

УДК 622.7

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВОЛЛАСТОНИТОВОГО КОНЦЕНТРАТА
ИЗ СЫРЬЯ ТЫРНЫАУЗСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

В. В. Марчевская¹, С. В. Терещенко¹, А. Ф. Барановский²,
Е. В. Белуженко², Е. Д. Рухленко¹

¹Горный институт Кольского научного центра РАН,
E-mail: vvm@goi.kolasc.net.ru, ул. Ферсмана, 24, 184209, г. Апатиты, Россия
²ОАО “Кабардино-Балкарская ГРЭ”, E-mail: kbgre@inbox.ru,
ул. Калинина, 262, 360005, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, Россия

Представлены результаты исследований технологических свойств волластонитсодержащих пород Тырнаузского месторождения с целью разработки рациональной технологии получения высокосортного волластонитового концентрата. Рекомендуемая технологическая схема включает процессы дробления, грохочения, рентгенолюминесцентной сепарации, мокрой электромагнитной сепарации и флотации. По результатам химического и рентгенофазового анализов полученный волластонитовый концентрат соответствует марке “Воксил-100”.

Волластонитовое сырье, рентгенолюминесцентная предконцентрация, электромагнитная сепарация, флотация, схема цепи аппаратов

Волластонит представляет собой метасиликат кальция с молекулярной формулой CaSiO_3 . Он выделяется среди промышленных минералов благодаря сочетанию белого цвета, иглообразной формы кристаллов, достаточно высокой твердости и высокой температуры плавления [1].

Игольчатая форма кристаллов и степень их анизотропии определяют главное направление использования волластонита как микроармирующего наполнителя. Уникальные физико-химические свойства волластонита позволяют использовать его в качестве регулирующей, реологической и модифицирующей добавки в различных отраслях промышленности. Применение волластонита как наполнителя, частичного или эквивалентного заменителя мела, талька, слюды, асбеста в строительных материалах и изделиях способствует значительному повышению их прочности, химической и износостойкости, улучшению диэлектрических, термоизоляционных, огнеупорных и других технологических свойств.

Высокие потребности в волластоните на мировом рынке обусловлены не только особенностями его структуры и свойств, а также тем, что он в отличие от канцерогенных компонентов различных строительных материалов — асбеста и кристаллического кварца — безвреден для здоровья человека и имеет сравнительно невысокую стоимость [1].

По данным маркетинговых исследований, минимальная внутренняя потребность российского рынка в волластонитовых концентратах составляет около 65 тыс. т в год. На территории России выявлены и частично разведаны несколько десятков месторождений волластонита, но, несмотря на высокую потребность в нем, до настоящего времени промышленная эксплуа-

тация их не ведется. Развитие и освоение отечественной сырьевой базы по переработке этого вида сырья должны сыграть немаловажную роль во внедрении новых инновационных технологий в различные отрасли экономики России [2].

Главные показатели качества волластонитового сырья: содержание собственно волластонита; концентрация примесных красящих оксидов в сырье (Fe_2O_3 , FeO , MnO , TiO_2); форма кристаллов волластонита и значение фактора анизотропии L/d (L — длина частиц, d — их ширина); степень дисперсности концентрата. Следует отметить, что волластонитовый концентрат с низким значением фактора анизотропии $L/d < 3$ (сорт *LAR*) производится и потребляется на мировом рынке в большем объеме и по более низким ценам, чем концентрат сорта *HAR* с $L/d > 3$.

В связи с тем что в России нет промышленной переработки волластонитового сырья, нормативная документация на волластонитовый концентрат отсутствует. На основе данных работ зарубежных предприятий и результатов исследований различных организаций России и СНГ принимаются следующие рекомендации по качеству волластонитовых концентратов: концентраты и богатое природное сырье, содержащие более 60 % волластонита и 2.5–3.0 % примесных красителей, пригодны для изготовления фарфоровой глазури, облицовочной плитки, обладающей малой усадкой, высокой механической прочностью и термостойкостью. Концентраты с содержанием волластонита не менее 72 % обеспечивают производство фарфоровой глазури, отличающейся хорошим блеском, ровным розливом и незначительным количеством наколов. Концентраты, содержащие не менее 90 % волластонита и не более 0.1 % примесных красителей и обладающие белизной не менее 90 %, используются при производстве любой продукции, где его добавки имеют положительный эффект [1, 3].

При промышленном производстве волластонитовых концентратов за рубежом в зависимости от качества исходного сырья применяют простые схемы обогащения: магнитную сепарацию и классификацию по крупности в несколько стадий (“Уилсборо”, США; индийские и китайские фирмы) или флотационно-магнитную (“Партек”, Финляндия). Месторождения, разрабатываемые этими компаниями, имеют достаточно высокое содержание волластонита в сырье. При отсутствии граната в добываемом сырье, содержащем более 60 % волластонита, волластонитовый концентрат получают с помощью процессов измельчения и классификации по крупности [4].

В России наиболее подготовленным для промышленной разработки является Синюхинское месторождение в Алтайском крае, суммарные запасы волластонита которого оцениваются в 10 млн т, со следующим средним минеральным составом сырья, %: волластонит — 50–85, гранат (гроссуляр) — 10–40, пироксен — 3–7, кальцит — 2–3, кварц — до 1. Рекомендуемая технология обогащения волластонитового сырья этого месторождения включает следующие процессы: пневматическую (гравитационную или центробежную) классификацию, магнитную сепарацию в несколько стадий с получением концентратов типа “Воксил” разных марок [1, 4].

Тырныаузское месторождение (Кабардино-Балкария) — одно из наиболее известных скарновых месторождений вольфрама и молибдена — обладает немалыми запасами волластонитового сырья. Волластонитовые скарново-метасоматические тела приурочены к толще метаморфизованных и скарнированных переслаивающихся карбонатно-силикатных пород [5].

Волластонитовое сырье Тырныаузского месторождения значительно сложнее по составу в сравнении с составом известных месторождений в СНГ и за рубежом и является более бедным. По результатам минералого-технологических и аналитических исследований волластонитовое сырье Тырныаузского месторождения имеет следующий средний минеральный состав, %: волластонит — 15.0, гранат — 19.3, везувиан — 16.5, пироксен — 21.5, плагиоклаз — 6.7, кальцит — 17.3, кварц — 3.3. Согласно принятой классификации, рассматриваемое волластонитовое сырье относится к бедным технологическим типам [3].

С целью повышения качества сырья по результатам проведенных исследований обоснована целесообразность использования рентгенолюминесцентной предконцентрации волластонитовой руды крупностью – 100 + 20 мм, что позволяет в 1.5 раза повысить содержание волластонита в исходном продукте, поступающем на дальнейшую переработку. При этом его потери с крупнокусковыми хвостами составляют менее 9 % [6].

Вещественный состав сырья, а также наличие в нем тонкозернистой микрокристаллической разновидности волластонита, тесная ассоциация основных минералов сырья, микровключения минералов, в основном пироксена (рис. 1), не позволяют использовать достаточно простые технологические схемы получения волластонитового концентрата. Проведенные исследования показали невозможность пневматической классификации волластонитового сырья для выделения обогащенного волластонитом продукта. Отрицательные результаты получены также при испытаниях с применением сухих методов обогащения — электромагнитной и электростатической сепараций, причем последняя операция для повышения селективности разделения минералов проводилась с подготовкой питания путем нагревания. Даже очистка концентрата от примесей везувиана с помощью трех перечисток не позволила получить концентрат, содержащий более 65 % волластонита. С учетом результатов предварительных исследований и данных ранее выполненных работ отечественных и зарубежных обогатителей [1, 3] для обогащения волластонитового сырья Тырныаузского месторождения выбраны следующие методы: электромагнитная сепарация и флотация.

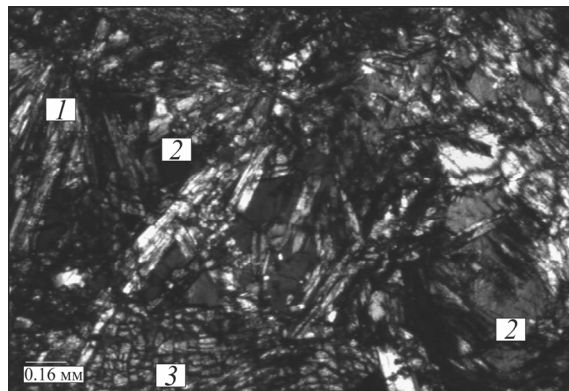


Рис. 1. Срастания волластонита (1) с везувианом (2) и пироксеном (3) (простой шлиф, николи ×)

По результатам минералогического изучения волластонитового сырья, а также продуктов электромагнитной сепарации, проведенной на пилотной пробе, выбран оптимальный режим измельчения и электромагнитной сепарации. Выявлено, что верхний предел крупности измельчения составляет 0.1 – 0.12 мм, а электромагнитную сепарацию для выделения из сырья, предназначенного для получения волластонитового концентрата, слабомагнитных минералов наиболее оптимально вести при напряженности магнитного поля 30 А/м. В магнитной фракции концентрируются в основном пироксен, гранат и везувиан с извлечением 92 – 98 % от операции.

Флотационные исследования были направлены на удаление из немагнитной фракции сырья кальцита. С этой целью применялась схема обратной флотации с получением в камерном продукте волластонитового концентрата, в пенном — кальцитового продукта. В качестве собирателя и вспенивателя для флотации кальцита использовалось мыло дистиллированного таллового масла (МДТМ), депрессора волластонита — силикат натрия (Na_2SiO_3). По результатам опытов установлено, что оптимальный общий расход реагентов составляет: МДТМ — 300 г/т, Na_2SiO_3 — 100 г/т. Флотация осуществляется в слабощелочной среде при pH 8 – 9. Исследования показали, что кальцитовая флотация позволяет повысить содержание волластонита в концентрате в 1.4 раза.

Вместе с кальцитом в пенном продукте концентрируются гранат, везувиан, пироксен. Достаточно высокое извлечение указанных минералов наблюдается уже после двух операций флотации, при расходе основного реагента (МДТМ) 200 г/т. Введением третьей операции достигается практически полное их извлечение.

По выбранной технологической схеме с использованием оптимального реагентного режима проведены сравнительные испытания флотационной обогатимости материала немагнитной фракции исходного сырья технологической пробы и того же сырья, но прошедшего покусковую рентгенолюминесцентную сепарацию (РЛС). Результаты флотационных испытаний приведены в таблице.

Показатели флотационного обогащения материала немагнитной фракции волластонитового сырья без использования и с использованием РЛС, %

Показатель		Волластонитовый концентрат		Кальцитовый продукт		Исходный продукт	
		без РЛС	после РЛС	без РЛС	после РЛС	без РЛС	после РЛС
Выход		52.84	47.38	47.16	52.62	100	100
Содержание	Волластонит	53.8	86.4	18.1	26.1	37.0	54.7
	Гранат	0	0	4.0	3.3	1.9	1.7
	Везувиан	0	0	6.9	9.7	3.3	5.1
	Пироксен	0	0	7.2	3.9	3.4	2.0
	Плагиоклаз	10.9	0	9.4	4.4	10.2	2.3
	Кальцит	6.0	0	41.6	44.3	22.8	23.3
	Кварц	29.4	13.6	12.8	7.7	21.6	10.5
	Слюда	0	0	0	0.6	0	0.3
Извлечение	Волластонит	76.87	74.9	23.13	25.1	100	100
	Гранат	0	0	100	100	100	100
	Везувиан	0	0	100	100	100	100
	Пироксен	0	0	100	100	100	100
	Плагиоклаз	56.51	0	43.49	100	100	100
	Кальцит	13.86	0	86.14	100	100	100
	Кварц	71.96	61.28	28.04	38.72	100	100
	Слюда	0	0	0	100	0	100

Волластонитовый концентрат, полученный из сырья, не прошедшего предконцентрацию, содержит в качестве примесей (кроме кварца) плагиоклаз, гранат, везувиан и слюду, что обусловлено близостью флотационных свойств этих минералов и волластонита, а потому и сложностью их селективного разделения. Введение в технологическую схему обогащения операции покусковой РЛС позволяет получить значительно более чистый волластонитовый концентрат, содержащий 86.4 % волластонита, а в качестве примеси — только кварц при его пониженной более чем в 2 раза концентрации. Извлечение волластонита составляет около 75 % от операции. Сквозное извлечение волластонита составило 52.3 % при переработке сырья, прошедшего РЛС, и значительно более низкое, 32.4 %, при переработке исходного волластонитового сырья.

Таким образом, установлено, что данный вид волластонитового сырья, обладающего сложным вещественным составом, наиболее эффективно перерабатывать по магнитно-флотационной схеме обогащения с введением в “голове” процесса рентгенолюминесцентной предконцентрации.

С целью повышения комплексности использования волластонитового сырья предприняты попытки получения гранат-везувианового концентрата из материала магнитной фракции с помощью электростатической сепарации. Однако минералогические исследования материала магнитной фракции показали, что гранат, представленный в основном гроссуляром, содержит включения мелкокристаллического пироксена с размером зерен 5–10 мкм и менее (рис. 2).

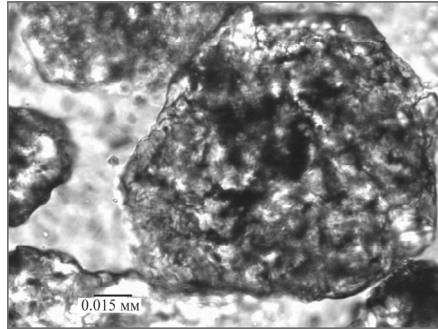


Рис. 2. Зерно граната с микровключениями пироксена (светлые участки) размером от 3 до 10 мкм в материале магнитной фракции крупностью $-0.071 + 0.045$ мм (искусственный шлиф, николи //)

В соответствии с требованиями абразивной промышленности наиболее ценным является сырье, гранаты которого принадлежат к группе алмадина или родолита. Прочие разновидности граната, обладающие меньшей твердостью, в частности широко распространенный гроссуляр, для абразивных целей непригодны. Для промышленного использования наибольшим спросом пользуется гранатовый материал, имеющий размер зерен от 0.42 до 0.17 мм. Более мелкий гранатовый концентрат применяется значительно реже и оценивается дешевле [7]. Гранатовые продукты тырнаузского волластонитового сырья пригодны только при шлифовке стекла. Для этих целей не требуется получать концентрат, содержащий 85–90% граната, и может быть использован материал магнитной фракции электромагнитной сепарации без дополнительного обогащения.

Следовательно, при переработке данного вида сырья рационально ограничиться получением волластонитового концентрата с помощью трех основных обогатительных операций: рентгенолюминесцентной сепарации, мокрой электромагнитной сепарации и флотации.

Рекомендуемая технологическая схема (рис. 3) включает: дробление исходного сырья на щековой дробилке, грохочение на конвейере-грохоте, в процессе которого выделяется кусковый материал крупностью $-50 + 20$ и $-20 + 10$ мм, поступающий на рентгенолюминесцентный сепаратор, и материал крупностью -10 мм, направляемый на измельчение в стержневую мельницу.

Обогащенное на рентгенолюминесцентном сепараторе сырье после дробления поступает на измельчение в стержневую мельницу. Измельченную руду пропускают через магнитный сепаратор, где в магнитную фракцию выделяется гранат-везувиан-пироксеновый продукт, а немагнитный продукт подают на флотацию, в результате нескольких операций которой получается волластонитовый концентрат и кальцитовый продукт. Отсортированные в процессе РЛС крупнокусковые хвосты, представленные роговиками, базальтами, скарнированными роговиками и мраморами, гранат-пироксеновыми скарнами, обладающие достаточно высокой крепостью, могут быть утилизированы, например, в качестве строительного щебня. Применение этого материала как сырья для других целей, а также использование полученного кальцитового продукта должно быть изучено дополнительно. Материал магнитной фракции — гранатсодержащий продукт — также может быть пригоден для шлифовки стекла.

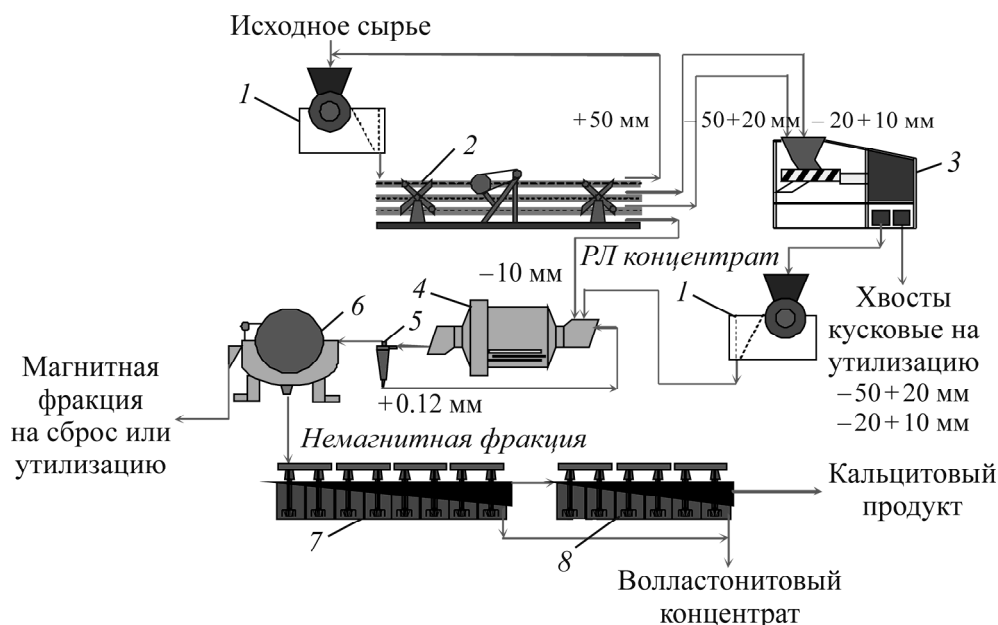


Рис. 3. Схема цепи аппаратов обогащения волластонитового сырья: 1 — щековая дробилка; 2 — конвейер-грохот; 3 — рентгенолюминесцентный сепаратор; 4 — стержневая мельница; 5 — гидроциклон; 6 — магнитный сепаратор; 7, 8 — флотация

Поскольку в процессе исследований установлено, что фазовое раскрытие сырья с максимальным размером куска 50 мм значительно выше, чем с размером 100 мм, соответственно и процесс РЛС волластонитового сырья на более мелком материале проходит более селективно [6]. В рекомендуемой технологической схеме дробление производится до крупности -50 мм, а на сепарацию направляется материал двух классов крупности $-50+20$ и $-20+10$ мм.

Изучение технологических характеристик полученного волластонитового концентрата показало, что фактор анизотропии кристаллов волластонита в концентрате, определяющий его армирующую и упрочняющую роль при создании новых материалов, в среднем составляет 15.

Данные рентгенофазового и полного силикатного анализа волластонитового концентрата свидетельствуют о том, что по содержанию волластонита он соответствует марке “Воксил-100”, по содержанию наиболее распространенных примесей в волластоните — железа, марганца, титана и магния — любой из марок “Воксил”, а по суммарному содержанию этих окислов — среднестатистической величине (1 %) для различных месторождений волластонита [1, 4].

Переработка волластонитового сырья с учетом комплексного использования получаемых продуктов обогащения позволит значительно уменьшить объемы техногенных массивов, представленных отвалами вскрышных пород, которые негативно влияют на состояние компонентов природной среды — литосферу, гидросферу, атмосферу, ее естественную биоту [8].

ВЫВОДЫ

Показана возможность получения высококачественного волластонитового концентрата из вскрышных волластонитосодержащих пород Тырнаузского месторождения. Технологическая схема переработки волластонитового концентрата включает в себя процессы дробления, грохочения, рентгенолюминесцентной сепарации, мокрой электромагнитной сепарации и флотации. Отсортированные в процессе рентгенолюминесцентной сепарации крупнокусковые породы могут быть утилизированы в качестве строительного щебня, а гранатосодержащий продукт, извлеченный в процессе магнитной сепарации, — при шлифовке стекла.

При возобновлении работ на Тырнаузском месторождении получение попутно с вольфрамовым и молибденовым волластонитового концентрата значительно повысит комплексность использования минерального сырья и уменьшит количество складированных в отвалы вскрышных пород. Это не только увеличит рентабельность производства, но и снизит антропогенную нагрузку на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тюльнин В. А., Ткач В. Р., Эйрих В. И., Стародубцев Н. П. Волластонит — уникальное минеральное сырье многоцелевого назначения. — М.: Руда и Металлы, 2003. — 144 с.
2. Эйрих Ю. В. Экономическое обоснование целесообразности освоения месторождений волластонитовых руд: автореф. дис. ... канд. экон. наук. — М., 2007. — 19 с.
3. Лисицин А. Е., Лисицин А. Е., Остапенко П. Е. Минеральное сырье. Волластонит: справочник. — М.: Геоинформмарк, 1999. — 11 с.
4. Обзор рынка волластонит-гранатового и полевошпатового сырья в СНГ: отчет ООО «Исследовательская группа «ИНФОМАЙН». — М., 2008. — 251 с.
5. Рудные месторождения СССР: в 3 т. — Т. 3. / под ред. В. И. Смирнова. — М.: Недра, 1974. — 471 с.
6. Марчевская В. В., Терещенко С. В., Рухленко Е. Д. Исследование эффективности крупнокусковой предконцентрации волластонитового сырья радиометрическими методами // Изв. вузов. Горн. журн. — 2011. — № 1. — С. 111–118.
7. Романович И. Ф. Минеральное сырье. Абразивы: справочник. — М.: Геоинформмарк, 1999. — 23 с.
8. Александрова Т. Н., Липина Л. Н., Грехнев Н. И. Геоэкологическая оценка состояния компонентов природной среды с использованием геоинформационных технологий в зоне влияния горноперерабатывающего предприятия // ФТПРПИ. — 2013. — № 1. — С. 185–193.

Поступила в редакцию 28/1 2014