



*Петрова Н.С., Денисова Н.Ю.
Государственное предприятие «ГПЦ по геологии»
Минск, Республика Беларусь*

ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ИЗУЧЕННОСТИ КАЛИЙНЫХ РУД ЗАЛЕЖЕЙ ПРИПЯТСКОГО КАЛИЕНОСНОГО БАСЕЙНА

Калийные руды залежей Припятского калиеносного бассейна

- Наше сообщение посвящено одному из актуальных вопросов для калийной отрасли Республики Беларусь: оценке обогатимости калийных руд залежей Припятского калиеносного бассейна, одного из крупнейших по запасам калийных солей в мире.
- Наряду с изучением общих проблем хлоридного калийного рудогенеза Припятского прогиба, в течение последних двух десятилетий мы занимаемся прогнозно-технологической оценкой калийных руд. Наши исследования во многом опираются на исследования известных специалистов галургов, как отечественных, так и зарубежных школ (в частности немецкой), и проводились в тесном контакте с технологами Белгорхимпрома и Беларуськалия.

Калийные руды залежей Припятского калиеносного бассейна

- **Качество «оценки качества» калийных руд определяется комплексом минералого-петрографических и технологических исследований.** В процессе рудоподготовки при превращении породы в руду происходит нарушение естественного размерного спектра зерен, а в раздробленном материале проб формируются минеральные срастания.
- Методика минералогического контроля технологических проб разработана для прогнозно-технологической оценки калийных руд в формациях хлоридного типа, является частью разрабатываемой экспрессной оценки минерального сырья на ранних стадиях геологического изучения, определяет набор и последовательность операций технологического тестирования. Была апробирована как на белорусских месторождениях, так и на ряде участков Верхнекамского и Гремячинского месторождений в России.

Калийные руды залежей Припятского калиеносного бассейна

- Калийные руды Припятского калиеносного бассейна относятся **к хлоридному геолого-промышленному типу.**
- Три основных соляных минерала: галит, сильвин, карналлит. Полезный компонент калийных руд - **сильвин.**

Калийные руды представлены двумя природными генетическими типами – гиперсоляными ассоциациями:

- **красноцветной** («старобинский тип» - Старобинское и Октябрьское месторождения)
- **пестроцветной** («петриковский тип» - Петриковское месторождение)

Природные типы сильвинитовых руд залежей Припятского калиеносного бассейна. I. Красноцветная ассоциация

Специфические особенности сильвинитов

по внешнему виду: визуально резко дифференцированное слоистое строение продуктивных слоев, горизонтальная или горизонтально-волнистая слоистость продуктивных слоев четко дифференцирована и обусловлена переслаиванием сильвинитовых прослоев с прослоями галита и галопелитов;

по окраске: преимущественно красные, иногда отмечаются светлоокрашенные (бледно-оранжевые, бледно-розовые, молочно-белые или бесцветные);

по гранулометрическому спектру и размеру зерен полезного компонента: в основном, микро-мелкозернистые

- каменная соль отличается разнообразием структурно-текстурных особенностей: наличие микро-мелкозернистой песчаниковидной каменной соли
- нередко высокое содержание галопелитов;

по составу: сильвинитовые прослои обычно мономинеральны;

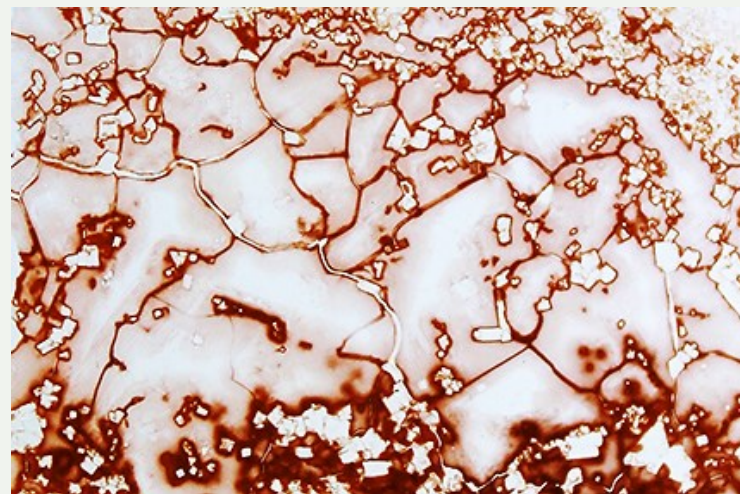
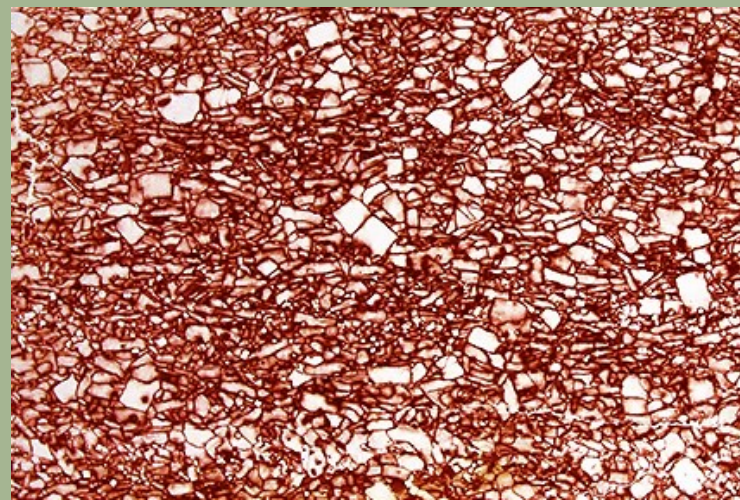
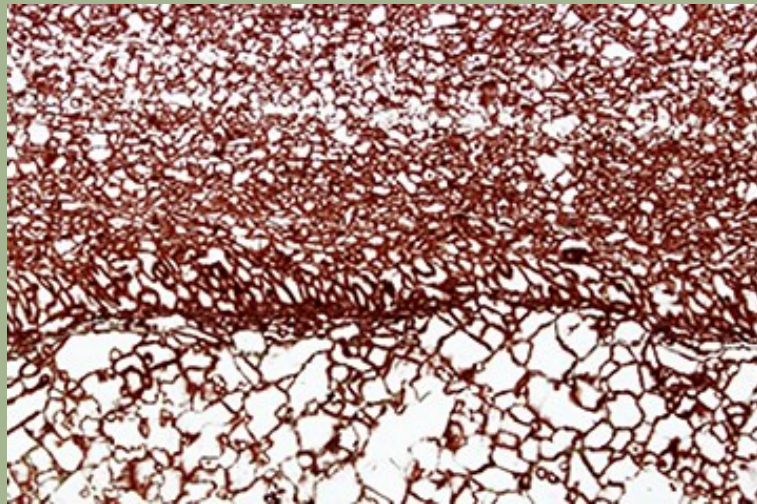
по степени идиоморфизма: значительные различия сильвина и галита - зерна сильвина почти всегда ксеноморфны, зерна галита более отчетливо идиоморфны.

Природные типы сильвинитовых руд залежей Припятского калиеносного бассейна. I. Красноцветная ассоциация

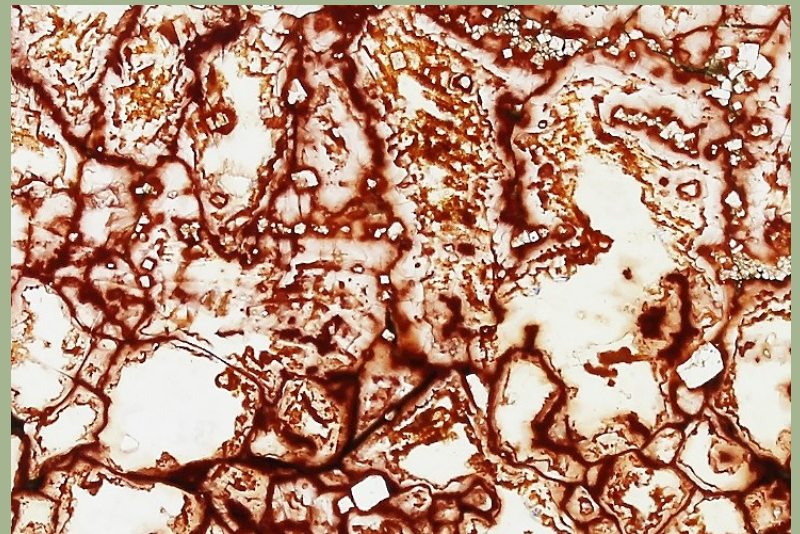
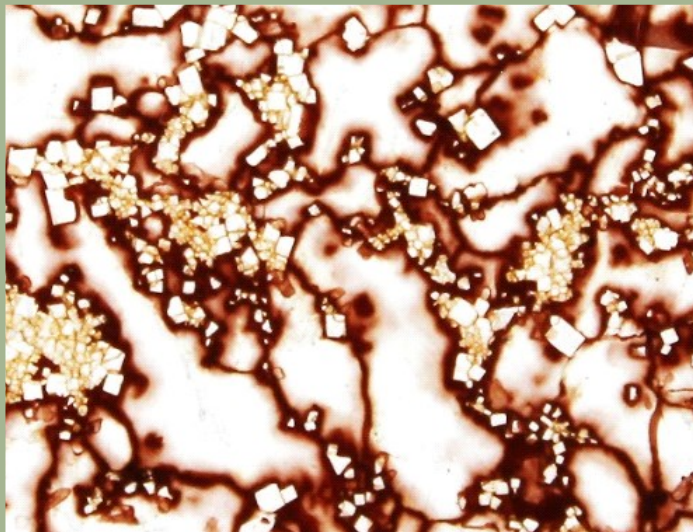
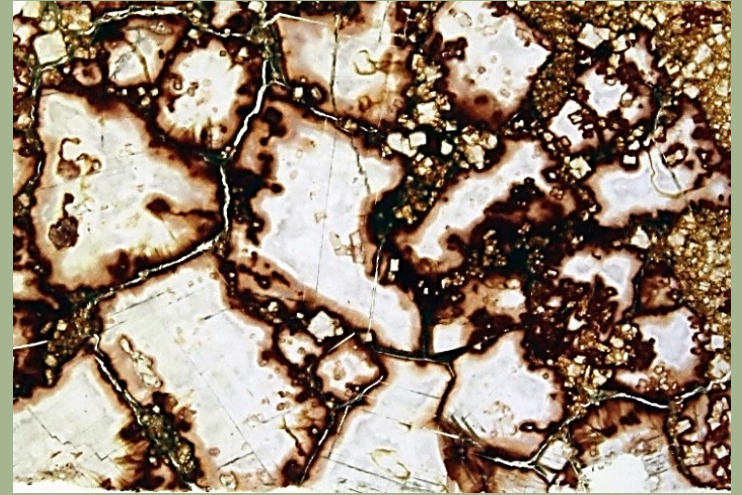
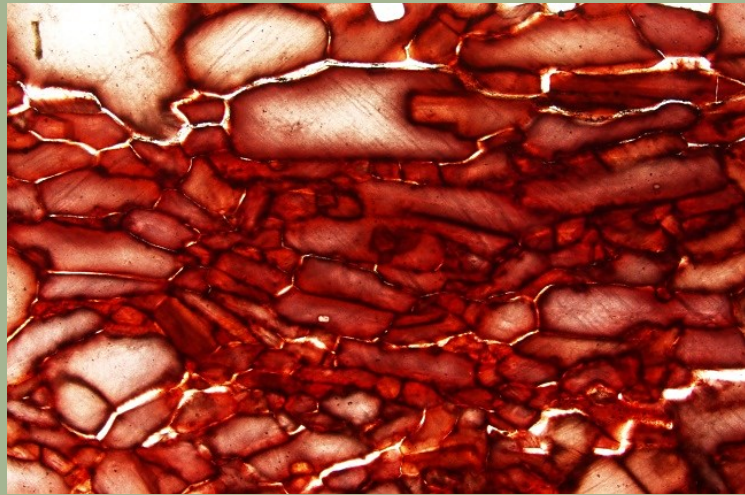
- Структуры соляных пород с размерами зерен : микрозернистая – менее 1мм, мелкозернистая – от 1 до 3 мм, среднезернистая — от 3 до 5 мм, крупнозернистая – от 5 до 10 мм и гигантозернистая — свыше 10 мм.
- Структуры сильвинитов: **разнозернистые**, ориентированные и вкрапленные с ксеноморфными зернами сильвина. Основная масса сильвинитов красноцветной ассоциации обладает микро-мелкозернистой структурой, обычно сочетающейся с ксеноморфизмом зерен. В ориентированных структурах сильвинитов соотношение длинной и короткой осей зерен сильвина достигает 5-6
- В микро-мелкозернистых (мелко-микрозернистых) сильвинитах содержание сильвина обычно составляет 75–95% и более, в мелко-среднезернистых – 37–67%, в средне-крупнозернистых – 27–52%
- В сильвинитах Старобинского месторождения равнозернистые структуры, характерные для сильвинитов Верхнекамского месторождения, с изометричными зернами сильвина, встречаются достаточно редко.

Наименование структуры	Гранулометрический спектр по фракциям		
	менее 1мм	1-3 мм	3-5 мм
Мелко-микрозернистая	73-75	23-25	1-2
Средне-микро-мелкозернистая (смешанная)	20-25	50-60	15-20
Средне-мелкозернистая	3-5	60-65	30-35
Мелко-среднезернистая	3-5	30-35	60-65

Типы структур сальвинитов красноцветной ассоциации



Типы структур сальвинитов красноцветной ассоциации



Природные типы сальвинитовых руд залежей Припятского калиеносного бассейна. I. Красноцветная ассоциация

- **Состав галопелитов** представлен хлоридами, сульфатом кальция, карбонатами кальция и магния, а также алюмосиликатами и силикатами.
- **Алюмосиликатная часть** характеризуется алеврит-пелитовым составом с преобладанием частиц менее 0,01 мм. Фракция менее 0,001мм представлена обычно **гидрослюдой политипной модификации 1Mд** с высоким тетраэдрическим зарядом ($Al^{IV} - 0,52$) и значительным содержанием магния в октаэдрах ($Mg^{VI} - 0,80-0,95$). В крупных классах - кристаллы карбонатов и глинисто-карбонатные агрегаты.
- **Кварц и калиевые полевые шпаты** концентрируются в легкой части фракций более 0,01 мм. В галопелитах горизонтов красноцветной ассоциации преобладают полевые шпаты.
- **В хлоридном комплексе** галопелитов калийных залежей красноцветной ассоциации преобладает хлорид калия. Соотношение $CaCl_2 : MgCl_2$ **более 1**.
- Значения индикаторных соотношений постоянных компонентов **менее 1**:
- $CaSO_4 / \Sigma$ (карбонаты+алюмосиликатный материал),
- $CaSO_4 / \Sigma$ карбонатов
- Σ карбонатов / алюмосиликатный материал.

Природные типы сильвинитовых руд залежей Припятского калиеносного бассейна. II. Пестроцветная ассоциация

- **Особенности:** преимущественно смешанный карналлит-сильвин-галитовый состав; светлая окраска калийных минералов (светло-розовая и белая, реже оранжево-красная); пестроцветность, связанная с наличием синего галита; среди соляных минералов преобладают средне- и крупнозернистые фракции;
- для сильвинитов характерны вкрапленные или вкрапленно-слоистые текстуры;
- в прослоях сильвинитов содержание галита до 40–50 %;
- незначительное содержание несоляных примесей;
- в составе галопелитов преобладают сульфат кальция и карбонаты;
- глинистая фракция – тонкопелитовая ;
- Вторичная кальцитизация за счет высокого соотношения Ca/Mg в поровых растворах и снижение содержания железа в алюмосиликатном остатке. В галопелитах горизонтов пестроцветной ассоциации проявляются ассоциативная группа $NaCl - MgCl_2 - CaSO_4$, а также рост SiO_2 и полевого шпата.

Типы структур сильвинитов пестроцветной ассоциации



Типы структур сальвинитов пестроцветной ассоциации



Природные типы сильвинитовых руд залежей Припятского калиеносного бассейна. II. Пестроцветная ассоциация

- В горизонтах пестроцветной ассоциации (собственно петриковского типа) резко преобладают зерна размером 3-5 мм и нередко достигают 10 мм и более. Обычно преобладают средне-крупнозернистые и мелко среднезернистые структуры с наблюдающимся развитием явления бластогенеза в результате перекристаллизации зерен сильвина и галита.
- В качестве примера приведены данные по величине зерен и окраске по сильвинитам продуктивных слоев промышленного горизонта IV-п.

Гори-зонт	Слой	Соотношение сильвинитов по окраске, %			Соотношение структур сильвинитов, %			
		красные	светло-окрашенные	белые	микро-мелкозернистые	смешанные	мелко-среднезернистые	средне-крупнозернистые
IV-п	4	-	94,4	5,6	11,1	-	33,3	55,6
	3	-	80,0	20,0	-	-	14,5	85,5
	2	-	81,5	18,5	-	-	70,4	29,6
	1	8,2	72,2	19,6	1,0	-	24,7	74,3

- **В шлифах** - оценка естественного гранулометрического спектра, распределение частиц и зерен минералов по крупности в исходном сырье, срастаний сильвина и галита, сильвина, галита и галопелита, характер границ срастания частиц и зерен в исходной руде.

Коэффициент срастания определяется по формуле:

$$4F/U,$$

где F – площадь зерна; U – периметр зерна.

Для изометричных зерен коэффициент срастания приближается к среднему диаметру.

Отмечается 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

Степень раскрытия в раздробленной руде

- **Степень раскрытия** определяется как интегральная функция с учетом всех классов размерности раздробленной руды:
- **$A = \% \text{ свободный } S_y / \% (\text{свободный } S_y + \text{сростки } S_y) \times 100.$**

Эффективность разделения близких по физико-химическим свойствам составляющих руды зависит от **контрастности** перерабатываемого сырья и удачности подбора **показателя (фактора) разделения.**

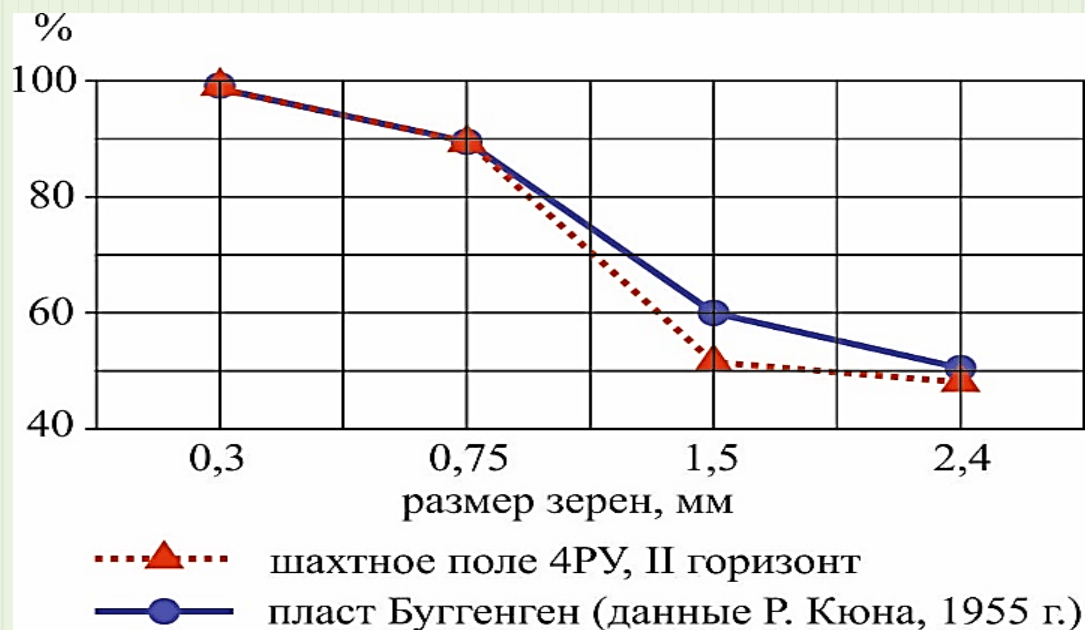
Оценка контрастности: соотношение свободных зерен сильвина и богатых сростков в фазовом составе.

Показатель разделения: соотношение свободных зерен сильвина и галита. Измельчение и последующее вскрытие минералов существенно повышает контрастность компонентов руд с приближением к теоретически предельному.

Отношение показателя разделения и показателя контрастности количественно характеризует эффективность разделения материала руды.

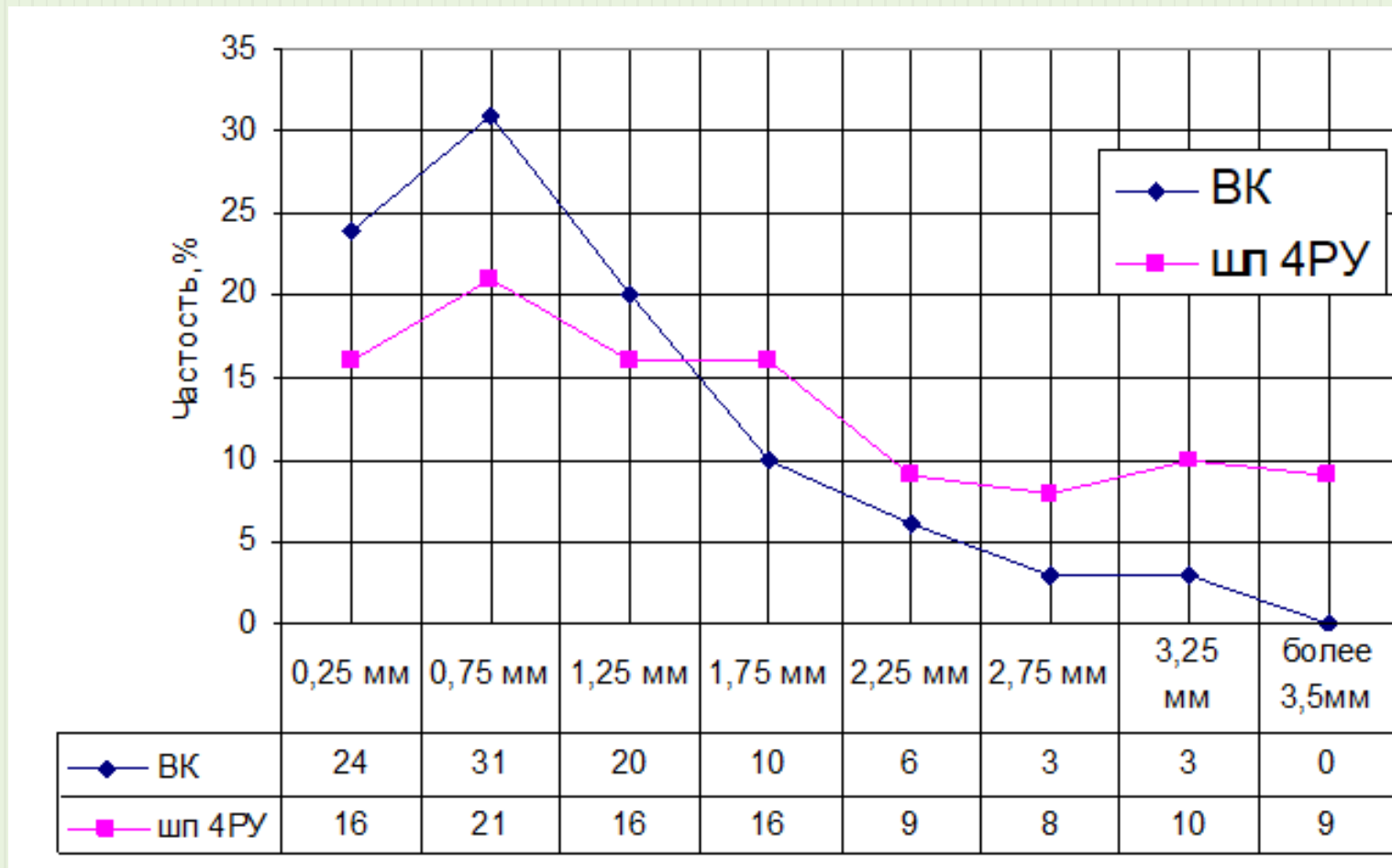
- Изучение коэффициентов срастания в шлифах и сросткового состава в раздробленных пробах показало, что даже при близком естественном гранулометрическом спектре сильвинитов, но различных структурно-текстурных особенностях сильвинитовых прослоев, меняется **выход свободных (раскрытых) зерен** сильвина.
- Коэффициент срастания определен в шлифах, и в соответствии с его значениями руды являются **среднесросшимися**, для которых возможно достижение раскрытия до 75%.

- По степени раскрытия красные сильвиниты залежей Припятского калиеносного бассейна наиболее близки к сильвинитам Верхнерейнского грабена



- раскрытие сильвина 1 - в сильвинитах II калийного горизонта (шахтное поле 4 РУ) Старобинского месторождения и 2 - в сильвинитах пласта Буггинген (Верхнерейнский грабен, по Р. Кюну)

- Суммарные кривые для сильвинитов Старобинского (ш.п. 4РУ) и Верхнекамского (ВК) месторождений по размерам слагающих их зерен



Интегральная степень раскрытия неравномерно зернистой измельченной породы

Степень раскрытия сильвина в узко классифицированных раздробленных пробах и для отдельных классов крупности определялась на основании минералогического анализа, и как среднее значение (**интегральная степень раскрытия A**) 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} :

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

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

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

Интегральная степень раскрытия неравномерно зернистой измельченной породы: пример расчета для руды Старобинского месторождения

Фракция	КСІ	Сильвин	Степень раскрытия	Выход фракции
-5,0+3,15 мм	32,66	27,89	85	35,02
-3,15+2,0 мм	36,93	31,34	85	19,51
-2,0+1,6 мм	34,82	34,69	99	7,77
-1,6+1,25 мм	38,29	33,36	87	5,94
-1,25+1,0 мм	40,42	39,82	98	5,37
-1,0+0,8 мм	40,10	34,06	85	4,01
-0,8+0,5 мм	38,02	34,28	90	7,12
Интегральное раскрытие			88	84,74

- **Минеральное зерно** – обособление, состоящее из одного типа минерала. Существует как отдельная частица, так и в породном матриксе.

- **Минеральная частица** – фрагмент породы, состоящий из нескольких минералов.

- **Свободное зерно** - частица, состоящая из одного минерала. Свободные зерна – простые и агломерированные.

В результате дробления (измельчения) выделяются :

- **свободные зерна**, поступающие в концентрат;
- **богатые сростки**, в соответствии с плотностью поступающие в концентрат;
- сростки, поступающие в промпродукт;
- **бедные сростки**, теряющиеся в хвостах.

Типы сростков

По минеральному составу:

- простые (двойные) и сложные (тройные).

По содержанию :

- бедные и богатые.

По характеру плоскостей срастания:

- прочные и непрочные для прогноза высвобождения (раскрытия) минералов без их переизмельчения. Наличие плоскостей спайности в зернах нередко ведет к переизмельчению.

Характер границ внутри минеральных частиц :

- гомофазные в мономинеральных агрегированных частицах;
- гетерофазные - в сростках;
- чистые;
- содержащие в межзерновом пространстве **включения посторонних минералов** (в раздробленном материале - сростки с галопелитами и вроски галопелитого материала).

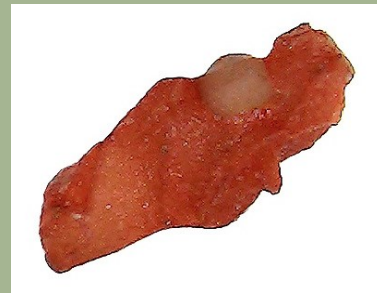
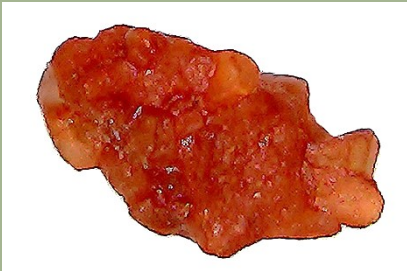
По поверхности границ срастания:

- сростки с ровной и неровной - извилистой, зазубренной, сложной и т. п. границей.

Типы сростков в сильвинитовых рудах красноцветной ассоциации



Свободные зерна сильвина



Двойные богатые сростки прочные

Типы сростков в сальвинитовых рудах красноцветной ассоциации



Двойные богатые сростки непрочные



Двойные бедные сростки прочные

Двойные бедные сростки непрочные

Типы сростков в сильвинитовых рудах пестроцветной ассоциации



Свободные зерна сильвина



Двойные богатые сростки непрочные



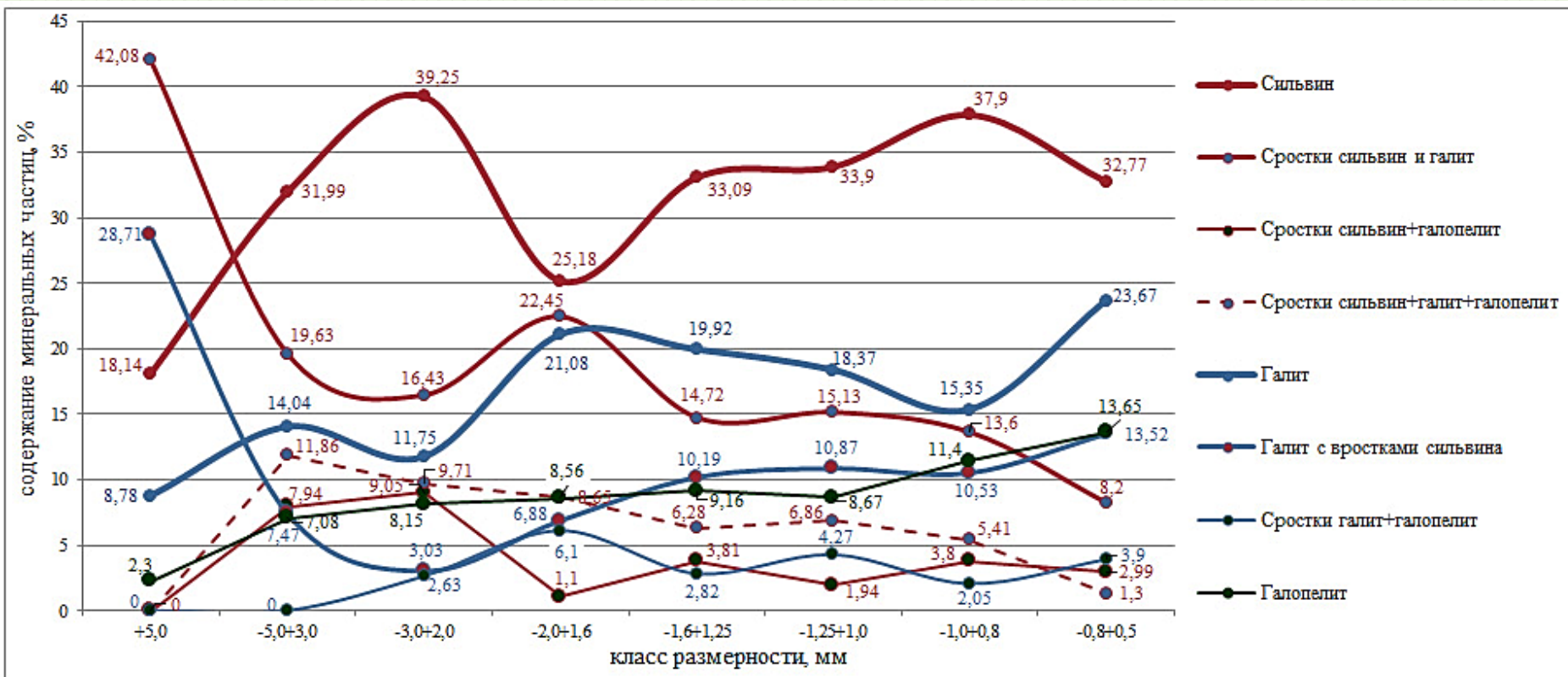
Двойной богатый сросток прочный

Двойной богатый сросток непрочный

Двойные богатые сростки непрочные

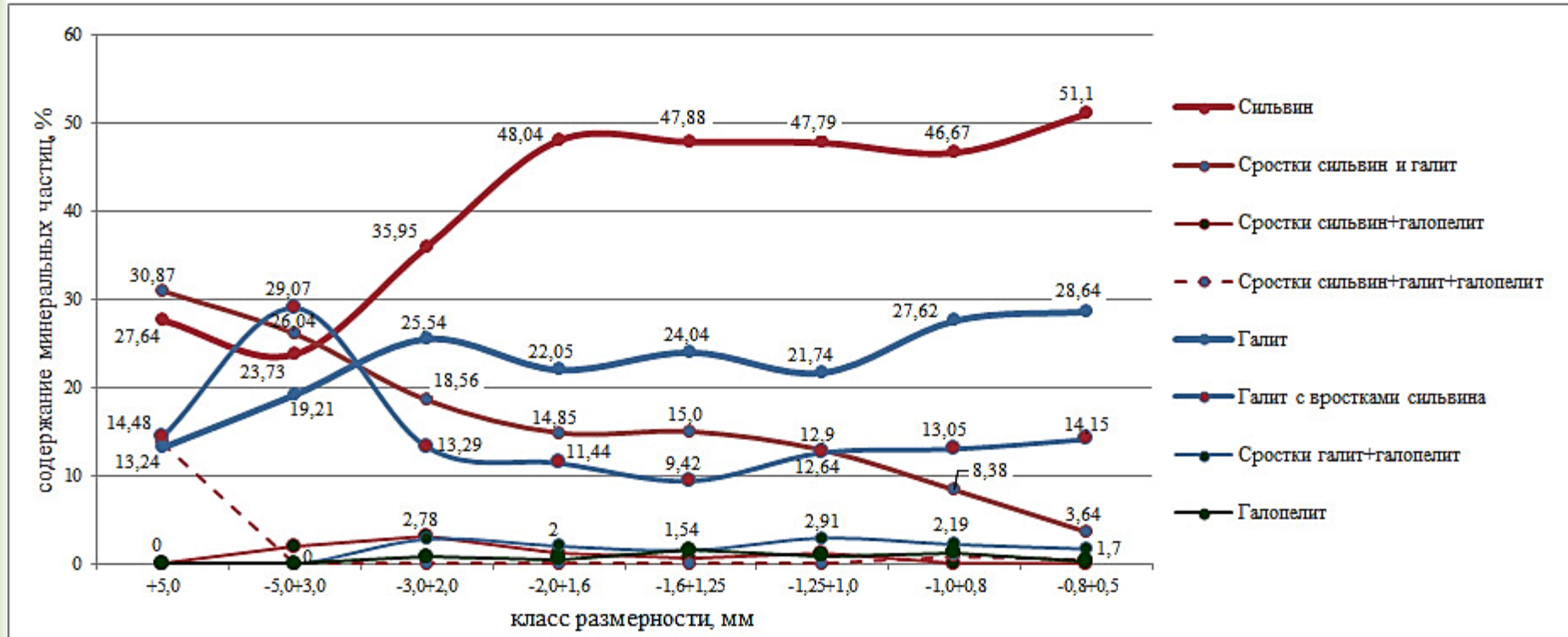
Исследование минерально-фазового состава раздробленных руд.

Распределение минеральных частиц скважина 983 (слой 4)



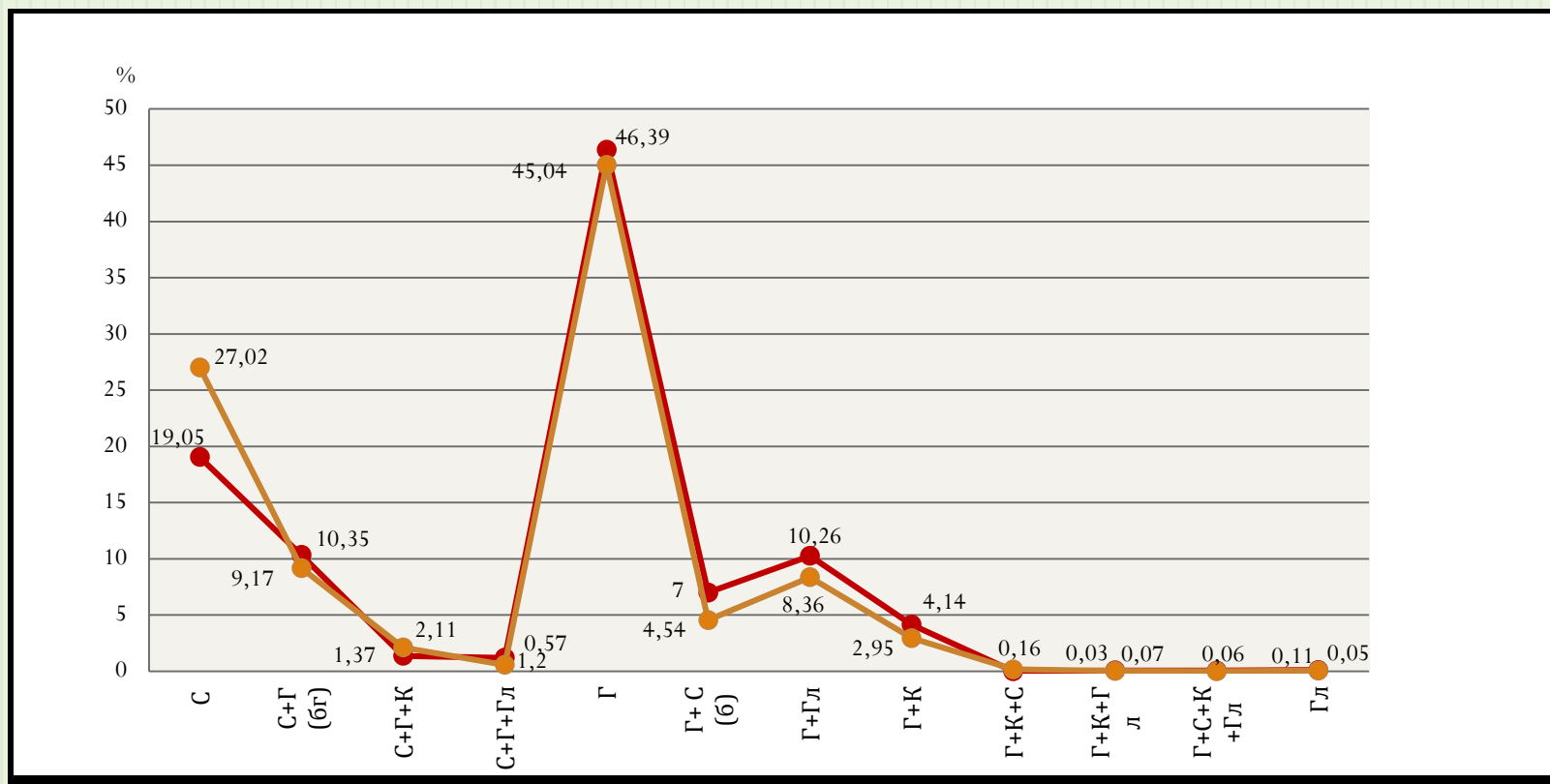
Исследование минерально-фазового состава раздробленных руд.

Распределение минеральных частиц скважина 983 (слой 2)



Исследование минерально-фазового состава раздробленных руд.

Сопоставление разных классов размерности в руде крупности -1,6 мм (пробы 1 и 2) калийного горизонта IV-п Петриковского месторождения

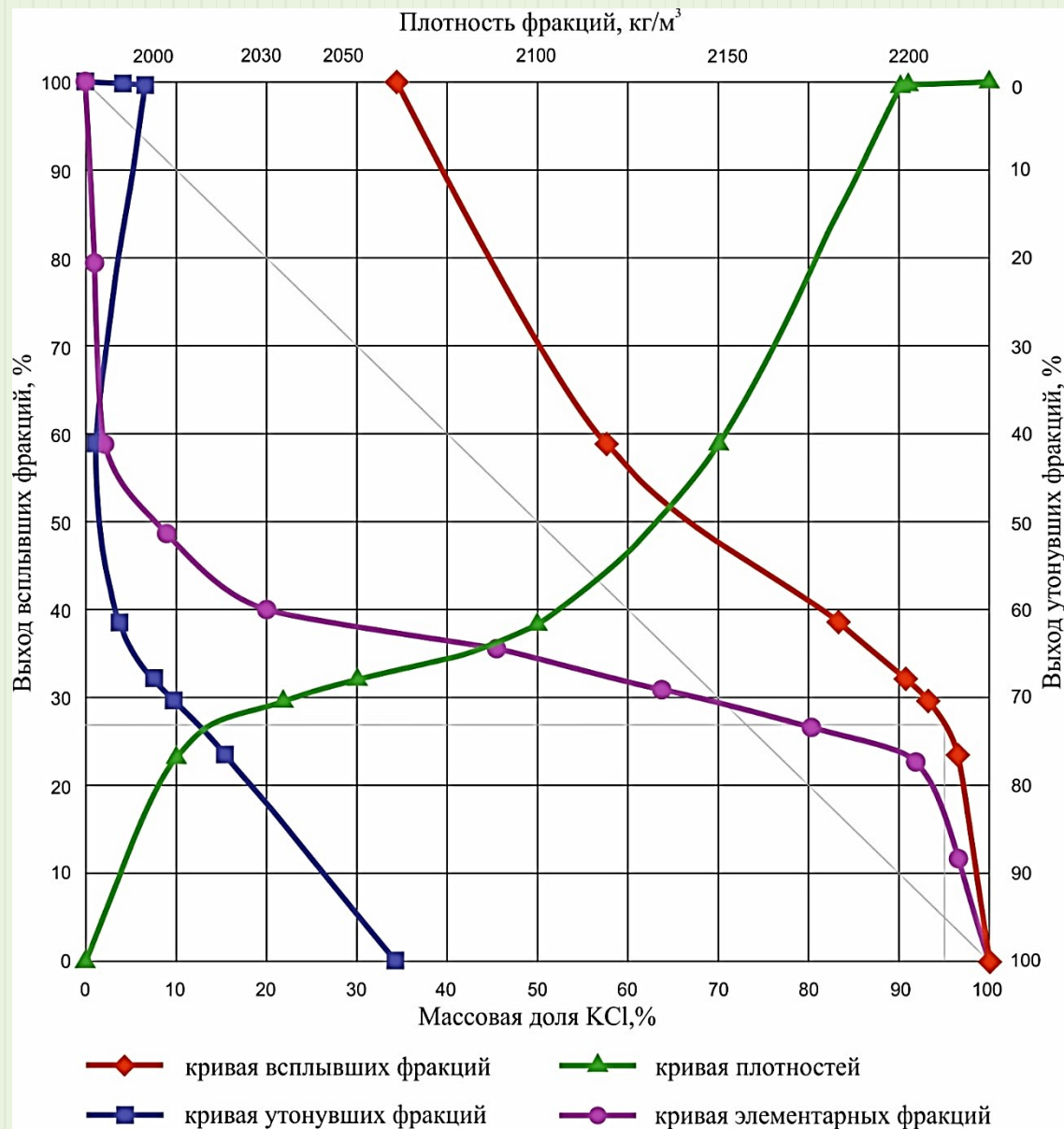


Методы исследований.

Фракционный анализ в тяжелых жидкостях

Для оценки полноты идентификации минералогического состава и прогнозной оценки продуктов обогащения исследование фракционного состава руд и изучение распределения сильвина и минеральных сростков по качеству **проводилось в тяжелых жидкостях.**

Сочетание разделения сильвинитовых руд на классы крупности и плотностные фракции позволило оперировать количественными соотношениями типов минеральных частиц .



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

Методы исследований.

Фракционный анализ в тяжелых жидкостях с калиброванными величинами плотности

Сильвиновая фракция, плотность которой в зависимости от характера раскрытия руды, соответствует плотности менее 2000 кг/м^3 или менее 2030 кг/м^3 , принимается за **кондиционную концентратную фракцию** при величине массовой доли KCl не менее 95% .

Фракция, всплывающая при плотности жидкости $2000\text{--}2150 \text{ кг/м}^3$ или $2030\text{--}2150 \text{ кг/м}^3$, в зависимости от того, какая фракция выбрана за кондиционную, представлена сrostками зерен сильвина с другими минералами (с убывающей величиной массовой доли KCl) и считается **промпродуктовой (фракция промежуточного продукта)**.

Фракция, всплывающая при плотности жидкости 2200 кг/м^3 , считается **галитовой**.
Фракция, утонувшая при плотности жидкости 2200 кг/м^3 , является **галопелитовой**.

Методы исследований.

Фракционный анализ в тяжелых жидкостях

Галитовая и галопелитовая фракции составляют отвальную часть руды

Эти фракции формируются:

- на основе свободных частиц и зерен , являющимися составными частями прослоев, входящих в архитектуру слоя или пласта;
- на основе частиц и зерен, входящих в межзерновое пространство в прослоях продуктивного пласта.

Так, **«свободные шламы»** - вещество прослоев галопелитов, а **«внутрикристаллические водонерастворимые примеси»** - несоляные минералы в межзерновом пространстве и внутри солевых минералов (по И. Алиферовой).

Оценка распределения частиц галопелита (содержание Н.О.) на основании минералогического анализа показала, что в крупных классах Н.О. находится в виде двойных и тройных сростков с сильвином и галитом, а в мелких – выделяется в виде собственных частиц.

- Промышленные калийные залежи перспективных участков Старобинского месторождения наиболее изучены в технологическом плане. Основная масса сильвинитовых руд относится к категории ***среднеобогатимых***.

Несмотря на то, что Старобинское месторождение открыто более 60 лет назад, работы по технологическому изучению сильвинитовых руд проводятся в недостаточном объеме и с малым диапазоном технологических решений

В практике отечественной калийной промышленности, к сожалению, недооценивается значение работ геологоразведочного цикла, тем самым, обесценивая работы по отбору представительной технологической пробы для лабораторных исследований обогатимости, хотя именно им отдается приоритет при оценке подготовленности запасов

Для Республики Беларусь роль технологической изученности калийных руд в настоящее время **значительно возрастает** в связи с :

- некоторым истощением запасов на действующих шахтных полях
- отработкой руд на флангах месторождения, а также калийных залежей, ранее не использовавшихся при разработке Старобинского месторождения
- с освоением Петриковского месторождения с новыми типами руд пестроцветной ассоциации

Подготовка требований показала необходимость унификации и сертификации нормативного документа по технологическому изучению калийных руд в качестве межгосударственного стандарта стран СНГ

Благодарим за внимание !