для селективной флотации сульфидов медно-цинковых руд предложен новый реагент собиратель фенилпиразолового типа – 1-фенил-2, 3-диметил-4-диметиламинопиразолон-5 (AMD). Этот реагент используется как в аналитической химии, так и в качестве компонента медицинских продуктов. Реагент растворим в воде и спирте. Экспериментальными исследованиями установлено, что реагент AMD в щелочной среде на поверхности халькопирита и сфалерита химически сорбируется, образуя прочные гидрофобные комплексы с медью и цинком. На поверхности пирита AMD с ионами Fe(III) образует гидрофильные осадки. В условиях активации сфалерита сульфатом меди при извлечении сфалерита 82%, извлечение пирита не превышало 5%. Применение AMD в комбинации с бутиловым ксантогенатом позволило достичь извлечения сфалерита 91% при снижении извлечения пирита до 3,8%, при этом халькопирит активно флотировался (извлечение 90%).

В опытах на свинцово-цинковой сульфидной руде при использовании сочетания собирателей достигнуто повышение извлечения цинка в цинковый концентрат на 4% при снижении содержания железа в концентрате; уменьшены потери меди и цинка с отвальными хвостами [9].

В НИТУ «МИСиС» исследованы модифицированные дитиофосфаты, дитионокарбаматы, синтезированные в Институте «Гинцветмет», ОАО «Бератон» и на других предприятиях, которые физически являются смесью дитиофосфатов, тионокарбаматов, дисульфидов и других компонентов. Дитиокарбаматы являются наиболее сильными собирателями после меркаптанов. Исследования различных собирателей на мономинеральных фракциях пирита (крупность -44+10 мкм), показали, что извлечение пирита возрастает в ряду собирателей: изобутиловый дитиофосфат < Берафлот 3035 < Берафлот 3026 < тионокарбамат < этиловый ксантогенат < Берафлот 4027 < Берафлот 4029 < диэтилдитиокарбамат < бутиловый ксантогенат.

Новые модифицированные собиратели позволили предложить для медно-цинково-пиритной руды Тарньерского месторождения коллективно-селективную схему флотации с извлечением цинка в цинковый концентрат в рудном цикле. Испытания показали, что использование модифицированного дитиофосфата Берафлот 3035 позволяет снизить извлечение пирита в концентраты цветных металлов и уменьшить потери цинка в медном концентрате [10].

Предложен новый собиратель МТФ, который представляет собой смесь дитиофосфата и тионокарбамата в определенных соотношениях. МТФ, при низких расходах, повышает кинетику флотации медных минералов и позволяет фракционное выделение готового медного концентрата в начале процесса. Применение МТФ повышает извлечение меди и свинца в коллективный концентрат, а при использовании в смеси с этиловым ксантогенатом при селекции медно-свинцового концентрата, позволяет получать свинцовый концентрат с содержанием свинца не менее 53% при извлечении не менее 79 [11].

Исследованы собирательные свойства диизобутилового дитиофосфината (ДИФ) в сравнении с бутиловым и изобутиловым ксантогенатами, диизобутиловым и дибутиловым дитиофосфатами по отношению к пириту, халькопириту и другим сульфидам. Установлено, что при беспенной флотации пирита ДИФ константы скорости адсорбции и константы скорости флотации выше по сравнению с бутиловым ксантогенатом. Обоснована низкая селективность действия дитиофосфинатов при флотационном обогащении колчеданных медно-цинковых руд.

Большое практическое значение имеют технологии извлечения золота из полиметаллических руд с учетом получения селективных товарных концентратов цветных металлов. Решение подобного типа технологий рассмотрены на примере обогащения полиметаллической руды Ново-Широкинского месторождения с получением гравитационного золотосодержащего, медного, свинцового, цинкового и пиритного концентрата высокого качества.

Сложным моментом при построении технологических схем обогащения полиметаллических руд, является необходимость применения большого числа операций перечистки медных, свинцовых и цинковых концентратов и промежуточных продуктов, что всегда приводит к большим потерям золота. Наиболее радикальный путь решения этой проблемы – использование современных селективных собирателей, которые позволяют

получать более качественные концентраты и минимизировать число перечистных операций.

Выбор способа селекции Cu-Pb концентрата зависит от его вещественного состава. В случае преобладания в концентрате минералов свинца над минералами меди и наличия свободного золота целесообразно безцианидное разделение. Разработана безцианидная технология селекции Cu-Pb концентрата с использованием метабисульфита натрия подавителя галенита и пирита в кислой среде при  $\text{pH} = 5,2-5,4$ . По этой технологии были получены высококачественные медный и свинцовый концентраты. В цикле селекции извлечение меди в медный концентрат составило 90%, а свинца в свинцовый – 98,3%. Низкие потери цинка с Cu-Pb концентратом (10,5%) позволили из бедной по содержанию цинка руды (0,86%) получить кондиционный цинковый концентрат, содержащий 52% цинка при извлечении 76,79%.

Флотацию пирита и золота из хвостов цинкового цикла проводили в слабощелочной среде ( $\text{pH} \approx 8$ ), создаваемой серной кислотой с применением комбинации бутилового аэрофлота и Aerophine 3418A. Золотопиритный концентрат содержит 53 г/т золота, 48 г/т серебра, 30% железа при извлечении золота 15,5%. Полученные результаты свидетельствуют об эффективности разработанной технологии. Суммарное извлечение золота достигает 90,52%. По результатам исследований составлен технологический регламент на реконструкцию обогатительной фабрики. Расчеты показали, что срок окупаемости проекта составит около 1,5 года [12].

### **Заключение**

В современных условиях переработки Au-содержащих руд важное значение имеют технологии флотационного извлечения золота из руд, в которых благородные металлы ассоциированы с сульфидными минералами: пиритом, арсенопиритом, пирротинном. Для полиметаллических сульфидных руд технология извлечения золота должна обеспечивать получение товарных концентратов цветных металлов.

Данные вопросы невозможно решить на должном техническом уровне с применением только стандартного собирателя бутилового ксантогената калия, который в основном один производится и применяется на большинстве отечественных фабрик.

В зарубежной практике основная группа селективных реагентов-собирателей представлена производными фосфорной

кислоты (дитиофосфаты) и фосфониевой кислоты (аэрофины). Последние разработки американской фирмы Cytek включают селективные реагенты на основе тионокарбаматов, которые из всего многообразия выпускаемых собирателей проявляют наиболее селективные свойства против сульфидов железа.

В России в настоящее время решается вопрос производства селективных собирателей на основе дитиофосфатов: производитель ЗАО «Квадрат Плюс» выпускает промышленные партии собирателей серии БТФ. Эти собиратели в зависимости от своей структуры позволяют регулировать качественно-количественные показатели флотации сульфидов цветных металлов в присутствии сульфидов железа в сочетании с бутиловым ксантогенатом селективно извлекают медь при приемлемых показателях, как по содержанию, так и по извлечению.

Учитывая зарубежный опыт производства и применения большого разнообразия реагентов-собирателей и постоянное усложнение минерального состава, текстуры и качественное обеднение минерального сырья, решение проблемы обеспечения отрасли нужными реагентами-собирателями необходимо решать на фундаментальной основе использования современных физико-химических методов и аналитической химии.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Mining Chemicals, Handbook*, Copyright 1986, American Cyanamid Company.
2. *Quntanar C., Palominos M.* Rejection of pyriteв Congress (IMPC 2014), Santiago, Oct. 20–24, 2014. Чаp. 6, Santiago, 2014, pp. 32–39.
3. *Рябой В. И.* Производство и использование флотационных реагентов в России // Горный журнал. – 2011. – № 2. – С. 49–53.
4. *Рябой В. И., Шенета Е. Д., Кротов В. П., Голиков В. В.* Новые диалкилдитиофосфаты для флотации Си. Аи и серебросодержащих руд // Обогащение руд. – 2014. – № 1. – С. 29–33.
5. *Чантурия В. А., Иванова Т. А., Матвеева Т. Н., Недосекина Т. В.* Исследование флотационной активности новых собирателей для флотации золотосодержащих руд сульфидных минералов / Новые технологии в науке о земле и горном деле. Материалы научно-практической конференции. – Нальчик. 2011. – С. 94–99.
6. *Чантурия В. А., Недосекина Т. В., Гапчич А. О.* Повышение селективности процесса флотации на основе применения новых реагентов-собирателей // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2012. – № 6. – С. 106–115.
7. *Недосекина Т. В.* Горный журнал. – 2011. – № 11. – С. 44–46.
8. *Чантурия В. А.* 8-й Конгресс обогатителей стран СНГ. Москва, 28 февр.– 02 марта, 2011. Сборник Материалов, Т. 2. – М.: МИСиС, 2011. – С. 247–249.

9. Чантурия Е. Л., Иванова Т. А., Зимбовский И. Г. О повышении селективности флотации сульфидов колчеданных руд // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2013. – № 1. – С. 146–152.

10. Игнаткина В. А., Бочаров В. А. Схемы флотации сульфидов цветных металлов на основе использования сочетания собирателей // Горный журнал. – 2010. – № 12. – С. 58–64.

11. Бочаров В. А., Игнаткина В. А., Хачатрян Л. С. Проблемы разделения минеральных комплексов при переработке массивных упорных руд цветных металлов // Цветные металлы. – 2014. – № 5. – С. 16–23.

12. Шумская Е. Н., Сизых А. С. Горный журнал. – 2014. – № 11. – С. 44–46. **ПЛАЭ**

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Комогорцев Борис Владимирович*<sup>1</sup> – кандидат технических наук, старший научный сотрудник

*Вареничев Анатолий Алексеевич*<sup>1</sup> – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, зав. Отделением наук о Земле, e-mail: avar@viniti.ru,

<sup>1</sup> Всероссийский институт научной и технической информации РАН Федерального агентства научных организаций.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 12, pp. 222–224.

UDC 622.7

**B.V. Komogortsev, A.A. Varenichev**

### **THE USE OF SELECTIVE COLLECTING AGENTS IN TECHNOLOGY FLOTATION GOLD-SULFIDE ORES**

Based on the analysis of foreign and domestic enrichment of practice given the overall assessment developed by collecting agents with improved selective properties to the iron sulphide and higher collecting properties to sulfides and native non-ferrous metals precious metals. It was noted that most domestic gold processing plants are mainly used potassium butyl xanthate, which does not always ensure the maximum efficiency in the flotation of gold-bearing sulphides. In foreign practice kit reagents-collectors is much wider, are the types most commonly used in practice. We reviewed the latest developments of domestic authors on the synthesis of new reagents and modification of standard collectors and test trials in the flotation of sulphide ores. Examples of the use of selective collectors in technology flotation ores.

Key words: dithiophosphates aerofiny, xanthate, gold ores, sulphide ore flotation, selective collectors, recovery of gold, non-ferrous metals.

#### AUTHORS

*Komogortsev B.V.*<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,  
*Varenichev A.A.*<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher,  
Head of Department, e-mail: avar@viniti.ru,

<sup>1</sup> All-Russian Institute for Scientific and Technical Information  
of Russian Academy of Sciences Federal Agency Scientific Organizations,  
125190, Moscow, Russia.

## REFERENCES

1. *Mining Chemicals*, Handbook, Copyright 1986, American Cyanamid Company.
2. Quntanar C., Palominos M. *Rejection of pyriteв Congress (IMPC 2014)*, Santiago, Oct. 20–24, 2014. Chap. 6, Santiago, 2014, pp. 32–39.
3. Ryaboy V.I. *Gornyy zhurnal*. 2011, no 2, pp. 49–53.
4. Ryaboy V.I., Shepeta E. D., Krotov V. P., Golikov V. V. *Obogashchenie rud*. 2014, no 1, pp. 29–33.
5. Chanturiya V.A., Ivanova T. A., Matveeva T. N., Nedosekina T. V. *Novye tekhnologii v nauke o zemle i gornom dele. Materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii (New technologies in earth sciences and mining. Proceedings of the conference)*, Nal'chik, 2011, pp. 94–99.
6. Chanturiya V.A., Nedosekina T. V., Gapchich A. O. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2012, no 6, pp. 106–115.
7. Nedosekina T. V. *Gornyy zhurnal*. 2011, no 11, pp. 44–46.
8. Chanturiya V.A. *8-y Kongress obogatiteley stran SNG*. Moskva, 28 fevr. – 02 marta, 2011. Sbornik Materialov, T. 2. (Congress dresser CIS. Moscow, 28 February – 2 March, 2011: Collection of materials, vol. 2), Moscow, MISiS, 2011, pp. 247–249.
9. Chanturiya E. L., Ivanova T. A., Zimbovskiy I. G. *Fiziko-tekhnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 2013, no 1, pp. 146–152.
10. Ignatkina V.A., Bocharov V.A. *Gornyy zhurnal*. 2010, no 12, pp. 58–64.
11. Bocharov V.A., Ignatkina V.A., Khachatryan L. S. *Tsvetnye metally*. 2014, no 5, pp. 16–23.
12. Shumskaya E. N., Sizykh A. S. *Gornyy zhurnal*. 2014, no 11, pp. 44–46.



## ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

### ВЛАГОПРОНИЦАЕМОСТЬ ПОРИСТОЙ СРЕДЫ ПРИ НЕПОЛНОМ ВОДОНАСЫЩЕНИИ

*Тедеев Тимур Рутенович* – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, ФНЦ «ВНЦ РАН», e-mail: trt0013@mail.ru,  
*Тебиев Т.М.* – кандидат технических наук, доцент, Северо-Кавказский горно-металлургический институт.

Получено аналитическое решение нелинейного уравнения влагопроницаемости в многофазной грунтовой среде. Показано влияние коэффициента влагопроницаемости на общий вид профиля влажности в грунтовой среде, скорость влагопроницаемости и скорость перемещения фронта смачивания.

Ключевые слова: влагопроницаемость, фронт смачивания, несплошной поток, структурные разновидности влаги.

### THE MOISTURE PERMEABILITY OF THE POROUS MEDIUM UNDER PARTIAL WATER SATURATION

*Tedeev T.R.*, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Vladikavkaz scientific center of RAS, Vladikavkaz, Republic of North Ossetia-Alania, Russia, e-mail: trt0013@mail.ru,  
*Teziyev T.M.*, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, North Caucasus Mining-and-Metallurgy Institute (State Technological University), 362021, Vladikavkaz, Republic of North Ossetia-Alania, Russia.

The obtained analytical solution of nonlinear equation of moisture permeability in multi-phase soil medium. The influence of coefficient of moisture permeability in the General form of the profile of moisture in a soil medium, the speed of water permeability and rate of movement of the wetting front.

Key words: moisture permeability, front smachine, non-continuous flow, the structural variations of moisture.