УДК 553.641

А.В. Лыгач
МИСиС
Московский горный институт[1]
кафедра обогащения и переработки полезных ископаемых и техногенного сырья
аспирант
victor-gog6@yandex.ru

Технология получения фосфатных концентратов для химической переработки на сложные концентрированные удобрения из желваковых фосфоритов песчанистого типа (на примере Чилисайского месторождения)

[1]Россия, 119049, Москва, Ленинский пр–т, 6

В статье приведены результаты НИР по изучению вещественного состава и обогатимости пробы желваковой фосфоритовой руды песчанистого типа Чилисайского месторождения – разработка рациональной комбинированной первично (классификационной) – флотационной технологии ее глубокого обогащения. Технология обеспечивает получение из бедной фосфором труднообогатимой фосфоритной руды Чилисайского месторождения высококачественного флотационного фосфоритного концентрата, содержащего более 26% P2O5, т.е. пригодного для получения сложных водорастворимых фосфорсодержащих минеральных удобрений

Ключевые слова: фосфоритовая руда; желваковые фосфориты; Чилисайское месторождение; вещественный состав; рудоподготовка; первичное обогащение; промывка; мытый фосконцентрат; сухая классификация; дообогащение; флотация; дофлотация; флотационный концентрат; хвосты; промежуточные продукты; технология обогащения; реагенты многофункционального действия

Желваковые фосфоритные руды российских и зарубежных месторождений различаются качеством руд, природной генерацией фосфатного минерала (фторкарбонатапатита), характером вкрапленности минералов и особенностями структурно-морфологических свойств [1–4]. Следствием этого является различная степень обогатимости желваковых фосфоритов разных месторождений. Наиболее труднообогатимы из них бедные фосфором руды, фосфатный минерал в которых представлен курскитом, содержащим не выше 34% P_2O_5, а присутствие в его зернах железослюдистых, кремнистых и органических примесей снижает содержание P_2O_5 в минерале до 28–30%. К таким рудам относятся желваковые фосфоритные руды Чилисайского месторождения, содержащие около 10% P_2O_5. Фосфатный минерал в этих рудах представлен курскитом, который характеризуется тончайшим его взаимопрорастанием с примесными минералами – кварцем, слюдой, органикой, вследствие чего эти руды относятся к числу труднообогатимых [1–8].

Особенностью структурно-химических и морфологических свойств желваковых фосфоритов всех типов является избирательное распределение фосфата по классам крупности – с максимальной концентрацией P_2O_5 в крупных и средних классах и обогащением мелких и тонких фракций

кварцем, глинистыми и слюдистыми минералами. Благодаря этой особенности вещественного состава желваковых руд главным и универсальным методом их обогащения является первичный метод сухой или мокрой (промывки) классификации руды после ее дробления. Полученные при этом первичные фосфатные концентраты могут содержать в зависимости от свойств руды от 14–16 до 20–24% P_2O_5 [3, 7, 10, 11]. Однако такие концентраты не соответствуют по качеству требованиям химической переработки на концентрированные удобрения [12–15]. Поэтому для этой цели они должны дообогащаться с применением других методов обогащения, таких как магнитная и электростатическая сепарация, флотациия, обжиг и их сочетание [7, 11, 23].

Обогащение фосфоритных руд песчанистого типа и, в частности, Чилисайского месторождения систематически изучалось ГИГХСом [7, 10, 12] и завершилось выдачей исходных данных для проекта промышленного обогатительного предприятия и строительством опытно-промышленной обогатительной фабрики. Первичное обогащение первоначально производилось промывкой, а перед распадом СССР была разработана и принята для проектирования схема с сухой классификацией руды на первой стадии и выводом в отвал до 40% разубоживающих песков в сухом виде, что важно для региона с дефицитом водных ресурсов. Последующая промывка верхних классов сухой классификации (+1 мм) обеспечивала получение мытого концентрата с содержанием 17% при извлечении 78%. При этом были рассмотрены варианты использования этого концентрата как в качестве фосмуки, так и его дообогащение флотацией с получением флотоконцентрата с содержанием 24% P_2O_5 для химической переработки.

Технология флотации мытого концентрата прошла опытно-промышленные испытания, а полученные образцы флотационного фосфатного концентрата, содержащего не менее 24% с положительными результатами прошли тестовые химические испытания. Однако окончательного решения проблемы глубокого обогащения Чилисайских желваковых фосфоритов из-за распада СССР и целого ряда других объективных причин осуществлено не было.

В настоящее время по инициативе ТОО «Казцинк» перед нами была поставлена задача разработать наиболее рациональную технологию обогащения Чилисайской руды с получением из нее фосконцентрата, содержащего не ниже 26% P_2O_5 при максимально возможном извлечении из него пятиокиси фосфора.

Для исследований и разработки технологии получения фосфоритных концентратов вышеуказанного качества, т.е. для химической переработки на сложные удобрения из руды Чилисайского месторождения ТОО «Казцинк» была предоставлена дробленная до 15 мм геологическая проба, которая, согласно акту отбора и паспортным данным, была отобрана бороздовым способом из добычного рабочего забоя карьера № 1 геологического блока 11-13. Вес пробы составлял 213 кг, крупность – 15 мм.

Среднее содержание P_2O_5 в пробе (без разубоживания) – 13,16%, среднее содержание примесных компонентов Fe_2O_3 – 0,87%; CO_2 – 2,36%; $Al_2O_{3к.р.}$ – 1,7%. Эти показатели химического состава указывают на то, что представленная проба соответствует слабожелезистой разновидности фосфоритовых руд, составляющих порядка 23% Чилисайского месторождения.

По минеральному составу проба представлена фосфатом – курскитом, вермикулитом, глинистыми минералами, что в целом характеризует ее представительной для желвакового типа фосфоритов Чилисайского месторождения. В паспортных данных пробы указано также, что среднее содержание P_2O_5 по всей контрактной месторождения составляет 10,28%, а на участке добычных работ – 10,58%.

Для доведения содержания P_2O_5 в пробе до указанных значений, соответствующих участку добычных работ ТОО «Казцинк» предоставил также пробу разубоживающих бесфосфатных песков весом 55 кг с тем, чтобы технологическая проба для исследований имела среднее содержание 10,2–10,53% P_2O_5. С этой целью подготовка технологической пробы фосфоритной руды Чилисайского месторождения осуществлялась с учетом подшихтовки к геологической пробе разубоживающей породы (песков). Поскольку проба разубоживающих песков имела первоначальную влажность, перед шихтовкой потребовалась ее подсушка на воздухе, после чего вес ее сократился до 53,5 кг.

Геологическая проба была относительно сухой. Для шихтовки с пробой разубоживающей породы в соответствии с вариантом паспортных расчетов геологическая проба должна иметь вес ~ 168 кг. Поэтому от исходной пробы были отобраны дубликат в резерв 36,5 кг и контрольная проба весом 5 кг. Остаточный вес пробы составил 168,5 кг, его надлежало сшихтовать с разубоживающей пробой песков весом 52 кг с тем, чтобы добиться расчетного содержания P_2O_5 в усредненной пробе, предназначенный для минералого-технологических исследований (~10% P_2O_5). Вес сшихтованной пробы руды для исследовательских работ составил 220,5 кг.

В соответствии со стандартными методами усреднения и опробования сыпучих материалов

Компоненты	Содержание, масс. доля, %		
	Исходная руда (шихта)	Концентрат сухой классификации (кл. +1 мм)	Концентрат промывки (кл. +1 мм)
P_2O_5	9,35	18,4	18,6
CO_2 *)	2,51	1,19	1,32
SO_3	0,5	1,78	1,13
$S_{общ}$	0,22	–	–
F	1,04	[2]	[2]
Cl	0,07	–	–
CaO	15,3	29,6	30,9
Na_2O	0,78	0,99	0,97
K_2O	1,32	0,78	0,77
MgO	0,27	0,34	0,33
MnO	0,04	0,05	0,05
$Fe_2O_{3общ}$	1,87	1,59	1,6
FeO*)	0,54	0,46	0,42
Fe_2O_3 *)расчет	1,27	1,08	1,13
Al_2O_3	3,24	2,33	2,21
SiO_2	61,8	36	35,3
TiO_2	0,22	0,18	0,18
H_2O^-*)	–	0,47	0,46
п.п.п.	3,69	6,35	6,45
Сумма	99,42	100,39	100,49
$–O = F_2$	0,42	0,8	0,8
Сумма	99,07	99,59	99,69

Таблица 1.
Химический состав лабораторной технологической пробы

при крупности –15 мм от сшихтованной пробы отбирались дубликат и рабочие навески для сухого и мокрого ситового анализов (по 11 кг), а для химического, минералогического и спектрального анализов – 12 кг. Для технологических исследований сухим и мокрым методами отбирались пробы по 50 кг. В резерв было направлено 86 кг руды (шихты).

Отобранная навеска 12 кг крупностью –15 мм, предназначенная для выполнения анализов руды, первоначально додрабливалась до –2,5 мм на щековой и валковой дробилках с предварительным и контрольным грохочением, затем усреднялась и сокращалась, после чего отбиралась навеска весом ~1,3 кг, которая измельчалась на дисковом истирателе до –0,2 мм, а затем, после очередного усреднения и сокращения отбиралась навеска весом 400 г. Она дотиралась в истирателе до –0,071 мм, от нее отбирались образцы для химического, минералогического и спектрального анализов весом по 100 г.

Подробный анализ химического состава исходной пробы руды, концентратов сухой классификации и промывки выполнен в лабораториях АСИЦ «ВИМС». Результаты определений сведены в ***табл. 1***, из которой видно, что метод классификации исходной руды незначительно оказывает влияние на качество первичных концентратов. В исходной руде проанализирован также состав примесных компонентов, среди которых преобладают (мкг/г): Sr-760, TR_2O_3-258, Ba-180. Содержание экологических контролируемых элементов, таких как U, Th, As, Hg, Cd, Pb, Zn, Co и др., не превышает такового, или ниже, чем в других известных месторождений желваковых фосфоритов.

Изучение минерального состава исходной пробы и продуктов ее обогащения проводилось оптико-минералогическим методом в прозрачных шлифах и протолочках (кл. –0,2мм) в сочетании с расчетным методом – по результатам подробного химического анализа пробы. Результаты изучения минерального состава исходной пробы руды (***табл. 2***), показали, что фосфоритовая руда Чилисайского месторождения относится к песчанистому типу желваковых фосфоритов, в составе которых повсеместно преобладают обломочные зерна кварца, т.е. руда этого месторождения представляет собой типичные осадочные обломочные полевошпат-кварцевые породы, сцементированные глинисто-фосфатным или карбонатно-глинисто-фосфатным цементом. Среди зернистого материала, составляющего

Минералы	Содержание (весовые %)
	Исходная руда (шихта)
Курскит (фторкарбонатапатит)	31,8
Кальцит	1,9
Гипс	0,2
Гидроксиды железа	0,8
Кварц	51
Полевые шпаты	3,9
Слюда (мусковит)	0,1
Глауконит и другие гидрослюды	9,8
Прочие	0,5
Итого	100

Таблица 2.
Минеральный состав исходной руды лабораторной пробы

обычно 40–60% объема пород, наряду с кварцем и полевым шпатом, присутствуют также зерна глауконита, карбоната, слюды, гипса, гидроокислов железа и акцессорных минералов.

Изучение минерального состава изучаемой пробы показало, что исходная проба состоит из следующих основных минералов: фосфорита (курсткита), глауконита, кварца, слюды, полевого шпата, гипса и др.

Фосфатные зерна (курскит, фторкабонатапатит) представлены тремя основными разновидностями (генерациями):

– зерна и мелкая галька скрытокристаллического (изотропного) фосфата ранней генерации, характеризуются различными оттенками коричневого и бурого цвета, округлой или овальной формы, с примесью органического вещества и пелитового материала;

– микрокристаллический курскит, слагающий основную массу фосфатного цемента фосфоритных желваков и галек. Этот фосфат темно-серого или коричневого цвета. Он бесструктурный, иногда в виде гроздевидных скоплений, и обычно с примесью рассеянного глинистого материала;

– фосфат радиально-лучистый – хорошо раскристаллизованный, образует оторочки толщиной 0,001–0,003 мм вокруг зерен курскита, кварца, глауконита, а также развивается на внутренних поверхностях открытых трещин и зияющих пор.

Кварц присутствует как в виде хорошо окатанных и полуокатанных зерен размером 0,015–0,8 мм, так и в виде угловатых и угловато-окатанных зерен, обычно более мелкого размера 0,002–0,005 мм. Основная масса кварца сложена достаточно чистыми зернами лишь с единичными микровключениями других минералов. В отдельных случаях отмечается коррозия кварца цементирующим фосфатом. Встречаются зерна кварца с трещинами (0,01–0,02 мм), заполненными глинистым материалом или пигментным глауконитом.

Полевые шпаты представлены преимущественно зернами ортоклаза с преобладающим размером 0,02–0,5 мм. Зерна обычно серицитизированы, а по трещинкам в них развиваются глауконит или лимонит.

Глауконит встречается преимущественно в виде округлых или слегка вытянутых зерен размером 0,1–0,35 мм, ярко-зеленого цвета. Реже отмечается пигментный глауконит, заполняющий трещинки в разрушенных зернах полевых шпатов или же образующий небольшие скопления в фосфатной массе.

Слюда из группы мусковита встречена в виде мелких чешуек, зацементированных в фосфатном цементе, а также в виде более крупных листочков в составе разубоживающих слюдисто-кварцевых песков.

Гипс встречен в пробе в крайне незначительных количествах (0,2%). В единичных случаях отмечается мелкокристаллический гипсовый цемент. В продуктах сухой классификации пробы (кл. +0,5 –1,0 мм) встречены единичные зерна волокнистого гипса.

Гидроксиды железа (лимонит), возникшие главным образом за счет окисления пирита и глауконита, большей частью тонкораспылены по поверхности других минералов – курскита, кварца – и лишь местами наблюдаются более крупные их скопления неопределенной формы, черного, а при боковом свете – красно-бурого, цвета.

Гидрослюды отмечаются в виде тонкого перлитового материала, «распыленного» среди фосфатного цемента фосфоритных желваков и галек, а также в виде тонкой примеси гипергенных новообразований – гипса, кальцита, лимонита.

Акцессории представлены единичными зернами и обломками зерен циркона, турмалина, граната, рутила, сфена др.

Микроскопическое изучение технологических помолов первичного концентрата различной крупности показали, что зерна фосфата в них содержат включения других минералов. При этом выделяется четыре типа основных фосфатных сростков, а именно:

– фосфат + кварц;
– фосфат + гидроксиды железа;
– фосфат + карбонат;
– фосфат + глауконит.

Причем фосфат и кварц образуют сростки с широкой вариацией относительного содержания этих компонентов, фосфат с карбонатом представляют сростками с взаимным прорастанием их друг с другом, иногда с хорошо заметной генерацией срастания, а фосфат с гидроокислами железа образуют агрегаты, в которых последние присутствуют в виде пленок, корочек, точечных и пелитиморфных включений, придающих фосфатам коричневую или бурую окраску, сростки же фосфата представляют собой тесное субмикроскопическое взаимопрорастание минералов.

В процессе выполнения исследований выявлена необходимость соответствующим образом учитывать особенности песчанистых фосфоритов Чилисайского месторождения и, в первую очередь определить оптимальную тонкость помола первичного концентрата, обеспечивающую минимально возможное количество сростков.

При выполнении этих опытов было поставлено три помола до крупности 0,16 мм, 0,1 мм и 0,071 мм. В результате выход классов –0,071 мм и –0,04 мм составлял (в %): в помоле № 1– 50,3 и 35,0, в помоле № 2 – 86,1 и 52,2 и в помоле № 3 – 92,7 и 57,0, соответственно. Из приведенных данных следует, что с увеличением тонкости помола количество образующихся тонкодисперсных шламов (–40 мк) возрастает с 35% при помоле 0,15 мм, до 86,1% при помоле –0,1 мм и до 92,7% при помоле –0,071 мм. Причем при более тонком измельчении наблюдается более высокая степень раскрытия минеральных компонентов. Микроскопическое изучение вышеуказанных технологических помолов первичного фосконцентрата показало, что в помолах № 1, № 2 и № 3 зерна фосфата содержат видимые включения других минералов на уровне 18, 11 и 7%, соответственно. Аналогичные показатели по измельчаемости мытой руды Чилисайского месторождения были получены минералогами ГИГХСа [2, 3], которые своими исследованиями на многочисленных пробах мытой руды показали, что основная масса сростков фосфата с кварцем была вскрыта при измельчении руды до крупности –0,15 мм. Однако полного раскрытия их при таком помоле не происходило, т.к. в нем наблюдалось до 20% минеральных сростков и, особенно – в тонких классах. Просмотр же под микроскопом продуктов измельчения крупностью –0,1 мм показал, что в нем содержание сростков не превышает 8%.

На основании указанных выше данных нами для проведения флотационного дообогащения Чилисайской руды был выбран помол № 3, полученный из сухого, первичного фосконцентрата.

Высокая природная контрастность Чилисайских руд, в которых фосфат в основном концентрируется в крупной фракции (крупнее 0,5 мм), а в мелкой (менее 0,5 мм) – основное рудное сырье, предопределяет использование технологически несложного первичного обогащения руды этого месторождения. В этом случае путем гранулометрической классификации материала по заданной граничной крупности его разделения обеспечивается получение первичного концентратного продукта (фракция +0,5 мм), содержащего 17–18% P_2O_5 при извлечении полезного компонента в него на уровне 75–85%. При этом в отвальные отходы первичного обогащения (фракция –0,5 мм) удаляется из руды свыше 50% пустой породы с минимальными потерями фосфата.

Благоприятный песчанистый состав вмещающих пород в фосруде Чилисайского месторождения, относительно небольшое содержание в ней глинистых шламов и низкая природная влажность материала (5–6%) позволяют осуществлять первичное обогащение данного рудного сырья как традиционным «мокрым» способом (классифицирующая промывка), так и более простым «сухим» способом (сухая классификация). Экспериментальными исследованиями прошлых лет для желваковых фосфоритов предпочтение отдавалось «мокрому» способу их обогащения, как более эффективному с позиции качества получаемого первичного фосконцентрата [9]. Для Чилисайских руд в проекте строительства промышленного обогатительного комплекса также предусматривалась «мокрая» технология первичного обогащения, обеспечивающая получение из руды, содержащей 9,9% P_2O_5 мытого 17,5% по P_2O_5 фосконцентрата при извлечении пятиокиси фосфора в него – 78%.

«Сухой» способ первичного обогащения Челисайской руды в тот период детально не изучался. Исследованиями ограниченного масштаба, проведенными на лабораторных пробах руды различного состава было показано, что качество сухосеянного концентратного продукта (+0,5 мм) по содержанию в нем P_2O_5, как правило, на 1–2% было ниже, чем при мокром способе, т.е. 15,5–16,5% против 17,5–18,5% P_2O_5.

Проведенные нами сравнительные лабораторные исследования «мокрого» и «сухого» ме-

тодов гранулометрической классификации пробы Чилисайской руды показали, что по своему качественному составу первичные фосконцентраты, полученные вышеуказанными способами первичного обогащения, практически равнозначны. Однако при обогащении руды промывкой получены несколько более высокие потери полезного компонента с отходами (–0,5 мм), что обусловлено дополнительным разрушением некоторых малопрочных фосфоритовых образований с переходом тонкодисперстного фосфатного материала в отвальные мелкие фракции. Все это указывает на то, что при наличии дефицита водных ресурсов в регионе Чилисайского месторождения «сухой» метод первичного обогащения фосфоритов является наиболее приоритетным.

Основными задачами при исследовании флотационных свойств Чилисайских тонкоизмельченных фосфоритов являлась:

– изыскать реагенты-собиратели, позволяющие селективно разделять фосфатные минералы от минералов пустой породы из тонковкрапленных Чилисайских фосфоритов;

– разработать реагентный режим и схему флотации фосфата из тонкоизмельченного материала Чилисайских фосфоритов, обеспечивающих получение высококачественных фосконцентратов для химической переработки на концентрированные водорастворимые удобрения.

Изучение флотационных свойств Чилисайской руды осуществлялось по схеме основной, контрольной и перечистных операций флотации фосфата из тонкоизмельченного не обесшламленного материала (кл. –0,071 мм – 93%, в том числе –0,04 мм – 57%) с дофлотацией промежуточных продуктов. Все исследования выполнялись на Любирецкой водопроводной воде повышенной жесткости. В процессе проведения этих флотационных опытов в лабораторных условиях испытывались в качестве собирателей следующие реагенты:

– мыло сырого талового масла из хвойных пород древесины (МСТМ);

– мыло жирнокислотной фракции талового масла из хвойных пород древесины (Тхв);

– фосфорсодержащие ПАВ, обладающие полифункциональными свойствами, устойчивостью к солям жесткости и нечувствительные к тонким шламам (ФФ № 1 и ФФ № 2);

– модификатор М-246 – шведско-финский реагент, успешно используемый при обогащении Ковдорских апатитсодержащих руд (регулятов свойств пены);

– дефлокулянт-оксиэтилированный алкилфенол (ОП-4), успешно используемый при обогащении высокошламистых «окисленных» апатит-нефелиновых руд.

При флотации фосфата вышеуказанными флотационными реагентами применялись как индивидуальные собиратели, так и их смеси с добавками реагентов, обладающими полифункциональными и амфотерными свойствами. Именно сочетание жирнокислотных собирателей с реагентами со специфическими собирательными свойствами обеспечивало предпочтительную селективную флотацию фосфата в условиях повышенных жесткости жидкой фазы и содержания в ней тонких шламов. Флотация фосфата осуществлялась при pH-9, создаваемой каустической содой, а депрессия пустой породы достигалась жидким стеклом или желатизированным крахмалом.

На основании выполненных экспериментальных исследований по изучению вещественного состава и обогатимости фосфоритной руды Чилисайского месторождения разработана рациональная технология обогащения труднообогатимых тонкозернистых фосфато-кремнистых руд этого месторождения, обеспечивающая получение из них флотационных фосфатных концентратов с содержанием не менее 26,2% P_2O_5 при извлечении пятиокиси фосфора в последние свыше 80%.

Разработанная технология фосфоритовой руды Чилисайского месторождения включает следующие основные переделы:

– операцию сухой классификации исходной руды по классу 0,5 мм с получением первичного фосфатного концентрата (класс +0,5), содержащего более 17% P_2O_5;

– флотационное дообогащение первичного концентрата с целью получения высококачественного фосфатного концентрата для химической переработки на концентрированные водорастворимые удобрения.

В основу технологической схему флотационного дообогащения первичного фосфатного концентрата положены:

– измельчение первичного концентрата до крупности –0,071 мм;

– основная флотация фосфата с получением чернового фосконцентрата и камерного продукта – питание контрольной флотации;

– контрольная флотация фосфата из камерного продукта основной флотации с получением пенного продукта и хвостов 1;

– две перечистки чернового фосконцентрата основной флотации в открытом цикле с получением высококачественного концентрата (пенный продукт второй перечистки) и двух промежуточных продуктов перечистных операций;

– совместное сгущение промежуточных продуктов первой и второй перечисток и пенного продукта контрольной флотации с полу-

чением общего сгущеного продукта ~40% тв. и слива;

– дофлотация фосфата из общего сгущенного промежуточного продукта с получением камерного продукта – отвальных хвостов 2 и пенного продукта – фосконцентрата 2, направляемого в основную фосфатную флотацию при проведении замкнутого цикла в непрерывном процессе.

По такой технологической схеме первичнофлотационного обогащения из тонко измельченного материала получается высококачественный флотационный концентрат, пригодный для химической переработки и объединенные хвосты флотации, которые являются отвальным продуктом обогащения.

Результирующие технологические данные флотационного извлечения фосфата из тонкоизмельченного первичного фосконцентрата, полученного из исходной руды по разработанной первичной флотационной технологии, показали, что из тонкоизмельченного труднообогатимого материала, содержащего 18,86% P_2O_5 и 34,9% Н.О. по разработанной флотационной технологии могут быть получены:

– высококачественный фосфатный концентрат с содержанием 26,2–26,42% P_2O_5 и 8,8–10,5% Н.О. при извлечении 87,94–85,3% P_2O_5 и 15,9% Н.О.; выход концентрата 63,1–60,7%;

– общие отвальные продукты, содержащие 6,15–7,03 P_2O_5 и 79,86–82,1% Н.О. при извлечении 12,06–14,7% P_2O_5 и 84,1% Н.О. Выход отвальных продуктов составил 36,9–39,3%.

Для разработанной первично-флотационной технологии глубокого обогащения Чилисайской фосфоритовой руды разработаны реагентная рецептура и реагентный режим, обеспечивающие проведение операции флотации при следующих расходах реагентов (кг/т):

– основная флотация фосфата из флотационной пульпы осуществляется в присутствии жидкого стекла-0,25 или желатизированного крахмала-0,12, а в качестве собирательной смеси используются жирнокислотный реагент МСТМ-1–0,8, фосфорсодержащий реагент ФФ2-0,25–0,2 и реагент-модификатор М-246 -0,56–0,64, общий расход собирательной смеси – 1,87–1,81;

– контрольная флотация фосфата из камерного продукта основной флотации проводится аналогичной собирательной смесью при ее расходе – 0,28–0,3;

– дофлотация фосфата из промежуточных продуктов осуществляется в присутствии жидкого стекла-0,15 или желатизированного крахмала-0,015 при использовании той же собирательной смеси в количестве от 0,25 до 0,35;

– перечистные операции чернового концентрата проводятся без реагентов.

Общее время флотации фосфата из тонкоизмельченного фосконцентрата составляет в зависимости от расходов реагентов 27 мин. – 27 мин. 35 сек.

По разработанной технологии были наработаны опытные образцы фосфоритных концентратов, содержащих 26,2– 26,4% P_2O_5 общим весом 3 кг, для последующих химико-технологических испытаний с получением из них фосфорной кислоты. В минеральном составе наработанных образцов фосконцентратов суммарное количество фосфата превышало 90%, а число видимых сростков с кварцем, глауконитом, гидроокислами железа и глинистыми минералами составляло 5%. В составе концентрата наблюдались также свободные зерна кварца (~ 4%), гауконита (1–2%), рыхлых скоплений глинистых минералов (3–4%), а также единичные зерна полевых шпатов и кальцита. Эти образцы были переданы для испытаний в ЛенНИИ ГИПРОХИМ, которые были выполнены с положительными результатами.

Разработанная на основании выполненного комплекса исследований по изучению вещественного состава и обогатимости Чилисайской фосфоритовой руды технология ее обогащения обеспечивала получение высококачественного фосфоритного концентрата при достаточно высоком технологическом извлечении в него полезного компонента. Эта технология была рекомендована ТОО «Казцинк» для проведения укрупненных ее испытаний в непрерывных условиях с последующей выдачей исходных данных на промышленное проектирование соответствующей обогатительной фабрики.

Литература

1. Смирнов А.И. Вещественный состав фосфоритовых руд основных промышленных месторождений СССР //Геология и месторождение фосфоритов. 1974. Вып. 26. С. 84–101.
2. Блисковский В.З. и др. Вещественный состав и обогатимость желваковых фосфоритовых руд. М. 1981.
3. Блисковский В.З. Вещественный состав и обогатимость фосфоритовых руд. М.: Недра. 1983. С. 56–80.
4. Лыгач А.В. и др. Исследование вещественного состава фосфоритов Егорьевского месторождения //Сборник материалов XI конгресса стран СНГ. М. 2017. С. 305–309.
5. McConnell D. Apatite, its crystal chemistry, mineralogy, utilization and geologic and biologic occurrences. Wien-New York, 1973, 111 p.
6. McClellan G., Lehr J. Crystal chemical investigation of natural apatites/ Amer. Miner., 1969, 54, no. 9-10, p. 1374-1391.
7. Ратобыльская Л.Д., Бойко Н.Н., Кожевников А.О. Обогащение фосфатных руд. М.: Недра. 1979.

8. Блисковский В.З. О курските и франколите //Литология и полезные ископаемые. 1986. № 3. С. 75–84.
9. Холомянский И.Я. Исследование влияния обжига на флотационные свойства минералов желваковых фосфоритов и разработка технологий их обогащения. Автореф. дис... канд. техн. наук». М. 1973.
10. Ангелов А.И., Левин Б.В., Черненко Ю.Д. Фосфатное сырье. М.: Недра. 2000.
11. Набиулин Ю.Н. Производство и применение фосфоритной муки. М.: НИТОХИМ. 1979.
12. Ангелов А.И., Коршунов В.В., Левин Б.В. Перспектива вовлечения низкосортного фосфатного сырья в производстве удобрений //Труды НИУИФ – 85 лет. М. 2004. С. 237–293.
13. Классен П.В., Завертьяева Т.П. Исследование технологии фосфатных удобрений с использованием сырья различных месторождений //Труды НИУИФ – 85 лет. М. 2004. С. 158–174.
14. Классен П.В., Сущев С.В., Кладос Д.К. и др. Изучение возможности использования отечественных фосфоритов (на примере Егорьевских) для получения экстракционной фосфорной кислоты и фосфорсодержащих удобрений //Химическая промышленность сегодня. 2010. № 2. С. 21–31.
15. Левин Б.В., Довиденко В.В., Сущев С.В. и др. Актуальность и практические шаги по вовлечению низкосортного фосфатного сырья в переработку на сложные удобрения //Химическая промышленность сегодня. 2006. № 11. С. 11–18.
16. Лыгач А.В., Игнаткина В.А. Флотационное обогащение бедных желваковых фосфоритовых руд //Материалы международной конференции «Ресурсосбережение и охрана окружающей среды при обогащении и переработки минерального сырья» СПб, 2016. С. 529–532.

UDC 553.641

A.V. Lyigach, Graduate Student of Department of Processing and Processing of Minerals and Technogenic Raw Materials of Moscow Mining Institute[1]. National University of Science and Technology "MISIS", victor–gog6@yandex.ru

[1]6 Leninsky avenue, Moscow, 119049, Russia

The Technology of Obtaining Phosphate Concentrates for Chemical Processing for Complex Concentrated Fertilizers from Nodular Phosphorites of Sandy Type (on the Example of the Chilisai Deposit)

Abstract. The article presents the results of researches on studying of the material composition and dressability of the sample zhelvakova phosphate ore sandy type Chilisai Deposit. A result, the development of rational combination with primary (classification) – the flotation technology of deep enrichment. This technology ensures the production of poor phosphorus refractory phosphate ore Chilisai Deposit high quality flotation phosphate concentrate containing more than 26% P2O5 that is suitable for complex water–soluble phosphorus fertilizers.

Keywords: raw rock phosphate; nodular phosphorite; Chilisai deposit; mineral composition; ore preparation; primary enrichment; washing; washed to concentrate; dry classification; enrichment; flotation; reflotation; flotation concentrate; tailings; intermediate products; technology; enrichment; reagents many functional actions

References

1. Smirnov A.I. ***Veshchestvennyi sostav fosforitovykh rud osnovnykh promyshlennykh mestorozhdenii SSSR*** [Material composition of phosphorite ores of the main industrial deposits of the USSR]. ***Geologiia i mestorozhdenie fosforitov*** [Geology and the deposit of phosphorites], 1974, issue 26, pp. 84–101.
2. Bliskovskii V.Z. i dr. ***Veshchestvennyi sostav i obogatimost' zhelvakovykh fosforitovykh rud*** [Material composition and enrichment of nodular phosphorite ores]. Moscow, 1981.
3. Bliskovskii V.Z. ***Veshchestvennyi sostav i obogatimost' fosforitovykh rud*** [Material composition and enrichment of phosphorite ores]. Moscow, Nedra Publ., 1983, pp. 56–80.
4. Lygach A.V. i dr. ***Issledovanie veshchestvennogo sostava fosforitov Egor'evskogo mestorozhdeniia*** [Investigation of the material composition of the phosphorites of the Yegoryevsky deposit]. Proc. of the 11th Congress of the CIS countries. Moscow, 2017, pp. 305–309.
5. McConnell D. Apatite, its crystal chemistry, mineralogy, utilization and geologic and biologic occurrences. Wien-New York, 1973, 111 p.
6. McClellan G., Lehr J. Crystal chemical investigation of natural apatites/ Amer. Miner., 1969, 54, no. 9-10, p. 1374-1391.
7. Ratobyl'skaia L.D., Boiko N.N., Kozhevnikov A.O. ***Obogashchenie fosfatnykh rud*** [Enrichment of phosphate ores]. Moscow, Nedra Publ., 1979.
8. Bliskovskii V.Z. ***O kurskite i frankolite*** [About the Kurskite and the Francolite]. ***Litologiia i poleznye iskopaemye*** [Lithology and minerals], 1986, no. 3, pp. 75–84.
9. Kholomianskii I.Ia. ***Issledovanie vliianiia obzhiga na flotatsionnye svoistva mineralov zhelvakovykh fosforitov i razrabotka tekhnologii ikh obogashcheniia*** [Investigation of the effect of calcination on flotation properties of minerals of nodular phosphorites and development of technologies for their enrichment. Abstract of PhD thesis]. Moscow, 1973.
10. Angelov A.I., Levin B.V., Chernenko Iu.D. ***Fosfatnoe syr'e*** [Phosphate raw materials]. Moscow, Nedra Publ., 2000.
11. Nabiulin Iu.N. ***Proizvodstvo i primenenie fosforitnoi muki*** [Production and application of phosphate flour]. Moscow, NITOKhIM Publ., 1979.
12. Angelov A.I., Korshunov V.V., Levin B.V. ***Perspektiva vovlecheniia nizkosortnogo fosfatnogo syr'ia v proizvodstve udobrenii*** [The prospect of involving low-grade phosphate raw materials in the production of fertilizers]. ***Trudy NIUIF – 85 let*** [Proceedings of NIUIF- 85 years]. Moscow, 2004, pp. 237–293.
13. Klassen P.V., Zavert'iaeva T.P. ***Issledovanie tekhnologii fosfatnykh udobrenii s ispol'zovaniem syr'ia razlichnykh mestorozhdenii*** [Research of technology of phosphate fertilizers with the use of raw materials of various deposits]. Trudy NIUIF – 85 let [Proceedings of NIUIF- 85 years]. Moscow, 2004, pp. 158–174.
14. Klassen P.V., Sushchev S.V., Klados D.K. i dr. ***Izuchenie vozmozhnosti ispol'zovaniia otechestvennykh fosforitov (na primere Egor'evskikh) dlia polucheniia ekstraktsionnoi fosfornoi kisloty i fosforsoderzhashchikh udobrenii*** [Study of the possibility of using domestic phosphorites (by the example of the Yegoryevskys) for obtaining extraction phosphoric acid and phosphorus-containing fertilizers]. ***Khimicheskaia promyshlennost' segodnia*** [Chemical Industry Today], 2010, no. 2, pp. 21–31.
15. Levin B.V., Dovidenko V.V., Sushchev S.V. i dr. ***Aktual'nost' i prakticheskie shagi po vovlecheniiu nizkosortnogo fosfatnogo syr'ia v pererabotku na slozhnye udobreniia*** [Urgency and practical steps to involve low-grade phosphate raw materials into processing for complex fertilizers]. ***Khimicheskaia promyshlennost' segodnia*** [Chemical Industry Today], 2006, no. 11, pp. 11–18.
16. Lygach A.V., Ignatkina V.A. ***Flotatsionnoe obogashchenie bednykh zhelvakovykh fosforitovykh rud*** [Flotation enrichment of poor nodular phosphorite ores]. Proc. of int. conf "Resource conservation and environmental protection in the enrichment and processing of mineral raw materials",St. Petersburg, 2016, pp. 529–5