территории, что связано с высокой степенью загрязненности техногенной органикой и микробиологической пораженностью грунтов. В связи с этим должен быть рассмотрен вопрос о полной замене конструкции набережной на принципиально новую, отвечающую инженерно-геологическим условиям рассматриваемой территории. Необходимо учесть, что моренные суглинки находятся в текучепластичном состоянии и для обеспечения устойчивости конструкции сваи необходимо заглублять в более плотные грунты – в верхнекотлинские глины венда, находящиеся на относительно небольшой глубине (15-20 м). Фундаменты конструкции набережной представляют собой два ряда буронабивных свай диаметром 450 мм с заглублением в глины венда на один метр. Со стороны акватории устраивается шпунтовая стенка с облицовкой гранитом.

Научный руководитель профессор, д.г-м.н. *Р.Э. Дашко*

УДК 549:622.7

***В.О.ИЛЬЧЕНКО[1], С.А.ФЕДОРОВ[2]***
[1] Геолого-разведочный факультет, студент группы МГПм-95, ассистент профессора
[2] Геологический факультет СПбГУ, аспирант

# ВЛИЯНИЕ МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА РУД НА ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА (на примере Гайского медно-колчеданного месторождения)

На Гайском месторождении главными рудными минералами являются пирит, халькопирит, сфалерит. По вещественному составу и текстурно-структурным особенностям выделяются сплошные и вкрапленные пиритовые, халькопиритовые и халькопирит-сфалеритовые природные типы руд. В настоящее время на Гайской ОФ перерабатываются медные и медно-цинковые руды по гравитационно-флотационной коллективно-селективном схеме. На результат рудоподготовки наибольшее влияние оказывает твердость и хрупкость минералов. Характер измельчаемости руд в основном определяется преобладающим минералом - пиритом. Твердость пирита значительно выше твердости халькопирита, сфалерита и борнита, в связи с этим происходит переизмельчение и ошламование полезных минералов при одновременном недораскрытии их сростков. На результаты гравитационного обогащения решающее влияние оказывает плотность минералов, размер и форма их зерен, вследствие чего в концентрате накапливаются самородное золото, пирит и галенит. Однако уплощение золота в ходе доизмельчения приводит к его частичным потерям с хвостами гравитации. На флотационные свойства минералов решающее влияние оказывают характер поверхности частиц, который может быть ориентировочно оценен по коэффициенту отражения. Такая связь может быть использована для качественного прогнозирования неоднородности и технологических свойств сульфидов. Установлено, что для всех рудных минералов от ранних генераций к поздним увеличивается коэффициент отражения, микротвердость и уменьшается содержание микропримесей и благородных элементов в частности.

Описанные закономерности отражаются в распределении минералов по продуктам технологической переработки, а это в конечном счете влияет на качество товарной продукции.

The main ore minerals at the Gayskoye deposit are pyrite, chalcopyrite and blende. According to the mineral composition and textural-structural peculiarities the following natural ore types are determined: compact and disseminated pyrite, chalcopyrite and chalcopyrite-blende types. At present, the Gayskaya concentrating mill processes copper and copper-zinc ores using gravitational-flotation collective-selective

scheme. The result of the ore preparation is greatly influenced by hardness and brittleness of the minerals. The character of the ore grindability is, to a large extent, determined by the predominant mineral – pyrite. Pyrite hardness is considerably higher than that of chalcopyrite, blende and bornite, which results in overgriding and sludging of useful minerals together with insufficient exposure of their joints. The results of gravitational dressing are mostly influenced by ore density, size and shape of their grains, which leads to accumulation of native gold, pyrite and galena in the concentrate. However, gold flattening during regrinding operation leads to its partial loss with gravitational tails. Flotation properties of minerals are greatly influenced by the character of their grain surface, which can be approximately estimated according to the reflection coefficient. Such correlation can be used in qualitative forecast of non-uniformity and processing characteristics of sulphides. It has been determined, that for all ore minerals from early to late generation the reflection coefficient and microhardness are increasing and trace contaminant, of noble elements in particular, is decreasing.

The above-described regularities are reflected in mineral distribution in the processed products, which, in its turn, influences the quality of the final produce.

На Гайском месторождении по вещественному составу и текстурно-структурным особенностям выделяются сплошные пиритовые, сплошные и вкрапленные халькопиритовые и халькопирит-сфалеритовые природные типы руд, которым соответствуют сернистые, медные и медно-цинковые технологические разновидности. Главными рудными минералами являются пирит, халькопирит, сфалерит, борнит. Кроме того, важное практическое значение имеет самородное золото.

Пиритовые руды в среднем на 97 % представлены пиритом, на 2,4 % – нерудными, на 0,6 % – халькопиритом и сфалеритом. Халькопиритовые руды состоят из пирита (75 % в сплошных и 15 % во вкрапленных), халькопирита (15 и 3,5 % соответственно), сфалерита (1 и 0,5 %), нерудных (9 и 81 %) и незначительных количеств борнита, блеклой руды, галенита. Халькопирит-сфалеритовые руды характеризуются повышенными содержаниями сфалерита (3,5 % в сплошных и 5 % во вкрапленных), высокими – блеклой руды (2 и 5 % соответственно), халькопирита (5 %). Таким образом, от ранних пиритовых к более поздним халькопиритовым и халькопирит-сфалеритовым рудам (от лежачего бока к висячему) увеличиваются содержания главных полезных компонентов – меди и цинка (см. таблицу).

В настоящее время на Гайской ОФ в основном перерабатываются медные и медно-цинковые руды по гравитационно-флотационной коллективно-селективной схеме. Руда, добытая из шахты, содержащая 1,4-1,7 % меди, 0,5-0,7 % цинка, 23-28 % серы, 1,3 г/т золота, 12-13 г/т серебра, поступает на дробление, в результате трех стадий которого достигается крупность менее 20 мм. После этого происходит измельчение руды также в три стадии, после которого продукт содержит 70 % класса -74 мкм.

В последние годы на Гайской ОФ перед коллективной флотацией введена гравитационная секция, на которой получают золотосодержащий гравитационный концентрат. Часть потока подается на классификацию в

**Минеральный состав природных типов руд Гайского месторождения**

| Природные типы руд | Минеральные разновидности | Текстура | Содержание минералов, % | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Пирит | Халькопирит | Сфалерит | Борнит | Блеклая руда | Нерудные |
| Пиритовые | | Сплошная | 97 | 0,5 | 0,1 | Сл. | Сл. | 2,4 |
| Халько-пиритовые | Без борнита | Сплошная | 75 | 15,0 | 1,0 | Сл. | Сл. | 9,0 |
| | | Вкрапленная | 15 | 3,5 | 0,5 | Сл. | Сл. | 81,0 |
| | С борнитом | Сплошная | 14 | 50,0 | Сл. | 20 | 3 | 12,0 |
| Халькопирит-сфалеритовые | Без блеклых руд | Сплошная | 59 | 5,0 | 3,5 | 1 | 2 | 28,5 |
| | | Вкрапленная | 19 | 5,0 | 5,0 | Сл. | 5 | 65,0 |
| | С блеклыми рудами | Вкрапленная | Сл. | 10,0 | 1,0 | Сл. | 7 | 81,0 |

гидроциклонах, в ходе которой получают грубый (пески) и тонкий (слив) классы. Пески поступают на гравитационную секцию, концентрат которой является товарной продукцией, и состоит из пирита, золота и галенита. Хвосты гравитации и слив гидроциклонов возвращаются обратно в общий поток и поступают на флотацию.

Самой первой операцией флотации является получение медной «головки», состоящей из наиболее легко флотируемых медных минералов: халькопирита и борнита. Коллективно-селективная схема флотации заключается в разделении на первом этапе всех сульфидов (коллективный концентрат) и минералов породы (коллективные хвосты). На второй стадии происходит выделение халькопирита и сфалерита с одной стороны (медно-цинковый концентрат) и пирита – с другой (медно-цинковые хвосты). В дальнейшем осуществляется разделение халькопирита и сфалерита с получением медного и цинкового концентратов разделения. Суммарный медный концентрат получают объединением медной «головки» и медного концентрата разделения. Конечным результатом обогащения являются: медный концентрат, содержащий 15 % меди при извлечении 83-88 %; цинковый концентрат, содержащий 50-53 % цинка при извлечении 30-33 %; золотосодержащий гравитационный концентрат, содержащий 100-120 г/т золота при извлечении 1,5-2 %; коллективные хвосты; медно-цинковые хвосты (пиритный концентрат).

На показатели обогащения по такой технологии влияют следующие особенности минералов.

На результаты операций рудоподготовки, включающих дробление и измельчение, наибольшее влияние оказывает твердость и хрупкость минералов, их сочетание и характер границ. Поскольку во всех рудах Гайского месторождения преобладающим минералом является пирит, характер измельчаемости руд будет в основном определяться именно этим минералом. Твердость его разновидностей и коэффициенты ее вариации неодинаковы, в связи с чем ранние тонкозернистые пириты разрушаются при самой слабой нагрузке, т.е. переизмельчаются уже на ранних стадиях дезинтеграции, а более поздние перекристаллизованные, более крупнозернистые и свободные от примесей – измельчаются хуже. Происходит увеличение микротвердости пирита от ранних руд (среднее значение в пиритовых рудах – 1429 кг/мм$^2$) к поздним (в сплошных медных рудах – 1511 кг/мм$^2$, а в медно-цинковых – 1711 кг/мм$^2$), при снижении ее коэффициента вариации с 377 % в сернистых рудах до 209 % в медно-цинковых.

Вместе с тем микротвердость минералов-концентраторов полезных компонентов – халькопирита (250 кг/мм$^2$), борнита (130 кг/мм$^2$), сфалерита (246 кг/мм$^2$) – значительно ниже, чем у пирита. В связи с этим происходит частичное переизмельчение и ошламование этих минералов при одновременном недораскрытии сростков с пиритами. Следовательно, оптимизация измельчения является одной из наиболее актуальных задач, решение которой позволило бы снизить потери медных минералов, происходящие за счет ошламования последних и недораскрытия их сростков с пиритом.

Первым обогатительным процессом после измельчения руды является гравитация, на результаты которой решающее влияние оказывает плотность минералов, размер и форма их зерен. Минеральные частицы, обладающие наибольшей плотностью и размерами, накапливаются в гравитационном концентрате, причем в него переходят относительно изометричные зерна, а уплощенные уходят в хвосты. Так как наибольшую плотность среди рудных минералов имеет самородное золото и при этом оно очень пластично и, следовательно, не переизмельчается, оно накапливается в гравитационном концентрате. Однако уплощение пластин в ходе многократного доизмельчения приводит к их потерям с хвостами гравитации. Кроме того, теряется мелкое свободное золото и его нераскрытые сростки с другими минералами, которые, однако, поступают на флотацию и там могут переходить в товарные продукты.

Преобладающим рудным минералом с высокой плотностью является пирит. Вместе

с тем пириты обладают наибольшей микротвердостью и, следовательно, измельчаются хуже других минералов. Следовательно, их частицы после операций рудоподготовки будут относительно более крупными. Поэтому значительная часть гравитационного концентрата представлена пиритом.

Еще одним минералом руд Гайского месторождения, обладающим высокой плотностью, является галенит, который практически полностью накапливается в гравитационном концентрате.

Подавляющее большинство халькопирита, борнита, блеклой руды и сфалерита переходит в хвосты гравитации и поступает на флотацию.

На флотационные свойства минералов решающее влияние оказывает характер поверхности частицы, который ориентировочно может быть оценен по коэффициенту отражения. В ряде случаев последний является интегральным показателем флотационных свойств сульфидов. Он снижается одновременно с технологическими показателями при появлении на поверхности минералов новообразований и уменьшении зерен при их разрушении в тектонических зонах и зонах окисления, наличии включений и структур распада. Такая связь может быть использована для качественного прогнозирования неоднородности и технологических свойств сульфидов по коэффициенту отражения.

Наилучшими флотационными свойствами среди пиритов обладают наиболее поздние разновидности, характеризующиеся самым высоким коэффициентом отражения. Так, для ранних пиритов коэффициент отражения составляет 51,6 % (для $\lambda = 589$ нм), увеличиваясь в болеее поздних разновидностях до 55,5 %. В связи с этим поздние пириты, обладающие наиболее совершенной поверхностью, обнаруживаются даже в конечном медном концентрате разделения и существенно снижают его качество.

Сравнение коэффициентов отражения халькопиритов из различных природных типов руд показывает, что наиболее совершенной поверхностью обладают халькопириты из поздних борнитсодержащих халькопиритовых руд, а наименее совершенной – из более ранних халькопиритовых и халькопирит-сфалеритовых руд, что, вероятно, объясняется очищением халькопиритов более поздних минеральных ассоциаций от примесей в ходе метасоматических преобразований. Следовательно, эти халькопириты будут по-разному вести себя в ходе флотационного обогащения: более поздние легко флотируются и переходят в концентраты, а основная масса потерь происходит за счет относительно ранних разновидностей.

Таким образом, для всех главных рудных минералов от ранних генераций к поздним увеличивается величина коэффициента отражения, микротвердость при снижении коэффициента вариации последней. Кроме того, от ранних генераций минералов к поздним падает содержание в них благородных элементов. Описанные закономерности отражаются в распределении элементов по продуктам технологической переработки и в конечном счете на качестве товарной продукции. Тщательное изучение вещественного состава и свойств рудных минералов является необходимым условием рационального использования сырья.

Научные руководители: профессор, д. г.-м. н. *В.М.Изоитко*,
профессор, д. г.-м. н. *Ю.Б.Марин*