УДК 622.7.017.2

ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОГАТИМОСТИ КАЛИЙНОЙ РУДЫ НОВЫХ УЧАСТКОВ СТАРОБИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ И ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ОЖИДАЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЕЕ ПЕРЕРАБОТКИ

А. С. ГОРБАЧЕВ, директор Первого РУ

ОАО «Беларуськалий», Солигорск, Беларусь

Е. М. МИСЬКОВ, старший научный сотрудник

ОАО «Белгорхимпром», Минск, Беларусь

А. В. БОГАЧЕНКО, главный инженер Второго РУ

С. В. ПЕРЕЩУК, начальник технологического отдела, s.pereschuk@kali.by

ОАО «Беларуськалий», Солигорск, Беларусь

Изучен минералогический и гранулометрический состав калийных руд новых участков Старобинского месторождения (Березовского, Нежинского, Дарасинского) для обоснования технологии флотации сильвина из этих руд.

Ключевые слова: *месторождение калийных руд, новые участки, исследование на обогатимость, минералогический и гранулометрический состав, флотация, сильвин, ожидаемые показатели обогащения.*

DOI: *10.17580/gzh.2018.08.13*

Введение

Разработка и усовершенствование технологического процесса переработки калийсодержащих руд с достижением высоких качественно-количественных и технико-экономических показателей на фоне изменения сырьевой базы возможно только на основе получения достоверной информации о перерабатываемом сырье. Для определения прогнозных технологических показателей обогащения минерального сырья необходимо изучение способностей полезного минерала отделяться от сопутствующих минералов и вредных примесей в процессе обогащения [1–12]. Технологические аспекты флотационного и галургического обогащения калийных руд освещены в работах [13–17].

Минерально-сырьевая база калийной промышленности Беларуси представлена разнообразными рудами, в основном среднеобогатимыми. При относительно простом минеральном составе (сильвин, галит, галопелиты), сильвиниты характеризуются значительным разнообразием структур и текстур, изучение которых представляет большой практический интерес с позиции более эффективной переработки сырья.

Теоретические исследования и практика флотационного обогащения сильвинитовых руд показали, что эффективность процесса флотации зависит от множества факторов. Главными из них являются: массовая доля полезного компонента в руде и наличие в ней вредных примесей; распределение сильвина, галита, примесей по классам крупности руды; степень раскрытия зерен ценного компонента и структура вкрапленности основных составляющих минералов руды, температура окружающей среды и др.

С целью поддержания и развития рудной базы ОАО «Беларуськалий» в ОАО «Белгорхимпром» изучены возможности флотационного обогащения руд Березовского, Нежинского и Дарасинского участков Старобинского месторождения с прогнозированием ожидаемых технологических показателей переработки.

Характеристика руд новых участков месторождения

Руды калийных залежей Нежинского участка, прилегающие к шахтному полю Четвертого рудоуправления, по своему составу отличаются более высокой массовой долей хлористого калия в сравнении с рудами действующих шахтных полей (**табл. 1**) и в основном малым содержанием нерастворимого остатка (н. о.), за исключением руды сильвинитового IV слоя Третьего калийного горизонта (содержание н. о. – 11,29 %). Минералогические исследования сильвинитов Первого, Второго и Третьего калийных горизонтов на площади детальной разведки участка показали, что они залегают на доступной глубине и обладают качеством, отвечающим требованиям кондиций (содержание хлористого калия, хлористого магния, н. о.). Данные руды могут быть отнесены к одному технологическому типу – хлоридному.

По основным кондиционным параметрам по Третьему калийному горизонту выделены два продуктивных пласта: нижний, включающий II и III слои и слой промежуточной каменной соли (II-III), и верхний – IV слой.

Для Третьего калийного горизонта Дарасинского участка (Западная площадь Северного участка Старобинского месторождения) оценочными кондиционными параметрами были выделены два продуктивных пласта: нижний, включающий II и III слои и промежуточный слой каменной соли (II-III), и верхний – IV слой. Руда Чет-

Таблица 1. Результаты химического анализа руды новых участков Старобинского месторождения

Участок	Горизонт	Массовая доля, %	
		KCl	Н. О.
Березовский	Третий	24,41	3,20
Нежинский	Первый	30,70	8,41
	Второй	26,30	1,35
	Третий, II-III слой	32,42	4,24
	Третий, IV слой	34,90	11,29
Дарасинский	Третий	26,45	7,46
	Четвертый	24,36	6,17

вертого калийного горизонта включает сильвинит VI, VII, VIII продуктивных слоев и VII-VIII промежуточного слоя каменной соли.

С июля 2012 г в целях поддержания мощностей Первого рудоуправления идет вовлечение в переработку запасов Третьего калийного горизонта Березовского участка, расположенного в южной части Четвертого шахтного поля.

Исследование гранулометрического состава руд новых участков при их дроблении до флотационной крупности (–1,25, –1 мм) показало, что характер распределения хлористого калия и н. о. по классам крупности в основном такой же, как и для руд действующих шахтных полей: представительной фракцией для обогащения является фракция руды крупностью –0,8+0,5 (0,25) мм. Нерастворимый остаток концентрируется в двух классах: крупных (карбонатно-ангидритная часть) и мелких – ниже 0,25 мм (глинистые минералы).

Изучение флотируемости руд новых участков

Образование тонкодисперсного солевого и глинистого шлама при измельчении руды до флотационной крупности оказывает отрицательное влияние на флотационный процесс разделения минералов, так как из-за своей высокой удельной поверхности они адсорбируют значительное количество дорогостоящих флотореагентов – собирателей сильвина; в результате снижается эффективность последующих операций, увеличиваются потери полезного компонента с отходами производства. Максимально высоким выходом тонкого класса –0,25 (0,2) мм характеризуется руда Четвертого горизонта Дарасинского участка (39,84 %). Минимальный выход данного класса (19,82 %) характерен для руды Второго горизонта Нежинского участка (**табл. 2**).

Анализ этих показателей очень важен при оценке обогатимости руды, раздробленной до флотационной крупности, и, несомненно, данные результаты необходимо учитывать при подготовке руды к флотации в процессе ее дробления, измельчения и обесшламливания.

По результатам исследований шлифов руд под микроскопом и по результатам проведенного фракционного анализа в тяжелых жидкостях руд, раздробленных до крупности –10; –5 и –3 мм, было определено, что руда Нежинского участка содержит большое количество агломерированных чистых сильвиновых зерен крупнее –3 и –5 мм [14], но которые при измельчении разрушаются, не улучшая гранулометрического состава концентрата.

Фракционирование рудного материала в тяжелых жидкостях также показало, что при дроблении до флотационной крупности –1,25 (1) мм для большинства изученных руд возможно получение из крупнозернистой части руды +0,2 (0,25) мм отвальных хвостов с низким значением в них массовой доли KCl (1,02–1,63 %), кроме руды Первого горизонта Нежинского участка (2,09 %).

Максимальное извлечение KCl в концентратную фракцию получено для руды II-III слоя Третьего горизонта Нежинского участка (67,27 %), минимальное (47,95 %) – для руды Третьего горизонта Березовского участка.

Степень раскрытия зерен сильвина (фракция <2000 кг/м^3) для всех руд достаточно высокая: максимальное значение получено для руды Второго горизонта Нежинского участка – 75,37 %; минимальное значение – для руды Первого горизонта этого же участка – 61,02 % (**табл. 3**).

Исследования флотационной активности сильвина, входящего в состав руды новых участков Старобинского месторождения, показали возможность получения концентратов после трех пере-

Таблица 2. Результаты фракционного анализа руд новых участков Старобинского месторождения по классу +0,25 (0,2) мм в тяжелых жидкостях при дроблении их до флотационной крупности

Участок	Горизонт	Концентратная фракция <2000 (2030) кг/ м^3					Класс –0,25 (0,2) мм				
		Выход от руды, %	Массовая доля, %		Извлечение, %		Выход от руды, %	Массовая доля, %		Извлечение, %	
			KCl	Н. О.	KCl	Н. О.		KCl	Н. О.	KCl	Н. О.
Березовский	Третий	12,36	96,69	0,16	47,95	0,61	26,02	25,82	10,45	27,04	90,02
Нежинский	Первый	17,69	95,15	0,14	54,59	0,32	25,84	22,88	23,34	19,14	70,76
	Второй	15,80	96,76	0,21	59,86	2,51	19,82	23,37	5,17	17,81	67,48
	Третий, II-III слой	22,41	94,93	0,23	67,27	1,07	24,23	24,89	17,60	18,85	92,20
	Третий, IV слой	18,07	97,31	0,60	51,12	1,02	33,30	20,82	33,04	20,09	93,72
Дарасинский	Третий	13,85	96,50	0,09	49,86	0,18	30,87	23,02	20,42	26,49	86,77
	Четвертый	16,10	95,05	0,20	61,25	0,50	39,84	15,84	11,95	25,58	78,29

чистных операций с массовой долей KCl выше 90 % (по твердому веществу) и небольшой массовой долей н. о. Максимальное извлечение KCl в концентрат получено для руды Первого горизонта Нежинского участка – 88,5 %, минимальное – для руды IV слоя Третьего горизонта этого же участка – 84,5 % (**табл. 4**). Хвосты флотации, кроме хвостов, выделенных из руды IV слоя Третьего горизонта Нежинского участка, получены с очень низкой массовой долей KCl (около 1 %).

В целом потери KCl с отходами (хвосты флотации и шламовый продукт) невысокие, исключение составляет сильвинит IV слоя Третьего горизонта Нежинского участка, в котором высокая массовая доля н. о. в руде обусловливает высокий выход шламового продукта и, соответственно, высокие потери KCl с этим продуктом.

Учитывая, что калийная руда новых участков Старобинского месторождения будет поступать на действующие обогатительные

Таблица 3. Показатели концентратной фракции (<2030 кг/м³), полученные при фракционном анализе руды новых участков Старобинского месторождения, дробленой до флотационной крупности –1,25 (1,0) мм

Участок	Горизонт	Крупность дробления, мм	Выход концентратной фракции с массовой долей KCl не менее 95 %, %	Извлечение KCl в концентратную фракцию, с массовой долей KCl не менее 95 %, %	Степень раскрытия сильвина (по фракции <2000 кг/м³), %
Березовский	Третий	–1,0	14,28	54,61	67,75
Нежинский	Первый	–1,25	17,58	54,07	61,02
	Второй	–1,25	17,40	63,55	75,37
	Третий, II-III слой	–,25	22,35	67,00	74,64
	Третий, IV слой	–1,25	22,14	60,97	64,73
Дарасинский блок	Третий	–1,25	15,76	55,80	69,10
	Четвертый	–1,0	15,94	61,38	74,86

Таблица 4. Прогнозируемые показатели при обогащении сильвинитовых руд новых участков Старобинского месторождения (по результатам флотационных исследований)

Горизонт	Концентрат перечисток		Извлечение KCl, %	Хвосты флотации	Примечание
	Выход, %	Массовая доля KCl, %		Массовая доля KCl, %	
Березовский участок					
Третий	23,34	91,5	87,5	1,45	–
Смесь руд: Первый горизонт 1-го РУ – 21 %; Третий горизонт 1-го РУ – 58 %; Березовский участок – 21 %	27,03	91,0	86,4	1,35	–
Нежинский участок					
Первый	28,72	95,40	88,5	1,35	II, IV, V сильвинитовые слои совместно со слоями каменной соли (III-IV и IV-V)
Второй	24,9	91,5	86,5	1,35	I, II сильвинитовые слои совместно со слоем каменной соли (I-II)
Третий	31,3	91,0	86,5	1,35	II, III сильвинитовые слои совместно со слоем каменной соли (II-III)
	31,96	90,8	84,5	2,0	IV сильвинитовый слой с массовой долей н. о. более 10 %
Западная площадь Северного участка (Дарасинский участок)					
Третий	25,42	90,0	86,5	1,26	Общая технологическая проба (с учетом разубоживания руды при добыче)
	32,64	90,5	85,5	1,26	IV сильвинитовый слой
	32,18	91,0	86,5	1,26	Второй-Третий продуктивный пласт при валовой отработке
Четвертый	25,44	91,5	87,5	1,26	VI, VII, VIII сильвинитовые слои и VII-VIII промежуточный слой каменной соли
	23,2	90,8	86,5	1,26	Общая технологическая проба (с учетом разубоживания руды при добыче)

фабрики, концептуально рекомендуемая технология должна включать следующие основные схемообразующие операции: дробление и измельчение руды до флотационной крупности –1,25 (1) мм; пятистадиальное комбинированное обесшламливание с получением в питании флотации свободного н. о. не более 0,3 %; раздельное кондиционирование и флотацию сильвина из крупной +0,25 (0,2) мм и мелкой –0,25 (0,2) мм фракций руды; перечистку чернового концентрата в одну стадию в пневмоэжекторных флотомашинах; раздельное обезвоживание крупнозернистого и мелкозернистого концентрата, агломерирование пылевых фракций концентрата.

Заключение

Таким образом, технологическая оценка обогатимости исследуемых руд, проведенная на основании результатов разделения солевых минералов в тяжелых жидкостях и флотационных исследований, позволяет утверждать о возможности переработки сильвинитовых руд новых участков Старобинского месторождения флотационным способом отдельно по горизонтам или в смеси с рудами других горизонтов этих участков, или с рудами различных горизонтов эксплуатируемых рудников с извлечением KCl в концентрат не ниже 86 % и массовой доли KCl в концентрате не ниже 95 %.

Библиографический список

1. Подготовка минерального сырья к обогащению и переработке / под ред. В. И. Ревнивцева. – М. : Недра, 1987. – 307 с.
2. *Флинтофф Б.* Совершенствование технологий Metso по обогащению полезных ископаемых // Горная промышленность. 2012. № 5(105) С. 24.
3. *Абрамов А. А.* Теоретические основы создания инновационных технологий флотации. Часть 1. Теоретические основы современной флотации // Цветные металлы. 2013. № 2. С. 17–21.
4. *Абрамов А. А.* Теоретические основы создания инновационных технологий флотации. Часть 2. Теоретические основы физико-химического моделирования процессов селективной флотации руд цветных металлов. // Цветные металлы. 2013. № 3. С. 11–15.
5. *Абрамов А. А.* Теоретические основы создания инновационных технологий флотации. Часть 3. Теоретические основы интенсификации технологических процессов флотации // Цветные металлы. 2013. № 4. С. 12–17.
6. *Кудряшов А. И.* Верхнекамское месторождение солей. 2-е изд. – М. : Эпсилон Плюс, 2013. – 368 С.
7. *Шумская Е. И., Сизых А. С.* Полупромышленные испытания флотационной технологии получения гематитового концентрата из окисленных железистых кварцитов // Горный журнал. 2014. № 11. С. 78–83.
8. *Shuhua Dua, Zhenfu Luo.* Flotation technology of refractory low-grade molybdenum ore // International Journal of Mining Science and Technology. 2013. Vol. 23. Iss. 2. P. 255–260.
9. *Nemchinova L. A., Zimin A. V.* Thermomechanical aspect of selective flotation of sphalerite and pyrite // Eurasian Mining. 2015. No. 1. P. 19–22.
10. *Brown T. J., Wrighton C. E., Idoine N. E.* World Mineral Production 2010–2014. – Nottingham : British Geological Survey, 2016. – 60 p.
11. *Heffer P., Prudhomme M.* Medium-Term Outlook for Global Fertilizer Demand, Supply and Trade 2007–2011 // Transactions of the 75th IFA Annual Conference Istanbul, Turkey. – Paris : IFA, 2007. P. 5–6.
12. *Shaygan M., Reading L. P., Baumgartl T.* Effect of physical amendments on salt leaching characteristics for reclamation // Geoderma. 2017. Vol. 292. P. 96–110.
13. *Вишняк Б. А., Поляков А. Е., Миськов Е. М.* Совершенствование технологических схем и оборудования на калийных флотационных фабриках // Рудник будущего. 2011. № 4(8). С. 6–11.
14. *Шемет С. Ф., Турко М. Р., Вишняк Б. А., Волчок С. Ф., Миськов Е. М.* Автоматизированные системы управления в современных технологиях калийных обогатительных фабрик // Горный журнал. 2014. № 2. С. 59–66.
15. *Тетерина Н. Н., Сабиров Р. Х., Сквирский Л. Я.* Технология флотационного обогащения калийных руд / под общ. ред. Л. Н. Кириченко. – Пермь : ОГУП «Соликамская типография», 2002. – 482 с.
16. *Любущенко А. Д., Пастухов А. В., Башкардина Е. А.* Особенности производства калийных удобрений на РУП «ПО «Беларуськалий» // Горный журнал. 2010. № 8. С. 51–53.
17. *Турко М. Р., Белькевич Т. И., Соловьева Л. А., Коратченя Т. Н.* Исследование влияния качества руды на извлечение хлористого калия в концентрат // Горная механика и машиностроение. 2017. № 1. С. 5–11. ГЖ

«GORNYI ZHURNAL», 2018, № 8, pp. 89–93
DOI: 10.17580/gzh.2018.08.13

Study and predictive estimate of processability of potash ore in new mining sites of the Starobin deposit

Information about authors
A. S. Gorbachev[1], Director of Mine Managment 1
E. M. Miskov[2], Senior Researcher
A. V. Bogachenko[1], Chief Engineer of Mine Managment 2
S. V. Pereshchuk[1], Head of Processing Department, s.pereschuk@kali.by

[1] Belaruskali, Soligorsk, Belarus
[2] Belgorkhimprom, Minsk, Belarus

Abstract
In order to maintain and expand ore supplies base of Belaruskali, which is necessary for the sustainable production of potash fertilizers and to meet the requirements of the world market of mineral fertilizers, the studies of sylvinite ore in new areas of the Starobin deposit are carried out. Among all previously explored areas, the Berezovsky, Nezhinsky and Darasinsky sites are of the highest interest as they are the most studied.
Development and improvement of potash processing technology alongside with achieving high qualitative, quantitative, technical and economic standards, as well as enhancement of quality of processing products in the course of changing the raw material supplies base is only possible on the ground of reliable information on the raw materials to be treated. In order to predict production data of processing, in turn, it is necessary to study processability of useful components, i.e. their ability to separate from accompanying minerals and contaminants, including dissociation capacity of grains, floatability and and other preparation characteristics of useful components.
The experimental studies on processability of potash ore in the specified areas, which are carried out by means of heavy medium separation and the resultant product analysis, as well as the floatation experiments prove processability of raw materials from the new mining sites of the Starobin deposit by means of floatation of ore from separate mining horizons, or blended with ore from other mines in order to reach high production data (not less than 86 %) of the currently operating flotation factories.

Keywords: potash ores deposit, new mining sites, processability study, mineralogical and granulometric composition, flotation, sylvine, expected processing data.

References

1. Preparation of mineral raw materials to dressing and processing. Ed.: V. I. Revnivtsev. Moscow : Nedra, 1987. 307 p.
2. Flintoff B. Refining Metso mineral processing technologies. *Gornaya promyshlennost.* 2012. No. 5(105). p. 24.
3. Abramov A. A. Theory of creation of innovation flotation technologies. Part I. Theory of modern flotation. *Tsvetnye Metally.* 2013. No. 2. pp. 17–21.
4. Abramov A. A. Theory of creation of innovation flotation technologies. Part II. Physical and chemical modeling theory of the selective flotation processes of non-ferrous metals' ores. *Tsvetnye Metally.* 2013. No. 3. pp. 11–15.
5. Abramov A. A. Theory of creation of innovation flotation technologies. Part III. Theory of intensification of technological processes of flotation. *Tsvetnye Metally.* 2013. No. 4. pp. 12–17.
6. Kudryashov A. I. Upper Kama Salt Deposit. Second edition. Moscow : Epsilon Plus, 2013. 368 p.
7. Shumskaya E. I., Sizykh A. S. Increasing of gold extraction from polymetallic ore of Novoshirokinskoe deposit. *Gornyi Zhurnal.* 2014. No. 11. pp. 78–83.
8. Shuhua Dua, Zhenfu Luo. Flotation technology of refractory low-grade molybdenum ore. International *Journal of Mining Science and Technology.* 2013. Vol. 23, Iss. 2. pp. 255–260.
9. Nemchinova L. A., Zimin A. V. Thermomechanical aspect of selective flotation of sphalerite and pyrite. *Eurasian Mining.* 2015. No. 1. pp. 19–22.
10. Brown T. J., Wrighton C. E., Idoine N. E. World Mineral Production 2010–2014. Keyworth, Nottingham, British Geological Survey, 2016. 60 p.
11. Heffer P., Prudhomme M. Medium-term outlook for global fertilizer demand, supply and trade 2007–2011. Transactions of the 75th IFA Annual Conference, Istanbul, Turkey. Paris : IFA, 2007. pp. 5–6.
12. Shaygan M., Reading L. P., Baumgartl T. Effect of physical amendments on salt leaching characteristics for reclamation. *Geoderma.* 2017. Vol. 292. pp. 96–110.
13. Vishnyak B. A., Polyakov A. E., Miskov E. M. Improvement of equipment and flowsheets at potassium flotation plants. *Rudnik budushchego.* 2011. No. 4(8). pp. 6–11.
14. Shemet S. F., Turko M. P., Vishnyak B. A., Volchok S. F., Miskov E. M. Automated control systems in modern technologies of potassium concentrating plants. *Gornyi Zhurnal.* 2014. No. 2. pp. 59–66.
15. Teterina N. N., Sabirov R. Kh., Skvirsky L. Ya. Flotation Technology for Potash Ore. L. N. Kirichenko (Ed.). Perm : Solikamskaya tipografiya, 2002. 482 p.
16. Lyubushchenko A. D., Pastukhov A. V., Bashkardina Y. A. Potash fertilizers production peculiarities at RUE "PA "Belaruskali". *Gornyi Zhurnal.* 2010. No. 8. pp. 51–53.
17. Turko M. P., Bialkevich T. I., Solouyova L. A., Koratchenya T. N. Research of impact of the ore quality on extraction of potash chloride into concentrate. *Gornaya mekhanika i mashinostroenie.* 2017. No. 1. pp. 5–11.