

УДК 622.7+622.364

Ф. Ф. Можейко, чл.-кор. НАН Беларуси; Т. Н. Поткина, канд. хим. наук (ИОНХ НАН Беларуси);
И. И. Гончарик, канд. техн. наук (ИОНХ НАН Беларуси)

ХАРАКТЕРИСТИКА БЕЛОРУССКИХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ФОСФОРИТНЫХ РУД

Показано, что фосфоритные руды Республики Беларусь состоят в основном из фосфата, кварца, полевого шпата, глауконита. Фосфатные слои залегают в отложениях песчаного, песчано-глинистого и кварцево-глауконитового типа. Фосфат находится в виде нескольких разновидностей: фосфатный цемент, свободные мелкие зерна фосфата, сростки фосфата с глауконитом и глинистым минералом. Белорусские фосфоритные руды по своим минералогическим, структурно-текстурным и технологическим признакам схожи с отложениями месторождений фосфоритов Русской платформы и для их переработки применимы те же методы обогащения.

It was shown that phosphorite ores Republic of Belarus consists mainly of phosphate, quartz, feldspar, glauconite. Phosphate layers are deposited in the sediments of sand, sand-clay and quartz-glauconite type. Phosphate is located in several varieties phosphate cement, free small grains of phosphate, phosphate bunches with glauconite and clay minerals. Belarusian phosphate ore in their mineralogical, structural-textural and technological characteristics similar to sediment phosphorite deposits of Russian platform and for their processing applied the same methods of enrichment.

Введение. Ранее единственным источником сырья, используемого для производства фосфорных удобрений на Гомельском химическом заводе, являлся апатитовый концентрат, поставляемый из Хибинского месторождения Мурманской области. Поставка фосфатного сырья по мировым ценам из столь удаленного от Гомеля района резко увеличила стоимость готовой продукции. При этом необходимо иметь в виду, что запасы концентрированных апатитов на Кольском полуострове уже практически исчерпаны, что также вызывает острую необходимость изыскания новых источников фосфатного сырья, создания собственной сырьевой базы за счет использования открытых в Республике Беларусь фосфоритных месторождений (Мстиславльское, Лобковичское – в Могилевской обл., Ореховское, Приграничное – в Брестской обл.).

Из обнаруженных в Республике Беларусь месторождений фосфоритных руд наиболее разведанными и изученными являются Мстиславльское и Лобковичское месторождения, на которых выделены перспективные участки фосфоритных отложений с рентабельной мощностью продуктивного пласта и подсчитаны запасы фосфоритной руды – желваков фосфоритов. В результате предварительной

разведки подсчитано, что запасы фосфоритных руд по категориям C_1 и C_2 составляют на Мстиславльском месторождении 175 млн. т, на Лобковичском – 246 млн. т, всего 421 млн. т, что свидетельствует о наличии значительных запасов фосфоритных руд в республике. Среднее содержание P_2O_5 по этим месторождениям составляет 7,4%, средняя мощность продуктивной толщи – 1,1–1,8 м. Анализ научно-технической литературы по фосфоритным рудам показывает, что по качеству фосфоритные руды белорусских месторождений не уступают многим эксплуатируемым или намеченным к эксплуатации месторождениям в других республиках СНГ (Брянское, Егорьевское, Вятско-Камское), в Прибалтике (Маарду, Тоелсе, Азери и др.), в странах дальнего зарубежья.

Основная часть. На Мстиславльском и Лобковичском месторождениях фосфоритовая фация представлена желваками фосфоритов, фосфоритовой плитой и песчано-желвачным слоем. Желваки фосфоритов – темно-серые до черных, разной окатанности, сгружены в прослойки размером от 0,5 до 10–12 см (преобладают 2–4 см). Фосфоритовая плита представляет желваки, сцементированные фосфатным цементом, с включением кремней и зерен кварца. В табл. 1 приводится состав фации, вскрытой скв. 201 на месторождении Мстиславль.

Таблица 1

Состав фосфоритовой фации Мстиславльского месторождения

Слои	Глубина, м	Мощность, м	Содержание P_2O_5 , %
Песчано-желвачный с желваками фосфоритов 30%	12,90–13,00	0,10	6,33
Фосфоритовая плита	13,00–13,05	0,05	13,77
Желвачно-песчаный материал с желваками фосфоритов 90%	13,05–13,40	0,35	15,40
Желвачно-песчаный материал с желваками фосфоритов 50%	13,40–13,55	0,15	7,52
Песчано-желвачный материал с желваками фосфоритов 20%	13,55–14,20	0,65	3,68
<i>Среднее</i>			7,87

Обычно фосфоритовая фация представлена одним или двумя слоями. На месторождениях Лобковичи и Мстиславль она залегает почти горизонтально и характеризуется мощностью 0,1–2,1 м. Распространение фосфоритовой плиты локальное. Мощность ее обычно 0,5–10,0 см. Мощность вскрышных пород зависит от рельефа. Она больше на водоразделах и меньше в долинах рек и оврагах.

Лобковичское месторождение расположено в 10 км к северу от г. Кричева. Продуктивная толща залегает на глубине 20,5–79,0 м. Средняя мощность вскрышных пород – 35 м. Мощность рудного горизонта – 0,10–2,95 м. Содержание P_2O_5 – 0,9–18,2%, Fe_2O_3 – 0,2–6,5%. По результатам предварительной разведки запасы руды по категории C_1 составляют 18,6 млн. т (P_2O_5 1 млн. т), по категории C_2 – 227 млн. т.

Строение сеноманской продуктивной толщи на месторождении, состав и качество руд аналогичны таковым на Мстиславльском. Подстилаются сеноманские отложения песчано-глинистыми отложениями верхней юры, а перекрываются четвертичными флювиогляциальными (табл. 2). Руды обоих месторождений пригодны для получения фосфоритной муки I и II сортов с содержанием P_2O_5 29 и 23% соответственно. В качестве попутных компонентов могут быть получены пески строительные и формовочные, мел, мергель, глауконит, фтор.

Ореховское месторождение состоит из нескольких залежей, располагающихся в базальном горизонте киевских отложений. Геолого-промышленный тип оруденения – желваковый. Фосфоритовая руда представляет собой гравийно-песчаные отложения с желваками фосфоритовых песчаников. Примечательная особенность руд – отсутствие фосфоритной плиты, что делает их более благоприятными для отработки по сравнению с рудами мелового Сожского фосфоритового бассейна.

Содержание фосфорного ангидрида в рудах 4,44–9,90 %, среднее – 5,92 %. Формовочные

пески составляют 34,5% исходной руды, а содержание фтора – 0,99%. Средняя мощность вскрыши – 31,7 м, рудных тел – 1,58 м. Запасы категорий C_2+P_1 для всех залежей на площади 115,4 км² составляют 229,3 млн. т руды (13,6 млн. т P_2O_5), в том числе по категории C_2 – 84,6 млн. т руды. Ресурсы формовочных песков 38,2 млн. т, фтора – 2,27 млн. т. Руды пригодны для получения фосфоритной муки и концентрированных удобрений.

Приграничное месторождение представлено двумя пластами желваковых фосфоритов в аналогичных Ореховскому месторождению породах. Запасы по категории C_2+P_1 составляют 19,2 млн. т (1,24 млн. т фосфорного ангидрида). Среднее содержание P_2O_5 – 6,43%.

Изучение вещественного состава, текстурно-структурных особенностей белорусских фосфоритовых руд имеет важное значение для разработки научных основ их обогащения, а также технологии дальнейшей переработки на фосфорные удобрения. Для исследований нами были использованы технологические пробы фосфоритной руды Мстиславльского и Лобковичского месторождений, отобранные опытно-методической партией БелГЕО. Вещественный состав проб изучался методами химического, спектрального, минералогического и гранулометрического анализов.

Пробы состоят из неправильной или округлой формы желваков фосфоритов плотной текстуры с кварцево-глауконитовыми песками разной крупности и степени окатанности – от угловатых до окатанных песчаных зерен, кварцевой гальки и кремнистых стяжений с желваками и агрегатами разных размеров. Самый крупный класс пробы, выделенный отсевом из глауконито-кварцевого песка, представляет собой фосфатные желваки, куски фосфоритовой плиты темно-серого иногда буровато-черного цвета с белесыми включениями различных обломков. Размер желваков составляет от 40 до 80 мм в поперечнике. Масса желвачного материала при отсеве класса –10 мм составляет 40% от исходной руды.

Таблица 2

Содержание основных компонентов в желваковых фосфоритах Могилевской обл., %

Химический компонент	Месторождение		
	Лобковичское	Мстиславльское	Ореховское
P_2O_5	0,9–18,2	1,2–18,0	5,2–8,1
Fe_2O_3	0,2–6,5	1,8–4,5	0,6–1,4
CaO	0,8–26,1	2,8–42,7	8,2–12,3
MgO	0,2–1,0	0,1–6,4	0,1–0,3
Al_2O_3	1,2–3,9	1,4–4,2	1,4–2,3
TiO_2	0,1–2,2	0,1–0,6	–
SiO_2	38,4–90,6	13,8–87,6	72,4
Нерастворимый остаток	37,0–97,3	20,4–91,1	–
Гигроскопическая влажность	0,3–1,0	0,5–1,6	–

В среднем содержание желваков на участках Мстиславльского и Лобковичского месторождений находится в пределах 20–40% от общей массы руды, иногда достигает 50–80%. Содержание P_2O_5 в единичных желваках колеблется в пределах 11,0–18,3%; Fe_2O_3 – 1,41–3,73%. Желваковые фосфоритные руды Республики Беларусь, согласно данным [1, 2], состоят в основном из фосфата, кварца, полевого шпата, глауконита. Фосфатные слои залегают в отложениях песчаного, песчано-глинистого и кварцево-глауконитового типа. Фосфат находится в виде нескольких разновидностей: фосфатный цемент желваков, свободные мелкие зерна фосфата, сростки фосфата с глауконитом и глинистым минералом.

Определенная нами одна из проб Мстиславльского месторождения при измельчении по классу –0,16 мм имеет следующий химический состав, %: P_2O_5 – 18,32; SiO_2 – 39,59; Al_2O_3 – 0,98; Fe_2O_3 – 2,73; FeO – 0,35; TiO_2 – следы; CaO – 27,90; MgO – 0,80; SO_3 – 0,76; п.п.п. – 6,70; Na_2O – 0,64; K_2O – 0,65. Сумма равна 99,98.

Фосфоритовая плита несет все характерные признаки желваков. Химический состав изученных конкреций фосфоритов, %: P_2O_5 – 10,22; SiO_2 _{общ} – 40–57; Al_2O_3 – 1,3–2,6; Fe_2O_3 – 1,7–4,8; TiO_2 – 0,1; CaO – 18,4–28,3; F – 2,0; MgO – 0,2–0,9; Na_2O – 0,4; K_2O – 0,6–0,7; MnO – до 0,1; CO_2 – 3,0–4,5; SO_3 – 1,0–2,3; гигроскопическая влага – 0,5–0,8; прочие примеси – 5,10–10,95. В среднем минералогический состав фосфоритовой плиты и желваков фосфоритов следующий, %: кварц – 40–77; глауконит – 5–50; полевые шпаты – 5–50; фосфориты – 5–30.

Диапазон изменения химического состава руд фосфоритовой плиты и вмещающих пород Мстиславльского и Лобковичского месторождений по разновидностям (фосфоритовая плита; желваки с содержанием 5–70% песка; вмещающие пески, содержащие 10–30% желваков; пески с единичными желваками) представлен в табл. 2.

В среднем фосфоритовые руды белорусских месторождений относятся к подтипу бедных маложелезистых руд желвакового типа, для которых характерно невысокое содержание P_2O_5 – 5–13%. Количество Fe_2O_3 также небольшое – около 4%. Фосфат, глауконит и кварц являются основными минералами фосфоритных руд белорусских месторождений. В небольших количествах встречаются гидроксиды железа, гидрослюды, кальцит, полевой шпат, органическое вещество. Фосфат состоит из беспорядочно расположенных пучков различных игольчатых кристаллов длиной 0,03–0,05 мм и более крупных

зерен до 0,3 мм, промежутки между которыми заполнены глауконитом, кварцем, органическим веществом. Содержание кварца в желваковых фосфоритах колеблется от 41 до 77%, в предоставленной пробе – 63,3%. Главным носителем железа и алюминия в фосфатной руде является глауконит, оказывающий наиболее отрицательное влияние при дальнейшей химической переработке фосфоритов на концентрированные удобрения. Глауконит встречается в руде в виде округленных зерен размером от 0,05 до 0,75 мм, окрашенных в зеленый цвет различных оттенков, от светло-зеленого (зерна меньше 0,2 мм) до темно-зеленого, почти черного (размером больше 0,3 мм). Как и другие минералы, он пронизан фосфатом, ангидритом, органическим веществом, пиритом. Прослеживаются бесцветные полевые шпаты, а также красно-розовый калиевый полевой шпат. Суммарное содержание полевого шпата – до 2%. Встречается тонкодисперсный кальцит в основном в желваках серой окраски с содержанием до 6%, гидратированный ангидрит в виде тонкозернистых агрегатов серовато-белого цвета в фосфатном цементе. Крупность сопутствующих минералов в фосфоритах Могилевской обл. составляет: кварца – 0,024 мм; глауконита – 0,03–0,50 мм; полевого шпата – 0,08–5,00 мм.

По результатам спектрального анализа установлено, что в предоставленной пробе фосфоритовой руды содержатся, %: никель – 0,002; магний – 0,015; марганец – от 0,006 до 0,030; кобальт – 0,001; титан – 0,15; ванадий – 0,006; хром – 0,007; цирконий – 0,02; медь – 0,0004–0,0030; свинец – <0,004; стронций – 0,03–0,06; цинк – до 0,012; присутствует также бериллий, таллий, иттербий и ряд других химических элементов. Отмечаются незначительные количества урана – 0,0015–0,0030% и практически отсутствует торий.

Анализ химического состава предоставленной технологической пробы в сравнении с другими, ранее изученными пробами Мстиславльского, Лобковичского, Ореховского месторождений, показывает (табл. 2), что все они сходны между собой по минеральному составу. Отличие между ними заключается лишь в количественных соотношениях входящих химических минералов. Содержание Fe_2O_3 , Al_2O_3 , MgO и других компонентов варьируется в тех же пределах, а концентрация P_2O_5 близка к среднему содержанию, составляющему 7,15–7,54%.

Основная масса фосфатного материала (до 94,85%) во всех изученных пробах сосредоточена в крупных классах (+0,5 мм). Содержание P_2O_5 в классе +1 мм колеблется в пределах 10,2–15,7%, в классе –0,5 мм концентрация P_2O_5 составляет 1,7–3,3% (табл. 3).

Выход класса +1 мм достигает 60% от исходной руды. Кварц большей частью концентрируется

в более мелких фракциях. Содержание SiO_2 в классе $-0,5$ мм составляет 84,1%. Об этом также свидетельствуют ранее полученные данные при изучении фосфоритности сеноманских отложений на востоке Беларуси [2], а также фосфоритов юго-запада Московской синеклизы [3]. Следовательно, классификация исходной фосфоритной руды по классу $+1$ мм приводит к ее обогащению. Это создает благоприятные условия для предварительного обогащения белорусских фосфоритов и выделения в процессе промывки и классификации в тонкие классы основной массы песка (табл. 4).

Из табл. 4 следует, что содержание P_2O_5 в мытом концентрате составляет 16,0% при выходе его 56,1% и извлечении 93,5%. Отвальные хвосты процесса промывки фосфоритовой руды, содержащие 1,42% P_2O_5 с выходом 43,9% и извлечением 6,5%, выводятся из процесса и направляются на хвостохранилище.

Результаты химического анализа промытой фосфоритной муки показали, что уменьшилось содержание оксидов кремния, алюминия, железа в мытом продукте. С целью повышения содержания P_2O_5 в продукте полученный мытый фосфоритовый концентрат подвергался дальнейшему обогащению методом флотации.

Для диагностики фосфатного материала использованы рентгенофазовый, термический и ИК-спектроскопический методы анализа. Исследован один из желваков фосфорита из-

вестного химического состава из отложений Мстиславльского месторождения. Следует отметить, что кальциевые фосфаты фосфоритных залежей, к которым относятся белорусские месторождения, часто называют апатитоподобными, подчеркивая их структурное и химическое сходство с этими минералами $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{P}_2$. В то же время фосфаты различных фосфоритов имеют целый ряд отличительных от апатитов черт и особенностей.

В табл. 5 приведены результаты рентгенофазового анализа исследуемого образца. Рентгенограммы записаны на дифрактометре ДРОН-3 (CuK_α – излучение, Ni – фильтр). Как видно из таблицы, исследуемый образец фосфорита представлен в основном кварцем и минералом из изоморфного ряда фторкарбонат-apatитов, состав которых можно выразить формулой $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_{4,8}(\text{CO}_3\text{OH})_{1,2}\text{F}_2$. Г. И. Бушинский [4] в своей системе фосфатных минералов различал два фторкарбонатапатита: франколит ($n = 0,8$) и курскит ($n = 1,2$). Франколит, в свою очередь, оказывается промежуточным членом изоморфного ряда фторапатит – курскит.

Результаты рентгеноструктурного анализа показывают, что фосфатные минералы желваковых фосфоритов представлены в основном фторкарбонатапатитом (курсцитом), а оптические и рентгеноструктурные параметры типичны для месторождений Русской платформы, что хорошо согласуется с литературными данными.

Таблица 3

Результаты ситового анализа фосфоритов Ореховского месторождения

Фракции, мм	Выход, %	Содержание, %				Извлечение, %			
		P_2O_5	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	P_2O_5	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
+10	39,75	11,51	64,15	0,94	1,55	66,75	33,50	30,70	40,50
-10+5	9,90	12,04	66,23	0,80	1,77	16,85	8,65	6,20	11,30
-5+2,5	5,90	6,50	79,08	0,78	1,37	6,00	6,05	3,65	5,30
-2,5+1,0	4,05	3,70	88,94	0,73	1,02	2,25	4,65	2,40	2,80
-1,0+0,5	15,35	6,15	95,09	1,00	0,79	3,00	18,80	11,15	7,15
-0,5+0,315	2,85	1,73	90,27	1,86	1,35	0,55	3,30	4,45	2,85
-0,315+0,2	5,10	2,06	95,09	1,75	0,83	0,70	6,25	5,30	2,80
-0,2+0,16	5,10	1,94	93,92	1,45	1,16	0,55	6,15	6,05	3,25
-0,16+0,1	6,70	3,32	89,44	2,14	2,38	0,90	7,80	11,35	9,55
-0,1+0,063	1,60	1,83	76,30	3,55	4,10	0,50	1,25	4,45	4,10
-0,063+0,05	1,15	2,15	70,20	4,05	4,93	0,55	0,95	3,35	3,20
-0,05	2,55	2,30	66,30	5,08	4,79	1,40	2,20	10,10	7,25
Исходная руда	100,00	5,70–8,20	73,20–80,60	1,23	1,84–2,94	100,00	100,00	100,00	100,00

Таблица 4

Гранулометрический состав промытой фосфоритовой руды и распределение P₂O₅ по классам крупности (содержание P₂O₅ в руде составляет 9,6%)

Классы, мм	Выход, %	Содержание P ₂ O ₅ , %	Извлечение P ₂ O ₅ , %
+10	33,4	15,52	54,0
-10+1,0	22,7	16,70	39,5
-1,0	43,9	1,42	6,5

Таблица 5

Межплоскостные расстояния (*d*) и относительная интенсивность дифракционных линий (*I*) образца фосфорита Мстиславльского месторождения

№	Образец		ASTM, 5-490, SiO ₂		ASTM, 18-303, Ca ₃ (PO ₄) ₂ ·nH ₂ O		Курскит	
	<i>d</i> , Å	<i>I</i> , %	<i>d</i> , Å	<i>I</i> , %	<i>d</i> , Å	<i>I</i> , %	<i>d</i> , Å	<i>I</i> , %
1	4,58	7	—	—	—	—	—	—
2	4,45	5	—	—	—	—	—	—
3	4,29	53	4,26	35	—	—	—	—
4	4,07	8	—	—	4,08	10	—	—
5	3,89	5	—	—	3,87	6	—	—
6	3,47	34	—	—	3,44	55	3,44	30
7	3,37	227	3,34	100	—	—	—	—
8	3,27	5	—	—	—	—	—	—
9	3,19	13	—	—	3,16	10	3,16	10
10	3,07	16	—	—	3,08	12	3,06	30
11	2,81	108	—	—	2,80	100	2,79	100
12	2,70	57	—	—	2,72	35	2,69	30
13	2,63	30	—	—	2,64	20	2,62	20
14	2,61	6	—	—	—	—	—	—
15	2,52	5	—	—	2,52	8	2,51	10
16	2,47	20	2,46	12	—	—	—	—
17	2,29	21	2,28	12	2,30	6	2,28	10
18	2,25	30	2,24	6	2,25	14	2,23	30
19	2,20	3	—	—	—	—	—	—
20	2,17	3	—	—	2,16	10	—	—
21	2,13	24	2,13	9	—	—	2,13	20
22	2,07	7	—	—	2,06	10	—	—
23	2,02	4	—	—	—	—	—	—
24	2,00	5	—	—	—	—	—	—
25	1,99	17	1,98	6	1,99	10	—	—
26	1,94	25	—	—	1,94	45	1,93	50
27	1,88	15	—	—	1,89	10	1,88	10
28	1,86	5	—	—	—	—	—	—

ИК-спектры записывались на инфракрасном спектрофотометре UR-20, дериватограммы снимались на дериватографе Q-1000. В ИК-спектрах фосфоритов Мстиславльского месторождения фиксируются ярко выраженные полосы поглощения при 569, 605, 970, 1040–1047, 1100 см⁻¹, характерные для фосфатного минерала фосфоритов и обусловленные валентными и деформационными колебаниями аниона PO₄³⁻. Полосы поглощения при 460, 517, 650, 694, дуплет 775–800, 1628 см⁻¹ присущи кремнеземной и глауколитовой составляющим фосфоритов.

Установлено также присутствие в структуре фосфатного вещества незначительного количе-

ства гидроксильных групп при поглощении 650–670, 3540, 3575, 3695 см⁻¹, полосы их валентных колебаний расположены в области 3440 см⁻¹ (пик 3426 см⁻¹). Пики поглощения при 3540 и 3580 см⁻¹, причем очень слабо выраженные на крыле широкой полосы поглощения валентных колебаний молекул воды в области 3440 см⁻¹, обязаны валентным колебаниям группировок OH...F и OH...O.

Кроме того, в ИК-спектре фосфорита наблюдаются две полосы поглощения при 1428 и 1458 см⁻¹, обусловленные дважды вырожденными ассиметричными валентными колебаниями аниона CO₃²⁻, тогда как в ИК-спектрах кальцита

или доломита колебание этой группы дает одну полосу в области 1430 см^{-1} . Это наблюдение совпадает с полученными ранее данными и доказывает, что карбонатная примесь входит в структуру фторкарбонатапатитов, к которым и принадлежит курскит.

На дериватограммах фосфоритов отчетливо выражены две стадии дегидратации материала. В интервале $40\text{--}220^\circ\text{C}$ из фосфата удаляется адсорбционная, не связанная в решетке фосфата вода (0,62%).

При дальнейшем повышении температуры происходит постепенное окисление органического вещества и начинается удаление конституционной воды, связанной в минерале более прочно. Эти реакции протекают в широкой области температур $240\text{--}590^\circ\text{C}$ и сопровождаются на кривых дифференциального термического анализа экзотермическим эффектом при 340°C , обусловленным выгоранием органического вещества, а также эндоэффектом за счет потери конституционной воды при 580°C . Установленная потеря массы в указанном интервале температур составляет 2,25%.

После завершения дегидратации начинается выделение CO_2 из структуры фосфата, и почти полная декарбонизация достигается при 800°C . Содержание CO_2 в фосфате определяется как потеря массы в этом интервале и составляет 2,63% (химический анализ). Общая потеря массы равна 6,0%, что хорошо согласуется с данными химического анализа (6,6%).

При 790°C наблюдается эндотермический эффект, переходящий в экзотермический с максимумом при 840°C , что соответствует возможной перестройке кристаллической решетки минерала во фторапатитовую. Следовательно, при термическом воздействии возможно изменение не только структуры самого фосфата, но и минералов пустой породы, что в свою очередь должно положительно сказаться на последующей селективной флотации фосфата.

Фосфоритовые руды белорусских месторождений обладают невысокой степенью раскristаллизации и характеризуются сильной вкрапленностью в другие минералы. Кроме того, не только сами фосфаты, но и большинство других сопутствующих породообразующих минералов, таких как глауконит, гидрослюда, доломит, халцедон, имеют невысокую степень раскristаллизации. Лишь кварц представлен, как указывалось, относительно крупными (0,03–0,50 мм) окатанными обломками монокристаллов. Из-за слабой раскristаллизации большинства минералов, слагающих руды

желваковых фосфоритов, технологические помолы их даже при тонкодисперсном измельчении ($-0,16\text{ мм}$) содержат большое количество (25–30%) сростков фосфата с другими минералами и даже центрифугированием в тяжелых средах не удается выделить мономинеральные фосфатные фракции с высоким извлечением P_2O_5 . Так, в выделенных центрифугированием из тяжелых жидкостей фосфатных продуктах крупностью менее 0,074 мм содержание P_2O_5 составляет 29,5–30,5% при извлечении 30–40%. Удельный вес выделенных фракций колеблется в пределах $2,85\text{--}2,95\text{ г/см}^3$ с показателем преломления $1,596\text{--}1,620$.

Из-за высокой вкрапленности желваковых фосфоритов пределы измельчения таких руд с целью дальнейшего их обогащения достигают $0,15\text{--}0,10\text{ мм}$. Однако даже при таком измельчении, как показали исследования, обогащенный концентрат содержит основного вещества (P_2O_5) 27–28%, т. е. меньше, чем концентрат, получаемый при обогащении апатитов ($\approx 40\% \text{ P}_2\text{O}_5$). Очевидно, что для полного раскрытия фосфата, обособления его в более мономинеральные частицы с целью получения высококачественных фосфоритовых концентратов, кондиционных для химической переработки, необходимо измельчать желваковые руды до еще более тонкодисперсных фракций.

Заключение. Таким образом, показано, что желваковые руды белорусских месторождений по своим минералогическим, структурно-текстурным и технологическим признакам схожи с одновозвратными отложениями месторождений желваковых фосфоритов Русской платформы и для их переработки применимы те же методы обогащения.

Литература

1. Богомолов, Г. В. Фосфориты Белоруссии / Г. В. Богомолов, В. А. Ермоленко. – Минск : Навука і тэхніка, 1981. – 117 с.
2. Копысов, Ю. Г. О вещественном составе альб-сеноманских фосфоритов и вмещающих пород юго-запада Московской синеклизы и смежных регионов / Ю. Г. Копысов, Л. Н. Михайлова // Вещественный состав фосфоритов. – Новосибирск: Наука, 1979. – С. 127.
3. Баришевский, С. А. Фосфоритоносность сеноманских отложений востока БССР / С. А. Баришевский // Твердые полезные ископаемые БССР. – Минск: Навука і тэхніка, 1970. – С. 94.
4. Бушинский, Г. И. Классификация фосфоритов / Г. И. Бушинский // ДАН СССР. – 1946. – № 2. – С. 130–133.

Поступила 31.03.2010