

Таблица 5. Результаты количественного микрорентгеноспектрального анализа галенита (средние данные)

№ бр.	S	Pb	Fe	Cu	Zn	As	Sb	Bi	Se	Te	Ag	Сумма
1	13,62	84,33	0,98	0,27	0,26	0,13	0,06	0,60	0,32	0,19	0,17	100,92
2	13,53	83,71	0,50	0,06	0,85			0,50	0,22	0,20	0,46	100,03
3	13,21	86,12		0,05					0,21	0,21	0,21	100,00
4	14,02	84,90						0,51	0,39	0,14	0,30	100,24
5	13,74	85,90						0,09	0,27	0,21	0,10	100,30
6	13,83	85,40	0,32					0,88	0,16	0,22	0,21	101,02

Из всех медных минералов, присутствующих в отвальных хвостах текущего намыва, халькопирит является доминирующим минералом, на его долю приходится от 55 до 75% от общего количества медных минералов. Количество свободного от сростков халькопирита составляет 45%, в сростках с пиритом, магнетитом, молибденитом и нерудными минералами: кварцем, хлоритом, ортоклазом, гидрослюдой и др. – до 55% (придачковые участки хвостохранилища).

Результаты факторного анализа, проведенного по рудам и концентратам, свидетельствуют, что золото в рудах ОХХ в значительном количестве находится в свободном состоянии, в самородном виде, что позволяет прогнозировать его поведение. Факторный анализ резко разделил халькофильные и сидерофильные элементы. Это свидетельствует о высокой степени сульфидности полученных концентратов, с обычным для них набором минералов – пирит, халькопирит, молибденит, галенит, сфалерит и характерными для этих минералов элементами-примесями: кобальт, никель (в пирите), серебро (в галените) и золото (преимущественно в халькопирите). Также отмечается, что даже после прохождения всего технологического цикла обогащения минералы позднего полисульфидного парагенезиса (кальцит, галенит, сфалерит) продолжают оставаться между собой в более тесной связи, нежели с другими минералами медно-порфириновых руд.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ МИНЕРАЛОГИЯ КАЛИЙНЫХ СОЛЕЙ НА СТАДИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

*Вишняков А.К.<sup>1</sup>, Молоштанова Н.Е.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГУП «ЦНИИгеолнеруд», г. Казань

<sup>2</sup>Пермский государственный университет, г. Пермь

Основным предметом технологической минералогии является комплексное изучение технических и технологических свойств минералов как функции состава и строения конкретной породы, а также эти же свойства и самой породы. При этом необходимо учитывать всю эволюцию их образования и преобразования. Это позволяет устанавливать причины различного поведения в технических и технологических процессах одних и тех же минералов не только из тех или иных месторождений, но и из разных их участков. Все работы по технологической минералогии базируются на исследованиях минералогических, химических и физических свойствах как продуктивных, так и вмещающих их пород и слагающих их минералов, так как в получаемой рудной массе вмещающие породы в той или иной мере всегда присутствуют.

Весь комплекс исследовательских работ по технической минералогии калийных солей может быть подразделен, как минимум, на два этапа. Первый – это изучение технических и технологических свойств и особенностей пород и минералов продуктивных горизонтов и вмещающих их пород. Второй – предварительное картирование исследованной площади (участка) по выделенным свойствам и особенностям.

Первый этап включает в себя несколько направлений обусловленных существующими способами добычи и переработки.

Изучение технических свойств обусловлено тем, что калийные соли могут разрабатываться как по технологии добычи твердых их частиц (подземная шахтная добыча, скважинная гидродобыча, а для сульфатных солей – кроме того, добыча открытым способом в карьерах) [12, 17], так и по технологии добычи рассолов, получаемых из твердой соли (добыча искусственных рассолов при шахтном растворении солей, при геотехнологической разработке соляных залежей через скважины с поверхности или из шахтных) [1, 2, 10].

При добыче твердой калийной породы шахтным или скважинным гидродобычным способами огромное значение приобретают методы изучения минералого-петрографических их особенностей и физико-механические свойства как собственно калийных, так и вмещающих их соляных пород. Из минералого-петрографических особенностей важнейшими служат определения в шлифах крупности и формы зерен, слагающих исследуемую породу, контуры и характер плоскостей срастания зерен, наличие

слоев различной их крупности, а также разделяющих их прослоев галопелитового материала, резко отличающегося по своим прочностным свойствам от чисто соляных пород. Из физико-механических свойств важнейшими являются прочностные, характеризующие предельные сопротивления солей механическим нагрузкам; упругие, определяющие деформируемость солей под нагрузками не выше предела упругости; реологические, характеризующие изменение механических свойств во времени при длительном воздействии нагрузок; и такие как прохождение в них акустических волн, хрупкость, разрушаемость ВВ и др., характеризующие сопротивляемость соляных пород различным видам разрушения.

В основе геотехнологической добычи калийных солей растворением или выщелачиванием лежит их свойство растворяться в воде и водосодержащих растворах. От интенсивности, скорости и кинетики растворения зависит возможность получения той или иной производительности скважин по кондиционному рассолу, а также возможность управления последствиями этих процессов. Таким образом, для планирования геотехнологического способа добычи необходимо изучение значений скорости и кинетики растворения соляных минеральных зерен и кусков слагаемых ими пород, а также плотности и вязкости получаемых рассолов.

Необходимость направления по изучению тех или иных технологических свойств и особенностей минералов калийных руд обусловлена не только наличием существующих в повседневной практике фабрик России определенных методов обогащения и переработки, но и возможности применения на этих или на других месторождениях методов, применяемых в тех или иных странах мира.

Пока в РФ на практике наибольшее распространение получил флотационный метод обогащения [11, 18, 21]. Он основан на различной смачиваемости частиц определенной крупности калийных и некалийных минералов в присутствии некоторых реагентов (собирателей). Большое значение для процесса флотации имеет состояние кристаллической решетки у поверхности флотируемого минерала. Поэтому большое значение приобретают методы определения нарушенности кристаллической решетки флотируемого минерала, а также количества частиц, представленных чисто калийными, некалийными минералами (в том числе и галопелитового материала) и их сростками. Отрицательное влияние галопелитового материала, образующих глинисто-солевые шламы, обусловлено как возникновением шламовых покрытий на поверхности частиц калийных минералов и пузырьков воздуха, так и адсорбцией собирателя на глинистых минералах шламов.

Глинистые минералы, входящие в состав галопелитового материала, и, особенно, смешанно-слоистые их образования иллит-монтмориллонитового типа, характеризуются значительной емкостью обмена и большой удельной поверхностью.

Вторым, по применению, является галургический метод переработки калийных пород. Под таким методом понимают получение калийных солей при помощи последовательных процессов растворения исходной породы и кристаллизации конечного продукта. Для переработки пород калийных солей галургическим методом большое значение имеют их скорости растворения в том или ином солерастворяющем растворе.

На ряду с галургическим и флотационным методами обогащения калийные руды могут обогащаться в промышленных условиях также методами электрической и гравитационной сепарации. Глинистые и некоторые нерастворимые минералы при сепарации полиминеральных руд выделяются методом коронной сепарации. Сильвин (KCl) и галит (NaCl) разделяются методом электростатической сепарации. Для прогнозирования электрических методов обогащения необходимо изучение удельного электрического сопротивления и диэлектрической проницаемости всех минералов, составляющих калиеносные породы.

Методы гравитационного разделения калийных руд основаны на разнице в плотностных значениях минералов, составляющих эти руды. Для прогнозирования гравитационных методов обогащения необходимо знание плотностных значений всех минеральных составляющих тех или иных калиеносных пород.

Изучение выше перечисленных свойств соляных минералов калиеносных пород и составляет основной комплекс работ по исследованию их технологических свойств и особенностей. Первоочередными из них являются изучение вещественного состава и минералого-петрографических особенностей калийной породы и ее минералов. Они являются основой прогнозирования их технологических свойств.

Изучение вещественного состава проводится химическими, спектральными, рентгенофазовыми, минералогическими методами и методом резонансной и инфракрасной спектроскопии [8].

Изучение минералогических характеристик включает в себя изучение природных минералого-петрографических и структурных особенностей пород с целью выделения их технологических типов и разновидностей. Выделяются два вида изучения минералого-технологических свойств – это изучение минералого-структурно-технологических особенностей калийных пород в шлифе и изучение свойств дробленой калийной породы.

В шлифах определяются такие количественные параметры породы, как естественная крупность и форма зёрен как собственно калийных минералов, так и минералов, вмещающих их; формы контуров и характер плоскостей срастания зерен калийного и нерудного минералов (галита, ангидрита,

галопелитов), а также количество и типы микровключений в зернах калийных минералов, которые нередко определяют не только цвет минерала, но и его технологические свойства.

Определение естественной крупности позволяет прогнозировать выход той или иной размерности дробленых частиц минералов; определение формы контуров и характера плоскостей срастания зерен рудного и нерудного минералов позволяет прогнозировать их влияние при дроблении (измельчении) на образование различных типов технологических сростков калийных минералов с нерудными и содержания в этих сростках полезного компонента; определение количества и типов микровключений в зернах калийных минералов, которые вызывают разубоживание содержания в них калия, а также вызывают изменение их поверхностных свойств, что позволяет прогнозировать их поведение в процессах обогащения. Наличие взаимоперпендикулярных шлифов позволяет определить естественную форму зерен сильвина по трем осям. Если построить графики зависимости размера зерен по каждой оси от их количества в шлифе, то легко определить объемную форму не только зерен калийных солей и определить преобладающий их размер, но и зерен вмещающих их минералов. На рис. 1 приведены такие графики для красных разновидностей сильвина пласта Кр-2 Усть-Явинского участка Верхнекамского месторождения.

Анализ данных материалов показывает, что уже в процессе исследования калийных солей в шлифах видно различие разновидностей сильвина по некоторым технологическим свойствам, таким как естественная крупность, форма зерен, характер контактов, количество микровключений. Из приведенных графиков следует, что естественная форма розовой разновидности сильвина данного пласта характеризуется двумя формами зерен: изометрической и реже уплощенной по оси  $h$  (т.е. таблетчатообразной); красной разновидности – характеризуется в основном изометричным строением зерен, реже удлиненным, а зерна сургучно-красного сильвина имеют как уплощенную по оси  $h$  (таблетчатую), так и вытянутую по оси  $a$  (веретенообразную) формы.

Таким образом, уже в процессе исследования калийных солей в шлифах возможно установить различие цветовых разновидностей сильвина по некоторым их технологическим свойствам, таким как естественная крупность, форма зерен, характер контактов, количество микровключений.

Для данного участка Верхнекамского месторождения калийных солей устанавливается четкая зависимость количества тех или иных классов крупности дробленых частиц калийных пород от природных форм зерен сильвина. В частности, изометрическая форма зерен в природе при дроблении до 5,0 мм дает наибольший выход количества крупных классов (-5,0 + 3,0 мм, -3,0 + 2,0 мм). Кроме того, изометрическая форма зерен сильвина в породе, видимо, оказывает положительное влияние на образование частиц сильвина, представленных в виде агрегатов из более мелких их зерен.

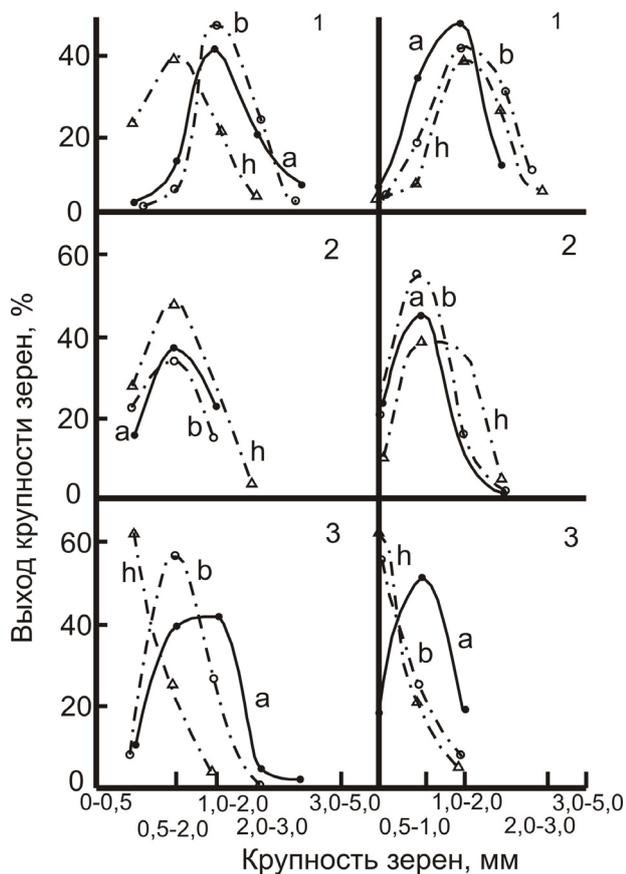
Наибольший выход количества частиц классов -2,0 + 1,0 мм и -0,5 мм наблюдается для сильвинитов с уплощенной (дошатообразной) и удлиненной (веретенообразной) формой зерен сильвина. Таким образом, изучение минералого-структурно-технологических свойств позволяет наметить размерность дробления (измельчения) калийной породы, а с учетом минералогического состава выделить технологические типы или сорта руд и ориентировочно планировать метод обогащения.

Однако прогнозировать количественный выход классов дробленых частиц сильвина на основании изучения одних только шлифов трудно, ибо процесс фабричного дробления оказывает выравнивающее воздействие, т.е. преобладающая размерность зерен сильвина в породе (в шлифе) оказывается (в большей ее части) раздробленной до более мелких классов (рис. 2а).

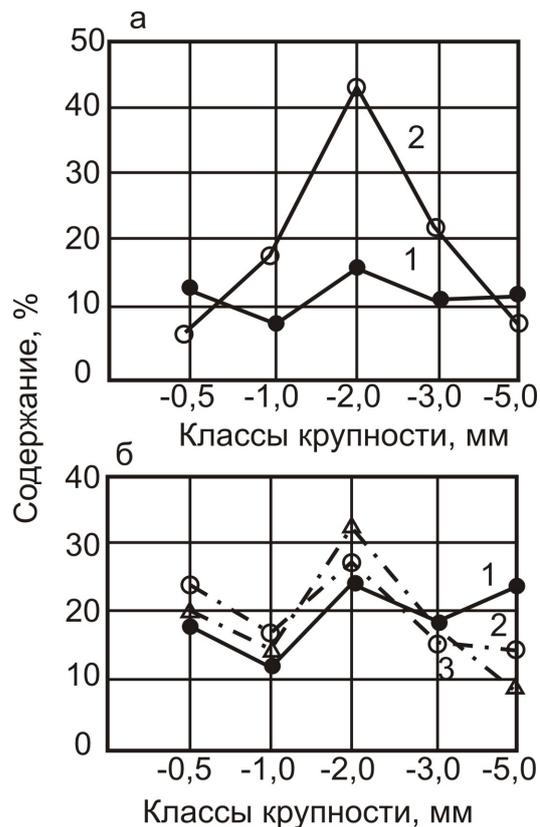
Результаты лабораторного дробления щековой дробилкой хорошо сопоставляются с результатами механического измельчения руд на солемельнице и обогатительной фабрике. Как следует из рис. 2б, гистограммы гранулометрического состава сильвинитов по данным анализа проб, подвергшихся дроблению в лаборатории, и руды по данным анализа проб, дробившихся на солемельнице и флотофабрике, подобны по своей конфигурации и близки по процентному содержанию частиц отдельных размерностей, за исключением выхода по крупным фракциям.

Поэтому совершенно необходимым является изучение минералого-технологических свойств калийной породы, дробленной в лабораторных условиях. Различные типы калийных пород измельчаются до тех размерностей, максимальные параметры которых были выявлены по результатам изучения зерен в шлифах (в рассматриваемом примере, по Усть-Явинскому участку Верхнекамского месторождения калийных солей, это составляет до 5,0-0,0 мм, 3,0-0,0 мм, 2,0-0,0 мм и 1,0-0,0 мм), которые затем, рассеиваются на стандартные классы крупности.

На основании изучения гранулометрического состава дробленной породы (с построением гистограмм, циклограмм, дифференциальных частных кривых распределения или кумулятивных суммарных кривых распределения и т.п.) и минералого-технологического анализа дробленых частиц для каждого класса крупности ситового анализа различных дроблений (с определением количества свободных частиц калийных и вмещающих их минералов в дробленной породе, количество и типы их технических сростков, также количественное (процентное) содержание всех остальных компонентов) определяется степень раскрытия калийных минералов [9, 23], процентное содержание составных минеральных компонентов дробленной породы, т.е. строятся графики минералогического состава и изменения степени раскрытия калийных минералов в зависимости от класса крупности для всех размерностей дробления. Такие подсчеты позволяют прогнозировать параметры измельчения [7].



**Рис. 1. Изменение размерности зерен в разновидностях сильвина в пласте Кр-2 Усть-Яйвинского участка Верхнекамского месторождения.**  
 1 – розовый сильвин; 2 – красный сильвин; 3 – сургучно-красный сильвин; а – длина зерен, б – ширина зерен, h – высота зерен



**Рис. 2. Сопоставление распределения классов крупности калийной руды пласта Кр-2 шахтного поля Третьего Березниковского рудопроявления Верхнекамского месторождения**  
 а – частиц сильвина, получаемых при лабораторном дроблении (1) и зерен сильвина в шлифах (2); б – частиц калийной руды, получаемых при лабораторном дроблении (1) и после дробления на солемельнице (2) и измельчения на флотофабрике (3)

С учетом других данных (например, содержание твердых микровключений в калийных минералах, определенных в шлифах, содержание хлористого магния в породе на основании аналитических исследований, содержание и типы глинистых минералов по данным рентгенофазового анализа, нарушения кристаллической структуры зерен минералов слагающих калийную породу по материалам электронно-парамагнитного резонанса [6], рентгеноструктурного анализа) все выше приведенные материалы позволяют наметить способ обогащения.

Мелкие классы (меньше 0,1 мм) различных дроблений в связи с тем, что калийные руды перерабатываются и флотационным, и галургическим методами, изучаются в двух вариантах: одна половина пробы изучается как представляющая собой часть собственно калийной руды, характерной для флотационного процесса обогащения, другая – как характеризующая собой возможный состав несолевой составляющей (Н.О.) калийной руды после галургического процесса обогащения.

Особое место в направлении по изучению дробленой калийной руды занимает минералогическое изучение глинистой составляющей нерастворимого в воде остатка. Как известно, в основе флотационного метода обогащения калийных руд лежит направленное физико-химическое изменение природы поверхности соляных минералов, которое достигается обработкой их селективно действующими реагентами-собирателями и модификаторами. Эффективность действия реагентов существенно зависит от состава глинистых составляющих нерастворимого остатка, ибо некоторые из них (например, монтмориллонит), обладающие разбухающими межслоями, могут значительно и даже полностью нарушить течение флотационного процесса.

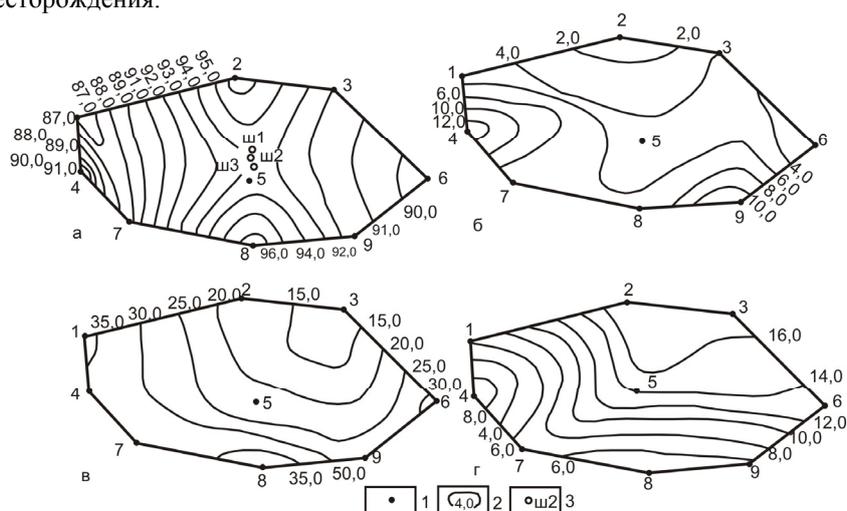
Для разрабатываемых пластов Верхнекамского месторождения обычны триоктаэдрический хлорит и диоктаэдрическая гидрослюда (иллит), нередко содержащая разбухающие монтмориллонитовые межслои.

Известно, что параметры кристаллических решеток смешанно-слоистых разбухающих минералов заметно изменяются в водной среде. Изменения происходят в основном за счет увеличения межслоевых расстояний [13], благодаря чему молекулы флотореагентов могут проникать внутрь этих минералов. В связи с отмеченным особенно важно иметь представление о площади "внутренней" поверхности глинистых минералов, которая определяется [3] как разница между "полной" удельной поверхностью (включает и "внутреннюю" поверхность) и "внешней" поверхностью. Полученные данные о "внутренней" поверхности минералов из нерастворимого остатка калийных солей Верхнекамского месторождения подтвердили наличие в нем смешанно-слоистых глинистых минералов и позволили установить для южной части месторождения увеличение количества, во-первых, смешанно-слоистых глинистых минералов вверх по разрезу (в "пестрых" сильвинитах, по сравнению с сильвинитами нижележащего пласта Кр-2, их в 2—5 раз больше) и, во-вторых, — с запада на юго-восток в два с лишним раза.

Выделенные мелкие классы крупности (меньше 0,1 мм), где сосредоточено подавляющее количество галопелитового материала, анализируются стандартными методами оптической микроскопии [14], рентгеновской [15, 16, 20, 22] и инфракрасной [4, 19] спектроскопии и термическим анализом [5]; кроме того, определяются значения их ("внешней", "полной", "внутренней") удельных поверхностей [3].

Знание характеристик удельной поверхности нерастворимого остатка калийных руд необходимо не только для понимания его поведения в процессе обогащения и выяснения характера взаимоотношения с поверхностно-активными веществами, флотационными реагентами, но и для выбора схемы флотационного обогащения (с депрессией глинистых шламов, с предварительным флотационным или механическим обесшламливанием).

На основании итогов исследований по выявлению различных по обогатимости калийных руд выполняется второй этап исследований — предварительное технологическое картирование, т.е. оконтуривания на планах и разрезах месторождения размещения различных по обогатимости сортов руд или их отдельных особенностей. Например, картирование рабочего пласта Б. Верхнекамского месторождения, где он представлен на значительной территории "пестрыми" сильвинитами (сложенными в основном молочно-белой разновидностью сильвина), позволяет выделить участки, где этот пласт представлен розово-красной или красной разновидностью сильвина, да еще с прослойками карналлита. Руды из такого участка данного пласта становятся труднообогатимыми или даже весьма труднообогатимыми теми технологическими схемами обогащения, которые существуют на флотофабрике в настоящее время. Рабочие пласты А и Кр-2 сложены розовой, красной и сургучно-красной разновидностями сильвина, несколько отличающихся между собой флотационными свойствами. Изучение распределения сильвинитов, сложенных определенными разновидностями сильвина, по серии разрезов пласта Кр-2 южной части Верхнекамского месторождения выявило неравномерное распределение этих разновидностей в пласте, а также степень раскрытости их зерен по площади пласта, что позволило спрогнозировать необходимость некоторого изменения режима обогащения при отработке различных участков данного пласта. На рис. 3 приведены некоторые схематические карты распределения таких особенностей для пласта Кр-2 для части шахтного поля одного из участков Верхнекамского месторождения.



**Рис. 3. Некоторые технологические карты-схемы пласта Кр-2 шахтного поля Третьего Березниковского рудоуправления Верхнекамского месторождения**

**а – распределение степени раскрытия калийной руды, содержание в процентах к мощности пласта; б – сургучно-красного сильвинита, в – красного сильвинита, г – розового сильвинита; 1 – точка опробования; 2 – изолинии; 3 – шахтный ствол**

Проведение вышеописанных исследований технических и технологических свойств калийной породы не только повысит объективность и достоверность оценки возможности использования их под те или иные способы добычи и переработки, но и позволит своевременно сосредоточить внимание на наиболее трудных проблемах обогащения руд и комплексности их использования, а также существенно повысит техническую, технологическую и экономическую эффективность геолого-промышленной оценки месторождений калийных солей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Аренс В.Ж.* Скважинная добыча полезных ископаемых (геотехнология). М: Недра, 1986. 279 с.
2. *Аренс В.Ж.* Физико-химическая геотехнология. М: Изд. МГУ, 2001. 656 с.
3. *Арсентьев В.А., Горловский С.И.* Определение удельной поверхности набухающих глин, доступный флотационным реагентам различного молекулярного веса // В сб. Обогащение неметаллических полезных ископаемых. Вып.2. Свердловск: Изд.Урал.политех.ин-та, 1976 С. 106-109.
4. *Болдырев А.И.* Инфракрасные спектры минералов. М.: Недра, 1976 199 с.
5. *Бургомистрова Н.П., Прибылов К.П., Савельев В.П.* Комплексный термический анализ // Казань: Изд. КГУ, 1981 111 с.
6. *Вишняков А.К., Гревцев В.А., Щербаков В.Д.* Применение методов резонансной спектроскопии в технологической минералогии калийных солей // Роль технологической минералогии в расширении сырьевой базы СССР. Челябинск, 1986. С. 155.
7. *Вишняков А.К., Тетерина Н.Н., Молоштанова Н.Е.* Определение степени раскрытости калийных руд // Калийная промышленность. 1980. № 3. С. 17-20.
8. *Вишняков А.К., Молоштанова Н.Е., Глазунова З.И.* Технологические свойства калийных солей как фактор их оценки. Природная сода и девсонитпроявления в СССР. М: Наука, 1985. С. 169-179.
9. *Годен А.М.* Основы обогащения полезных ископаемых. М: Metallurgizdat, 1946. 535 с.
10. *Дудко П.М.* Подземное выщелачивание солей. М: Недра, 1972. 160 с.
11. *Желнин А.А.* Теоретические основы и практика флотации калийных солей. Л: Химия, 1973. 353 с.
12. *Зильбершмидт В.Г., Синопальников К.Г., Полянина Г.Д. и др.* Технология подземной разработки калийных руд. М: Недра, 1977. 287 с.
13. *Куковский Е.Г.* Особенности строения и физико-химические свойства глинистых минералов. Киев: изд. Наук. Думка, 1966. 172 с.
14. *Меланхолин Н.М.* Методы исследования оптических свойств кристаллов. М: Наука, 1970. 250 с.
15. *Миркин Л.И.* Справочник по рентгеноструктурному анализу поликристаллов. М: Гос. изд. физ.-матем. литературы, 1961. 864 с.
16. *Михеев В.И., Сельдау Э.Г.* Рентгонометрический определитель минералов. Т.2. Л: Недра, 1965. 363 с.
17. *Пермяков Р.С., Романов В.С., Бельды М.П.* Технология добычи солей. М: Недра, 1981. 272 с.
18. *Печковский В.В., Александровский Х.М., Пинаев Г.Ф.* Технология калийных удобрений. Минск: изд. Высшая школа, 1968. 264 с.
19. *Плюснина И.И.* Инфракрасные спектры минералов. М: Изд. МГУ, 1977. 175 с.
20. Рентгеновские методы определения и кристаллическое строение минералов глин / Под ред. Бриндли. М: изд. ИЛ, 1955. 403 с.
21. *Титков С.Н., Мамедов А.И., Соловьев Е.Н.* Обогащение калийных руд. М: Недра, 1982. 216 с.
22. *Франк-Каменецкий В.А.* Руководство по рентгеновскому исследованию минералов. М: Недра, 1977. 399 с.
23. *Шушкенов А.В., Ефременко Л.Я.* Об ошибке в определении степени раскрытия извлекаемого минерала в продуктах обогащения. Кокыма. № 9. 1972. С. 11-12.

### **КОМПЛЕКСНЫЕ МИНЕРАЛОГО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГРАФИТОВЫХ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЧЕБЕРЕ В РЕСПУБЛИКЕ САХА (ЯКУТИЯ)**

***Лузин В.П., Вафин Р.Ф., Пермяков Е.Н., Кузнецов О.Б., Лузина Л.П., Губайдуллина А.М.,  
Кузнецова В.Г., Ахиярова А.В.***

ФГУП «ЦНИИгеолнеруд», г. Казань

Настоящее исследование графитовых руд месторождения Чебере (Республика Саха) было проведено сотрудниками ФГУП «ЦНИИгеолнеруд» в 2008-2009 гг.

#### ***Минеральный состав графитовых руд***

Графитсодержащие породы (руды) представлены биотит-гиперстеновым плагиосланцем мелко-, среднезернистым с различным содержанием графита и сульфидов (проба № Т-1), биотит-гиперстеновыми