

## ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ КАЛИЙНЫХ РУД ЗАЛЕЖЕЙ ПРИПЯТСКОГО КАЛИЕНОСНОГО БАСЕЙНА

Н.С. Петрова, Н.Ю. Денисова

Государственное предприятие «НПЦ по геологии»  
Филиал «Институт геологии»  
ул. Купревича, 7, 220084, Минск, Беларусь  
E-mail: petrova@gmail.com  
denisov.nat@yandex.by

*За последние годы в формировании минерально-сырьевой базы и устойчивом развитии горно-перерабатывающего комплекса калийной промышленности возросла роль и значение минералого-технологических показателей. В работе рассматриваются требования к технологической изученности калийных залежей Припятского калиеносного бассейна. Несмотря на то, что разработка калийных руд в Республике Беларусь ведется с середины прошлого столетия, целенаправленных работ по минералого-технологическому изучению не проводилось. Не существует унифицированной методики геолого-технологической оценки запасов калийных руд при проведении геологоразведочных работ и освоении месторождений. Основной недостаток проводимых геолого-технологических исследований – отсутствие полного учета изменчивости вещественного состава руд в пространстве и степени обогатимости различных типов и разновидностей калийных руд, поэтому даже самый тщательный отбор и изучение представительных проб, являющихся основой технологической оценки запасов, не дают должного эффекта.*

Экономические показатели работы калийной промышленности тесно связаны с эффективностью взаимодействия минерально-сырьевого и горноперерабатывающего комплексов. Дальнейшее освоение калийных месторождений Припятского калиеносного бассейна в значительной степени определяется параметром «оценка качества» минерального сырья, объединяющего результаты всего комплекса исследовательских методов контроля. Качество руды минерально-сырьевого объекта определяют структурно-текстурные особенности, форма нахождения полезного компонента (свободная или в сростании), общий минеральный состав. Полезное ископаемое становится минеральным сырьем только после его технологического изучения.

Между степенью разведанности месторождения и изученностью природных и технологических типов и сортов руд существует четкое соответствие, определяемое как степень детальности изу-

чения. Геологи, находясь, по меткому выражению специалистов-технологов калийной промышленности, в «голове процесса», должны обеспечивать прогнозно-технологическую оценку калийных солей, то есть определять прогнозные показатели обогащения на основе выявленных связей между минералого-петрографическими особенностями калийных солей в горном массиве и их поведением в процессе технологического передела.

В настоящее время при промышленной оценке месторождений калийных солей на разных стадиях разведки значительно возросла роль технологического изучения запасов сильвинитовых руд, которое уточняет геолого-промышленные параметры и подчеркивает достоверность их определения. Параметры вещественного состава, текстурно-структурные особенности и физико-химические свойства сильвинитов определяют обогатимость калийных руд.

В настоящее время не существует унифицированной методики геолого-технологической оценки запасов калийных руд при проведении геологоразведочных работ. При эксплуатации часто обнаруживается, что вещественный состав руд и их обогатимость изучены недостаточно, выделенные при разведке технологические типы и сорта руд не соответствуют действительным ни по числу, ни по характеристике, ни по локализации в пространстве, а фактические показатели обогащения зачастую ниже проектных. Основной недостаток проводимых геолого-технологических исследований – недостаточно полный учет изменчивости вещественного состава руд в пространстве и обогатимости различных типов и разновидностей калийных руд, поэтому даже самый тщательный отбор и изучение представительных проб, являющихся основой технологической оценки запасов, не дают должного эффекта.

Количественными критериями оценки степени технологической изученности являются:

1) представительность технологических проб (ПРС):  $PPc = (\check{c} - c_i) \cdot 100/\check{c}$ , где  $\check{c}$  – средние значения параметров вещественного состава,  $c_i$  – значения параметров вещественного состава по совокупности проб или представительной пробе (критическое значение критерия для запасов категории А от 10 до 25%). Отдельная технологическая проба считается представительной, если достоверно установленные качественные показатели отличаются от средневзвешенного на величину, не превышающую погрешности определения среднего, то есть соблюдается условие  $(C - m) < c < (C + m)$ , где  $C$  – значение параметра в технологической пробе;  $c$  – среднее значение по характеризующему объекту;  $m$  – погрешность опробования.

$$m = \left( \frac{S_p}{\sqrt{n_p}} + P_{\text{клас п}} \right) + \left( \frac{S_T}{\sqrt{n_T}} + P_{\text{лаб Т}} \right)$$

где  $S_p$ ,  $S_T$  – стандартное отклонение по рядовым и технологическим пробам;  $P_{\text{лаб п}}$ ,  $P_{\text{лаб Т}}$  – лабораторная погрешность рядовых и технологических проб;  $n_p$ ,  $n_T$  – число проб рядовых и технологических; 2) соответствие опробованности месторождения детальности технологической классификации запасов; 3) число представительных проб, которое зависит от степени изменчивости параметров вещественного состава, определяемых коэффициентами вариации; 4) воспроизводимость показателей обогащения.

Полноценные технические условия на отбор представительных проб, которые помимо содер-

жаний полезного компонента и вредных примесей, входящих в кондиции, должны характеризовать и другие важнейшие параметры вещественного состава, отсутствуют. Значительную сложность представляют получение необходимого количества материала при отборе технологических проб из керна скважин, а также правильное опробование очистных выработок и всего горного массива в период эксплуатации.

Прогнозно-технологическая оценка запасов, являясь частью геологоразведочного процесса, проводится путем применения комбинированных методов изучения: геолого-петрографического, химико-минералогического и технологического. Требования к ней основаны на следующих принципах: выделение природных генетических типов, оценка обогатимости калийных руд, определение критериев для выделения и характеристики технологических типов и сортов калийных руд, связь этих критериев с показателями обогащения и определение тенденций совершенствования этапов передела, определение четких количественных показателей для отнесения калийной руды к тому или иному технологическому типу (сорт), единообразие норм и признаков, лежащих в основе выделяемых единиц классификации.

При промышленной оценке месторождений калийных солей на разных стадиях разведки значительно возросла роль технологического изучения запасов руд, которое уточняет геолого-промышленные параметры и подчеркивает достоверность их определения. Для оценки достоверности изученности необходимо наличие стандарта нормативных документов, контролирующей степень детальности изучения, определяющих четкое соответствие между степенью разведанности месторождения и изученности природных и технологических типов и сортов руд. Прогнозные показатели обогащения обеспечиваются только на основе выявленных связей между минерало-петрографическими особенностями калийных солей в горном массиве и их поведением в процессе технологического передела.

Параметры вещественного состава, текстурно-структурные особенности и физико-химические свойства определяют обогатимость калийных руд. Следует обратить внимание на необходимость включения показателей обогатимости и при проведении прогнозно-минералогических исследований, особенно крупномасштабного районирования.

Задача разработки требований к оценке и изучению параметров качества калийных руд,

включая технологическое опробование, была поставлена руководством РУП «Белгеология» в 2006 г. при проведении научно-исследовательских работ. Впервые были подробно рассмотрены особенности изучения технологических свойств калийных руд Припятского прогиба, выделены критерии обогатимости и технологические типы сильвинитовых руд промышленных горизонтов красноцветной ассоциации, подготовлены и согласованы со специалистами-технологами ОАО «Белгорхимпром» «Требования к изучению вещественного состава технологических проб сильвинитовых руд». При составлении требований для обеспечения полноты геологического изучения, рационального комплексного использования и охраны недр учтен ряд директивных и рекомендательных материалов, практика отбора и испытания технологических проб [1; 2; 7; 8].

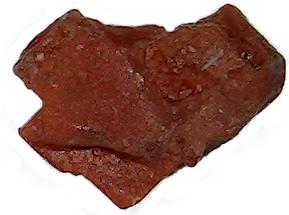
В подготовленном документе рассмотрены технические требования к изучению вещественного состава технологических проб сильвинитовых руд на всех стадиях геологоразведочного процесса на калийные соли и эксплуатационной разведки с целью унификации методических подходов к исследованию вещественного состава технологических проб для получения сопоставимых результатов по всем этапам геологоразведочного процесса и эксплуатации месторождения (участка); согласования разрабатываемых материалов по технологической оценке калийных руд с нормативно-методической документацией Государственной комиссии по утверждению запасов Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, а также других ведомств; учета современных направлений инновационного развития геологической отрасли и перерабатывающих предприятий; обеспечения единой научно-технической политики и управления качеством научно-исследовательских работ в отрасли при технологической оценке калийных руд. Требования подготовлены на основе большого фактического материала по структурно-вещественной характеристике сильвинитовых руд с учетом аналогичных материалов по другим калиеносным бассейнам мира и направлены на оказание практической помощи недропользователям и организациям, осуществляющим подготовку материалов по подсчету запасов полезных ископаемых и представляющих их на государственную экспертизу, а также при составлении ТЭО кондиций на освоение новых участков и месторождений калийных солей в Припятском калиеносном бассейне.

При исследовании минералогического состава узких классов изучается распределение свободных зерен сильвина (или галита) и сростков. Распределение свободного сильвина – один из важнейших параметров, который позволяет выделить представительный класс для обогащения и верхнюю границу раскрытия зерен сильвина. Количество сростков (срастания) и их морфологические особенности значительно варьируют в зависимости от особенностей залежей калийных руд. В качестве примера приведены основные типы зерен и сростков в технологических пробах Старобинского и Петриковского месторождений (рис. 1, 2).

Степень раскрытия определяется для отдельных классов крупности в зависимости от величины зерна и в виде интегральной степени раскрытия (среднее значение неравномерно зернистой измельченной породы). Для полноты идентификации минералогического состава и прогнозной оценки продуктов обогащения проводится фракционный анализ в тяжелых жидкостях с калиброванными величинами плотности (рис. 3).

Коэффициент срастания – частное от деления учетверенной площади  $F(4F)$  минерала или мономинерального агрегата на периметр  $U$ , измеренный в шлифе [9]. Очевидно, что это соотношение для изометричных (приравненных к шаровидным в объеме) зерен приближается к среднему диаметру. Чем меньше коэффициент, тем сильнее срастание, и наоборот. Если рассматривать два одинаковых по площади зерна, то зерно с большим периметром – сильносросшееся, а с малым – слабосросшееся. Эта зависимость показывает важность исследований формы зерен полезного минерала в породе. По результатам измерений отмечается определенная параллелизация между ходом кривой раскрытия и коэффициентом срастания. Так, в крупнозернистых разностях красных сильвинитов Старобинского месторождения с размером зерен до 5 мм коэффициент срастания составляет 3,1 мм, а для зерен до 3 мм – 1,5 мм. Согласно классификации [9], основная масса сильвинитов с такими параметрами относится к среднесросшимся, и для них возможно достижение раскрытия сильвина до 75% (на руду в целом). По степени раскрытия красные сильвиниты залежей Припятского калиеносного бассейна наиболее близки к сильвинитам Верхнерейнского грабена (рис. 4) [4].

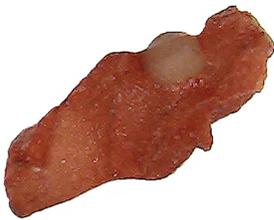
Наряду с исследованием гранулометрического спектра, изучается характер срастания полезного минерала с галитом: в шлифах с помощью качественного и количественного определения коэффициента срастания; непосредственным



Свободные зерна сильвина



Свободные зерна сильвина агломерированные



Двойные богатые сростки прочные



Двойные богатые сростки непрочные



Двойные бедные сростки прочные



Двойные бедные сростки непрочные

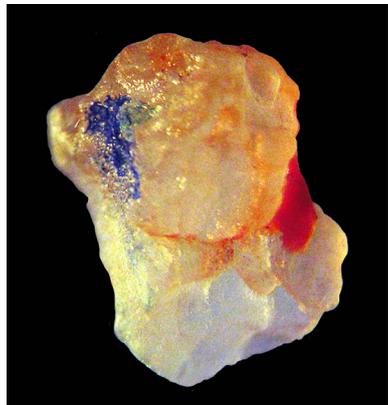
Рисунок 1 – Морфоструктурные особенности калийных руд залежей Старобинского месторождения по материалам исследований технологических проб (класс -1,25 + 0,8 мм)



Свободные зерна сильвина



Двойные богатые сростки непрочные



Двойной богатый сросток прочный



Двойной бедный сросток прочный



Двойные бедные сростки непрочные



Рисунок 2 – Морфоструктурные особенности калийных руд залежей Петриковского месторождения по материалам исследований технологических проб (класс  $-1,25 + 0,8$  мм)

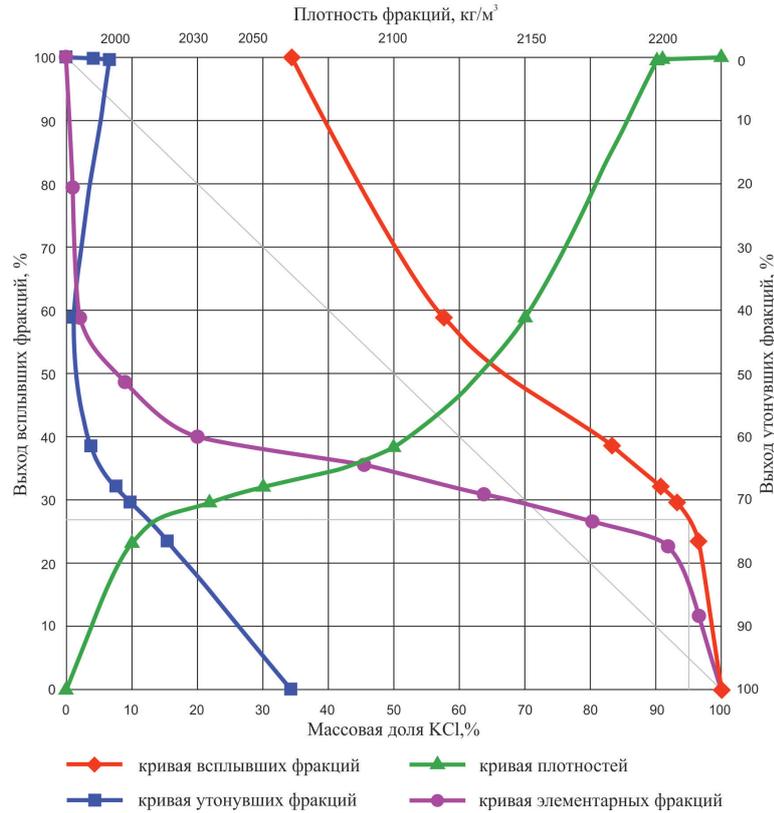


Рисунок 3 – Кривые обогатимости руд крупностью -3,15 + 0,25 мм III калийного горизонта Нежинского участка Старобинского месторождения

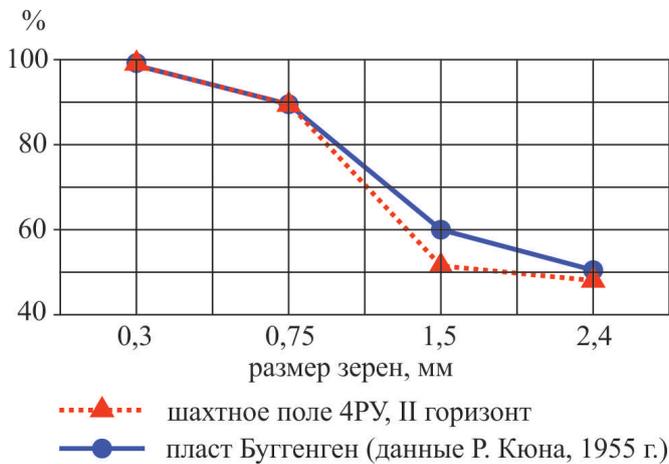


Рисунок 4 – Раскрытие сильвина в сильвинитах II калийного горизонта Старобинского месторождения (шахтное поле 4 РУ) [4] и пласта Буггинген (Верхнерейнский грабен, ФРГ) [9]

КАРБОНАТНЫМ ВЫКАПНИ

получением кривой срастания, где степень раскрытия  $A = (\% \text{ свободного сильвина} / \% \text{ свободный} + \% \text{ сросшийся сильвин}) \cdot 100$ , представлена в зависимости от величины зерна раздробленной руды и определяется как процентное отношение раскрываемого полезного минерала с содержанием  $a'$  к общему содержанию  $a$  используемого мине-

рала [9]. Степень раскрытия определяется в зависимости от величины зерна для отдельных классов крупности зерна, а также как среднее значение (равное интегральной степени раскрытия) неравномерно зернистой измельченной породы. Если следует разделить измельченную породу с общим содержанием  $S$  полезного компонента на  $n$  ситовых фракций и степени раскрытия этих ситовых фракций будут  $A_1, A_2 \dots A_n$ , их весовые доли  $p_1, p_2 \dots p_n$ , то получается  $\bar{A}$  по следующему расчету:

$$a' = \sum a'_j \cdot p_j / 100 = \sum a_i / a_i \cdot a_i \cdot p_j / 100 = \sum A_i \cdot a_i \cdot p_i / 100$$

$$S = \sum a'_j \cdot p_j / 100$$

$$\bar{A} = a' \cdot 100 / S = \sum A_i \cdot a_i \cdot p_i / \sum a'_j \cdot p_j = \sum A_i \cdot a_i \cdot p_i / 100S$$

Доля микровключенного сильвина в галите и галита в сильвине оценивается в шлифах. Исследования показывают, что доля микровключений зависит от размера зерна-хозяина и может значительно колебаться по площади распространения и разрезу калийного горизонта.

Информация о характеристиках раскрытия минеральных фаз в руде и продуктах обогащения различной крупности позволяет разработать ра-

циональные принципиальные и технологические схемы обогащения, обеспечить создание ресурсосберегающих технологий и повысить качественно-количественные показатели обогащения.

Разработанные нами принципы и методика минералогического контроля технологических проб были использованы при оценке обогатимости руд нескольких месторождений калийных солей: Старобинского (Краснослободский, Нежинский, Смолковский участки), Петриковского (горизонт IV-п), Верхнекамского (Палашерский и Белопашнинский участки) и Гремячинского (Российская Федерация), Сатимола (Республика Казахстан).

Показана роль минералого-технологических исследований на разных стадиях геологоразведочного процесса и необходимость проведения минералого-технологического картирования, особенно на площадях детальной разведки. Методика проведения минералогического контроля технологических проб представлена в концепции многоцелевого использования прогнозно-технологической оценки калийных солей в соленосных формациях хлоридного типа и на малоизученных бурением территориях. Эта методика является частью разрабатываемой экспрессной оценки минерального сырья на ранних стадиях геологического изучения, которая определяет набор и последовательность операций технологического тестирования. Выходом может служить проведение малообъемного технологического опробования и геолого-технологического картирования. Конечно, для этого требуется решение вопроса об определении необходимой представительной массы технологических проб и создании методики геолого-технологического картирования применительно к калийным месторождениям.

Для Республики Беларусь роль технологической изученности калийных руд в настоящее время значительно возрастает в связи с освоением Петриковского месторождения, разработкой нового для калийной отрасли типа руд в горизонте IV-п. Тем более, что включение в рассмотрение горизонта VI-п на этом месторождении усложнит условия переработки: он является представителем красноцветной гиперсоляной ассоциации, и потребуются решать вопрос о технологическом переделе, в том числе, вполне вероятно, и о шихтовке руд этих горизонтов. Ранее нами уже отмечалось, что для включенного в разработку горизонта IV-п характерна высокая контрастность в характере и структуре изменчивости оценочных параметров, были показаны особенности состава извлекаемых руд, включая структурно-текстурные особенности

соляных пород и галопелитов [3]. По-видимому, за основу принятия решений по разработке Петриковского месторождения было взято представление о невысоком содержании вредных примесей в рудах продуктивных пластов – хлористого магния и нерастворимого остатка. Однако еще в 1974 г. при утверждении запасов было обращено внимание на необходимость проведения дополнительных работ по оценке структурно-текстурных особенностей руд пестроцветной гиперсоляной ассоциации [6], поэтому в то время, несмотря на проведенные детальные геологоразведочные работы, балансовые запасы были классифицированы лишь по категориям  $C_1$  и  $C_2$ .

Традиционный подход к оценке запасов месторождений калийных солей, основанный исключительно на данных химического состава руд, постепенно уходит в прошлое. Оценка месторождений с использованием минералогического подхода, основанного на изучении значительного количества минералогических проб и прогнозировании технологических свойств руды, обеспечивает наиболее полный и универсальный способ получения геолого-технологических данных. Кроме того, это позволяет значительно сократить объемы экспериментальных технологических исследований. Для минералогического подхода количественная минералогическая информация необходима как для исходных руд, так и для продуктов их переработки включая концентраты, промпродукты и хвосты.

Современный подход предполагает оценку руды по всему комплексу параметров, не ограничиваясь исключительно содержаниями полезных и вредных компонентов; понимание вариативности вещественного состава и типов руд; проведение подсчета запасов полезного ископаемого с дифференциацией по типам и сортам; обоснованный отбор представительных по всем параметрам проб отдельных типов и сортов руды для лабораторных полупромышленных и промышленных испытаний; создание технологической схемы переработки руд на основе многовариантного анализа с прогнозом показателей для каждого узла; уточнение и развитие геолого-технологической модели по мере освоения месторождения; оперативную оценку возможности оптимизации технологической схемы в связи с изменением конъюнктуры рынка или появлением новых технологий отработки и переработки руд; прогноз технологических показателей на перспективу с целью стабилизации работы горнообогатительного комбината и минимизации разного рода рисков. Для геолого-экономической

оценки месторождения или оптимизации процессов добычи и переработки руд, в том числе для выбора последовательности отработки и уточнения схемы шихтовки руд разных калийных горизонтов, важна информация о распределении основ-

ных компонентов в недрах, характере распределения минеральных фаз по крупности, морфологии, состоянию поверхности, характеру срастания, качеству сростков, пористости и трещиноватости, другим структурно-фазовым параметрам.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кодекс Республики Беларусь о недрах : 14 июля 2008 г. № 406-3 : принят Палатой представителей 10 июня 2008 г. : одобрен Советом Республики 20 июня 2008 г. : вступает в силу с 1 янв. 2009 г. – Минск : Амалфея, 2008. – 135 с.
2. Методические рекомендации по разработке технико-экономических докладов о целесообразности детальной разведки месторождений твердых полезных ископаемых (кроме углей и горючих сланцев) и обоснованию временных кондиций / ВНИИ экономики минер. сырья и геологоразвед. работ. – Москва : ВИЭМС, 1986. – 224 с.
3. Петрова, Н. С. Минералого-технологические особенности сильвинитовых руд средневерхнефаменской формации Припятского калиеносного бассейна / Н. С. Петрова, Н. Ю. Денисова // Природные ресурсы. – 2010. – № 2. – С. 16–28.
4. Петрова, Н. С. Структурно-вещественная характеристика калийных горизонтов – основа оценки качества калийных руд / Н. С. Петрова // Перспективы производства минеральных удобрений в Республике Беларусь : материалы республ. науч.-практ. конф., Минск, 29 сент. 2005 г. / редкол.: С. А. Меженцева, В. В. Зайцева, Н. М. Стельмах. – Минск : Юнипак, 2005. – С. 34–41.
5. Петрова, Н. С. Структурно-вещественная характеристика калийных руд Петриковского месторождения / Н. С. Петрова, Н. Ю. Денисова // Литасфера. – 2013. – № 1 (38). – С. 30–42.
6. Протокол № 7316 заседания Государственной комиссии по запасам полезных ископаемых при Совете Министров СССР (ГКЗ СССР) от 20 декабря 1974 г. – Москва, 1974.
7. Требования промышленности к качеству минерального сырья : справочник для геологов / Гос. геол. ком. СССР ; Всесоюз. науч.-исслед. ин-т минер. сырья «ВИМС». – Москва : Гостеолтехиздат, 1963. – Вып. 22 : Калийные и магнезиальные соли. – 56 с.
8. Удобрения минеральные. Методы испытаний. ГОСТ 21560.0–82 – ГОСТ 21560.3–82, ГОСТ 21560.5–82.
9. Kuehn, R. Die Verwachsungen der Salzminerale in deutschen Salzgesteinen / R. Kuehn // Zeitschrift fuer Erzbergbau und Metallhuettenwesen. Bd. VIII : Beiheft, S. 1955. B 93/B 107.
10. Petrova, N. S. Assessments of the sylvinitic ore dressability at the Starobin potassium salt deposit / Natalia Petrova, Ludmila Bakhmutskaya, Alesja Zhuravskaya // Geology, Geophysics & Environment. – 2012. – Vol. 38, № 1. – P. 93–97.

Статья поступила в редакцию 06.10.2022

Рецензент В.И. Пашкевич

## ПАТРАБАВАННІ ДА ТЭХНАЛАГІЧНАЙ ВЫВУЧАНАСЦІ КАЛІЙНЫХ РУД ПАКЛАДАЎ ПРЫПЯЦКАГА КАЛІЕНОСНАГА БАСЕЙНА

**Н.С. Пятрова, Н.Ю. Дзянісава**

Дзяржаўнае прадпрыемства «НВЦ па геалогіі»  
Філіял «Інстытут геалогіі»  
вул. Купрэвіча, 7, 220084, Мінск, Беларусь  
E-mail: belnigri@list.ru  
denisov.nat@yandex.by

За апошнія гады ў фарміраванні мінеральна-сыравіннай базы і ўстойлівым развіцці горна-перапрацоўчага комплексу калійнай прамысловасці ўзраста роля і значэнне мінералага-тэхналагічных паказчыкаў. У рабоце разгледжаны патрабаванні да тэхналагічнай вывучанасці калійных пакладаў Прыпяцкага каліеноснага басейна. Нягледзячы на тое, што распрацоўка калійных руд у Рэспубліцы Беларусь вядзецца з сярэдзіны мінулага стагоддзя, мэтанакіраваных работ па мінералага-тэхналагічным вывучэнні не праводзілася. Не існуе ўніфікаванай метадыкі геолога-тэхналагічнай ацэнкі запасаў калійных руд пры правядзенні геологаразведачных работ і засваенні радовішчаў. Асноўны недахоп геолога-тэхналагічных даследаванняў, якія сёння праводзяцца, – адсутнасць поўнага ўліку зменлівасці рэчыўнага складу руд у прасторы і ступені ўзбагачальнасці розных тыпаў і разнавіднасцей калійных руд, таму нават самы пільны адбор і вывучэнне прадстаўнічых проб, якія з'яўляюцца асновай тэхналагічнай ацэнкі запасаў, не дае належнага эфекту.

## REQUIREMENTS FOR TECHNOLOGICAL EXPLORATION OF POTASH DEPOSITS OF THE PRITYAT POTASSIUM-BEARING BASIN

**N. Petrova, N. Denisova**

State Enterprise “RPC FOR GEOLOGY”  
Branch “Institute of Geology”  
7 Kuprevich St, 220084, Minsk, Belarus  
E-mail: petrova@gmail.com  
denisov.nat@yandex.by

In recent years there has been a significant growth in the role and importance of mineralogical and technological indicators in the compilation of mineral resource base and the sustainable development of the mining and processing complex of the potash industry. The article examines the requirements for technological exploration of potash deposits of the Pripyat potassium-bearing basin. Despite the fact that potash ore mining in the Republic of Belarus has been done since the middle of the last century, extensive and thorough mineralogical and technological studies have not been carried out. There are no unified methods for the geological and technological assessment of potash ore reserves during geological exploration and development of deposits. The main drawback of the ongoing geological and technological research is the absence of full consideration of the variability of the material composition of ores in space and the degree of dressability of various types and varieties of potash ores. Therefore even the most careful selection and study of the representative samples, which are the basis of the technological assessment of reserves, does not give the desired effect.