

Санкт-Петербургский государственный университет

На правах рукописи

Баданина Инна Юрьевна

**ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ  
СВОЙСТВА РУД СКАРНОВО-ГРЕЙЗЕПОВОГО  
МЕСТОРОЖДЕНИЯ СЕВЕРНЫЙ КАТПАР**

Специальность 04.00.20 - минералогия, кристаллография

**Автореферат**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Санкт-Петербург  
1998

Работа выполнена в АООТ "Институт Механобр"

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук  
профессор Изонтько Виктория Михайловна

Официальные оппоненты: доктор геолого-минералогических наук  
член-корреспондент РАН Попов Виктор Евгеньевич

кандидат геолого-минералогических наук  
доцент Солонов Юрий Андреевич

Ведущая организация: Санкт-Петербургский государственный горный  
институт им. Г.В.Плеханова (технический университет)

Защита состоится "24" декабря 1998 г. в 15 час. в аудитории 44  
заседании диссертационного совета Д 063.57.27 по защите диссертации  
на соискание ученой степени доктора геолого-минералогических наук  
Санкт-Петербургском государственном университете по адресу: 199034  
Санкт-Петербург, Университетская набережная, 7/9, геологический  
факультет.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке им. А.И.  
Горького при Санкт-Петербургском государственном университете

Автореферат разослан "18" ноября 1998 года

Ученый секретарь  
диссертационного совета

И.Е.Камешцев

**Актуальность работы.** Развитие народного хозяйства любого государства во многом зависит от эффективности усилий геологических служб по обеспечению промышленности максимально дешевым рудным сырьем. Вольфрам принадлежит к широко используемым в промышленности металлам. В последние годы его потребление значительно снизилось вследствие общего спада экономической активности основных потребителей металла (военная промышленность, машиностроение, добыча нефти, газа и твердых полезных ископаемых), а также с увеличением использования заменителей (керамика, композиты, алмазы и прочие). В то же время, в 40 - 50% случаях вольфрам не может быть заменен другими материалами.

В силу объективных причин в последние годы в странах Содружества значительно снизилось количество легкоразрабатываемых месторождений, а в ряде районов их запас полностью истощен. Расширение минерально-сырьевой базы может происходить путем вовлечения в переработку руд месторождений новых генетических типов и создания современных технологических схем. К новым типам вольфрамовых месторождений относится Северный Катпар (Центральный Казахстан), где на скарны наложена своеобразная грейзенизация, выражающаяся в развитии флюорита и анофиллита.

**Цель работы.** Целью настоящей работы являлась оценка возможностей вовлечения в переработку руд месторождения Северный Катпар и создание геолого-минералогической основы для современной технологической схемы. В соответствии с поставленными целями основными задачами исследований явились:

- изучение типоморфных особенностей руд и минералов месторождения Северный Катпар и прежде всего главного рудного минерала - шеелита;
- оценка возможности применения нового минералогического метода (стереометрического анализа) для технологических целей;
- изучение влияния особенностей главных минералов на показатели обогащения для прогноза технологических свойств руд по геолого-минералогическим факторам.

**Фактический материал и методы исследований.** В основу работы положены полевые материалы автора, а также коллекция образцов, собранная в период геолого-технологического картирования месторождения Северный Катпар (1990-1992).

Полный химический состав руд, включая определение содержания рудных элементов (триоксида вольфрама, меди, молибдена и висмута), выполнен в рамках научно-исследовательских тематических работ Механобра.

Минеральный состав руд изучен в 250 прозрачных и 50 полированных шлифах. Количественное соотношение минералов в каждой птупной пробе уточнено по навескам тяжелой и легкой фракции с последующим пересчетом на руду в целом. Содержание кальцита, по-

мимо подсчета при минералогическом анализе, определялось также фазовым химическим методом.

Особенности шеелита (размеры, морфология, цвет люминесценции, микротвердость) и его ассоциации оценены более, чем по 200 зернам с привлечением рентгеноструктурного, химического, спектрального, рентгеноспектрального и катодолюминесцентного микроанализа в Механобре. Для изучения породобразующих минералов помимо оптического метода использованы люминесцентный (фото-, термо- и катодолюминесцентный), рентгеноструктурный, а также метод статистического микровдавливания. Фото- и термолюминесцентный анализы выполнены автором на кафедре "Минералогии, кристаллографии и петрографии" СПГИ, катодолюминесцентный - в Центре АО "Механобр-Аналит" (аналитик М.В. Заморянская). Микротвердость шеелита и нерудных минералов определена автором в этом же Центре на полуавтоматическом микротвердомере "Micromet II".

Текстурно-структурные особенности руд и шеелита изучены методом стереометрического анализа на минералогическом интеграционном устройстве - МИУ-5М (ЛОМО) под руководством и по методике проф. Р.Л. Бродской.

Проверка прогнозных выводов проведена с помощью дезинтеграции руд электроимпульсным и валковым дроблением (АО "Механобр-Аналит") с последующей микроскопической оценкой раскряваемости шеелита при помощи бинокулярной лупы с люминесцентным осветителем ОИ-18 (СПГИ).

Влияние особенностей минералов на технологические показатели переработки оценены путем флотации мономинеральных фракций кальцийсодержащих минералов, отобранных под бинокуляром, совместно с эталонами сравнения во флотационной машине 189 ФЛ объемом камеры 50 мл (АО "Механобр-Аналит").

Для статистической обработки и интерпретации полученных данных использовались методы корреляционного, регрессионного и факторного анализов.

**Научная повизна работы.** На месторождении выделены три родные типы и разновидности руд и установлены три генерации шеелита с разными свойствами. Показаны особенности главных минералов руд и изменение кинетики флотации в зависимости от состава и структуры каждого из них. Впервые, для технологических целей применен стереометрический анализ, позволивший прогнозировать раскрытие сростков и классифицировать потери шеелита при рудоподготовке и обогащении, по результатам которого научно обоснована оптимальная крупность измельчения руд. В качестве критерия степени структурной неоднородности шеелита использован коэффициент вариации микротвердости. Впервые показано, что значительная часть конечных потерь шеелита в хвостах зарождается в начальной стадии рудоподготовки и вызвана типоморфными особенностями минералов.

**Практическая значимость.** Результаты работы включены в тематические отчеты Механобра и использованы Агадырской ГРЭ при подсчете запасов и составлении ТЭО.

Руды месторождения Северный Катпар могут идентифицироваться по выявленному автором сокращенному количеству признаков. Методики и результаты стереометрического анализа и исследования флотационных свойств породообразующих и рудных минералов могут быть использованы для руд других типов, создания основы оптимальных технологических схем и прогноза технологических показателей. Рекомендации по рудоподготовке дадут возможность сокращения операций измельчения, что приведет к существенному уменьшению энергозатрат, а следовательно, к оптимизации экономики обогащения.

**Апробация работы и публикации.** Результаты работы включены в отчеты: "Геолого-технологическое картирование руд месторождения Северный Катпар"(1992) и "Разработка методических рекомендаций по геолого-экономической оценке месторождений на ранних стадиях геолого-разведочных работ"(1993), а также представлены на международных симпозиумах "Комплексное использование руд" (С.-Петербург, 1996), "Крупные и уникальные месторождения редких и благородных металлов" (С.-Петербург, 1996), "Стратегия использования и развития минерально-сырьевой базы редких металлов России в XXI веке" (Москва, 1998) и опубликованы в журналах "Обогащение руд" (1995, 1998), "Горный журнал"(1997).

**Объем и структура работы.** Диссертация состоит из введения, 4 глав и заключения. Первая глава посвящена геологической характеристике месторождения Северный Катпар. Во второй главе приведена классификация руд с детальным рассмотрением особенностей выделенных природных типов и разновидностей, а также оценена возможность экспрессного распознавания руд по сокращенному количеству признаков. В третьей главе рассмотрены минералогические особенности руд месторождения Северный Катпар. Особое внимание уделено шеелиту: его минеральным ассоциациям, морфологическим особенностям, химическому составу, люминесценции, микротвердости, а также изучению породообразующих минералов, влияющих на технологию переработки руд. В четвертой главе приведены результаты исследования влияния вещественного состава руд на их технологические свойства. Методом стереометрического анализа сделан прогноз раскрываемости шеелита при дроблении и классификация его потерь, который затем подтвержден механическим и электроимпульсным дроблением. Изучены флотационные свойства шеелита и породообразующих минералов. Содержание диссертации иллюстрировано 42 рисунками, 23 фотографиями и 28 таблицами. Список литературы содержит 123 названия.

*За постоянное внимание, поддержку и помощь при выполнении работы автор выражает глубокую благодарность руководителю д.г.-м.п.,*

*проф. В.М.Изюитко. Автор благодарен д.г.-м.п., проф. Р.Л.Бродской за консультации и советы, а также д.г.-м.п., проф. Ю.Б.Марину, сделавшему ряд ценных замечаний по работе. Успешному проведению исследований способствовала плодотворная критика преподавателей кафедры минералогии, кристаллографии и петрографии СПГИ. Автор искренне признателен С.В.Петрову за помощь в работе и конструктивные советы.*

Основные результаты проведенных исследований могут быть представлены в виде следующих защищаемых положений:

1. На скарпово-грейзеновом месторождении Северный Катпар по вещественному составу выделены 3 природных типа и 4 разновидности руд, в которых установлены три генерации шеелита. От ранней генерации к поздним улучшается качество огранки кристаллов, упрощается их морфология, увеличиваются размеры выделений и снижается содержание повеллитовой составляющей, в связи с чем изменяется характер люминесценции, увеличивается микротвердость и степень однородности.

Выделенные природные типы и разновидности руд различаются скарпонасыщенностью и содержанием породообразующих минералов (кальцита, граната, флюорита, апофиллита). Основным промышленным компонентом является вольфрам, единственная минеральная форма которого в гипогенных рудах - шеелит, который формировался в течение всех стадий минералообразования и приурочен, главным образом, к флюоритизированным и апофиллитизированным гранатовым скарнам, до полного исчезновения в волластонитовых.

На основании размеров, морфологии выделений, взаимоотношений и характера границ с другими минералами, что нашло свое отражение в коэффициентах срastания и соотношении низкосимвольных и высокосимвольных граней, а также состава и физических свойств выделены три генерации шеелита (табл. 1).

Наиболее ранний скарповый шеелит 1 образует тонкую ксеноморфную редкую вкрапленность между зонами роста граната с преобладающим размером зерен менее 0.08 мм. Данный шеелит встречается, главным образом, с гранатом, окружен высокосимвольными гранями, концентрирует около 18% общих запасов вольфрама и наиболее богат молибденом в виде изоморфной примеси. Шеелит 2 генерации образовался в раннюю гидротермальную стадию, в виде округлых зерен со средним размером 0.12 мм, ассоциирующих в основном с флюоритом, и имеющих с ним наибольший коэффициент срastания. На долю шеелита 2 приходится около 35% запасов вольфрама. Шеелит 3 кристаллизовался в позднегидротермальную стадию вместе с апофиллитом в виде сравнительно крупных (0.15 мм) идиоморфных кристаллов с низкосимвольными гранями. Срastается преимущественно с апофиллитом. Его масса составляет около 47% всего вольфрама.

Таблица 1

## Особенности шеселитов разных генераций

Генера-ция шеселита	Доля от обще-го шеселита, %	Сред-ний размер зерен, мм	Главные минералы в сростаниях, %					Цвет люми-несцен-ции	Содер-жание $\text{MoO}_3$ , % **	Микротвердость	
			Гра-нат	Флю-орит	Апо-фил-лит	Каль-цит	Про-чие*			сред-нее, кг/мм	коэффи-циент ва-риации, %
1	18	0.08	75	6	9	6	3	Желто-белый	$\frac{5-17}{9}$	379	17.4
2	35	0.12	13	62	12	10	3	Бело-голубой	$\frac{2-4}{3}$	410	16.8
3	47	0.15	15	7	68	4	6	Голу-бой	$\frac{0-2}{1}$	416	12.8
Среднее		0.12	34	25	29	6	4		$\frac{0-17}{3}$	402	15.7

\* Воластонит, пироксен, везувин, сульфиды и др.

\*\* В числителе - пределы колебаний, в знаменателе - среднее.

Анализ нормативного гранулометрического состава или гистограмм распределения хорд в случайных сечениях минеральных зерен при изучении руд с помощью стереометрического анализа выявил наличие трех гранулометрических групп зерен шеселита (рис.1), что подтверждает минералогические данные о присутствии собственно скарно-вой и гидротермальных разновидностей.

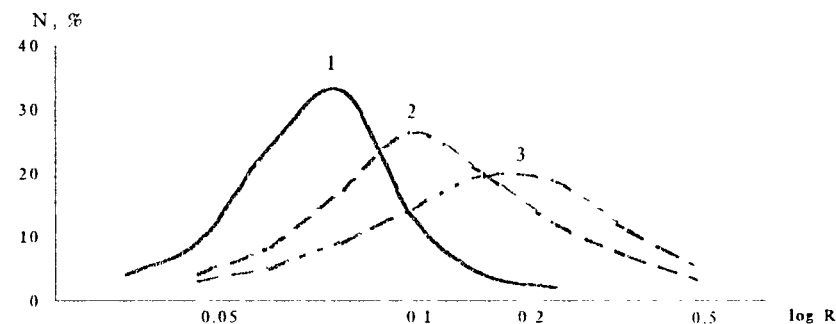


Рис. 1 Распределение шеселита по размерам зерен.

Одновременно с оценкой формы случайных сечений зерен шеселита и характера поверхности его границ с использованием аппарата разложения Фурье проводился визуальный кристалломорфологический анализ зерен шеселита, позволяющий идентифицировать грани призмы, базопинакоида и тетрагональной дигипризмиды. Эти грани, как правило, "гладкие". Доля низкосимвольных граней возрастает от ранней генера-

ции шеелита к поздним с убыванием в этом направлении роли шпика (001), что полностью подтверждает минералогические данные.

Единственной примесью является молибден, отражающий температуру отложения минерала и металлогеническую специфику месторождения.

По цвету люминесценции шеелит 1 желто-белый, относительно однородный. Гидротермальные шеелиты 2 и 3 - голубые и белые, изредка встречается ярко-голубой. При увеличениях  $200\times$  отмечается неоднородность поздних шеелитов, выражающаяся в присутствии тонких (единицы микро) зон белого или голубого цвета. Эта неоднородность связана с длительностью и многостадийностью отложения шеелита при многократном поступлении растворов различными содержаниями  $\text{MoO}_3$ , перекристаллизацией шеелита 1 и 2 отложением шеелита 3. Электронномикроскопические исследования в сочетании с катодолюминесцентным анализом позволили расширить и уточнить имеющуюся информацию о внутреннем строении кристаллов шеелита и подтвердили существенные колебания в содержании  $\text{MoO}_3$ .

Содержание молибдена в шеелите увеличивается одновременно количеством его сростаний с гранатом (рис. 2), что объясняется более высокими температурами образования, при которых изоморфность шеелита возрастает. Для шеелитов 2 и 3 наблюдается противоположная зависимость между содержанием Mo и количеством сростков первого флюоритом и карбонатом, а шеелита 3 - с анофиллитом, свидетельствующая об уменьшении поделитовой составляющей по мере снижения температуры и длительности метасоматических процессов.

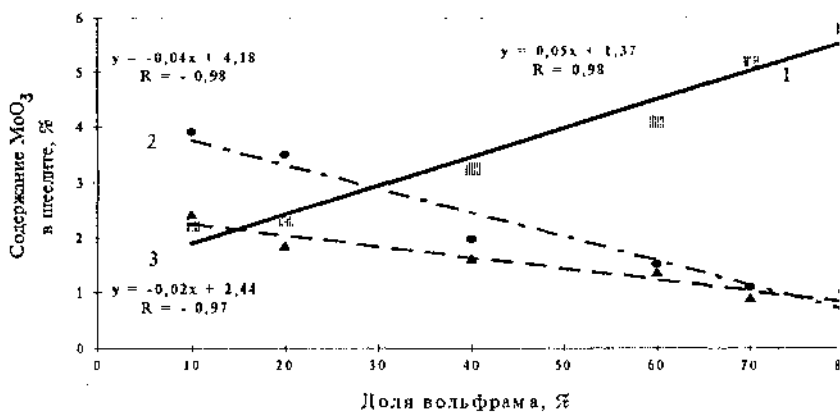


Рис. 2 Зависимости между содержаниями молибдена в шеелите разных генераций и долей вольфрама, связанной с этими генерациями.



Таким образом, количественное соотношение генераций и химический состав шеелита зависят от степени постскарновой проработки: чем она интенсивнее, тем меньше в рудах доля шеелита 1 и содержание в нем молибдена (рис. 2). Шеелиты 2 и 3 не только маломолибденные, но и всегда окружены каймой 4-8 мкм, не содержащей молибдена.

Измерение микротвердости выявило существенные различия между шеелитами разных генераций: наименее твердые принадлежат к ранней (скарновой) генерации, а наиболее твердые - к поздней, что объясняется разницей в составе и подтверждает установленные О.В.Кононовым для месторождения Тырылауз закономерности уменьшения твердости по мере увеличения количества молибдена в шеелите. Коэффициент вариации микротвердости, наоборот, уменьшается от ранней генерации к поздней, что свидетельствует об увеличении однородности строения шеелита.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено наличие трех генераций шеелита, различающихся ассоциацией, морфологией и размерами выделений, составом и физическими свойствами.

2. Для технологической оценки месторождения не менее важное значение, чем шеелит имеют главные нерудные минералы (кальцит, флюорит), так как они также представлены несколькими генерациями, различающимися ассоциацией, морфологией и размерами выделений, составом и физическими свойствами.

Наибольшее влияние на технологию переработки шеелитовых руд оказывают карбонаты и флюорит.

Наиболее широко распространен белый кальцит 1 известняков и мраморов, с незначительными примесями железа и магния. Его содержание максимально в карбонатной разновидности руд и минимально - во флюоритовой. Микротвердость кальцита 1 составляет 160 кг/мм с коэффициентом вариации 17% (табл. 2). Гидротермальные кальциты 2 и 3 в измененных скарнах различаются между собой по цвету, показателям преломления, морфологии выделений и количеству примесей и имеют розовый цвет люминесценции. Кальцит 2 бурый за счет присутствия марганца от 2-3 до 5-8 % (среднее 4.6%), в связи с чем он условно назван марганецсодержащим. Цвет катодолюминесценции - ярко оранжевый. Кальцит 3 бесцветный и по количеству примеси марганца занимает промежуточное положение между кальцитами 1 и 2 (1.3%).

Флюорит присутствует во всех типах руд с максимальным содержанием во втором. Выделяются две его разновидности: 1 - преимущественно бесцветный, развит во втором типе руд, 2 - фиолетовый характерен для третьего типа руд. Флюориты имеют дефектную структуру с размерами элементарной ячейки 5.4626 Å. Из элементов-примесей основное значение имеют редкие земли, содержание которых во

Таблица 2

## Характеристика флюоритов и кальцитов

Параметры		М и н е р а л ы				
		Кальцит 1	Кальцит 2	Кальцит 3	Флюорит 1	Флюорит 2
Характеристика агрегатов		Средне-крупнокристаллические	Мелкокристаллические розетковидные включения в гранате	Мелкокристаллические прожилки	Мелкокристаллические прожилки и гнезда	
Цвет		Белый до серого	Бурый	Бесцветный, белый	Бесцветный, слабо окрашенный	Фиолетовый разных оттенков
Размер зерен, мм		2-10	0.5-1	0.1-2	1-2	2-3
Показатели преломления	n				1.4338	1.4338
	n <sub>o</sub>	1.658	1.671	1.661		
	n <sub>e</sub>	1.486	1.509	1.487		
Цвет фотолюминесценции		Фиолетовый разных оттенков	Розовый разных оттенков		Яркий фиолетовый	
Цвет катодолюминесценции		Темнокрасный до бардового	Ярко-оранжевый	Красный	Фиолетовый	
Примеси (мас.%) <sup>*</sup>	∑ TR	н.о.	н.о.	н.о.	0.00	0.23
	MnCO <sub>3</sub>	0.0	4.6	1.3	н.о.	н.о.
	FeCO <sub>3</sub>	0.1	0.2	0.1	н.о.	н.о.
Микротвердость, кг/мм <sup>**</sup>		<u>125-210</u>		<u>75-113</u>	<u>153-252</u>	<u>125-172</u>
		160	н.о.	93	199	149
Коэффициент вариации микротвердости, %		17	н.о.	9	14	7

\* Аналитик М.В.Заморянская.

\*\* В числителе - пределы колебаний, в знаменателе - среднее.

флюорите 1 меньше предела определения метода ( $<0.02$  мас.%), во флюорите 2 - 0.23 мас.%. Также они различаются термолюминесценцией, микротвердостью (флюорит 1 - 198 кг/мм, флюорит 2 - 148 кг/мм) и коэффициентами ее вариации (14 и 7% соответственно), свидетельствующими о большей однородности последнего.

Таким образом, от ранней генерации флюорита к поздней увеличивается интенсивность окраски, количество примесей, степень однородности и уменьшается термолюминесценция и микротвердость.

Сравнение флюоритов Северного Катнара и других месторождений (скарновых, скарново-грейзеновых и грейзеновых) выявило их различия по цвету, размерам зерен, составу, параметрам элементарной ячейки, люминесценции, микротвердости и степени однородности. Выявлено, что степень однородности образует сильные положительные связи с редкоземельными элементами.

3. Типоморфные особенности шеелита и ассоциирующих с ним перурдных минералов оказывают неодинаковое влияние на разные стадии технологического процесса и позволяют с высокой степенью вероятности прогнозировать технологические показатели обогащения. Значительная часть конечных потерь прогнозируется на начальных стадиях переработки руды и увеличивается по мере технологического воздействия на нее

При технологической оценке скарново-грейзеновых руд важнейшими параметрами являются: морфологические особенности шеелита (размеры, форма кристаллов, их внутреннее строение) и минеральных ассоциаций. При этом их влияние в разной степени распространяется на многие операции переработки руд, главные из которых - рудоподготовка (дезинтеграция руд с целью полного раскрытия рудных минералов) и флотационное обогащение.

Для прогнозирования раскрываемости шеелита при дроблении использован стереологический анализ, позволивший установить, что для гидротермального шеелита (2 и 3 генераций) характерны преимущественно низкосимвольные грани с низкой энергоемкостью, легко высвобождающиеся при дезинтеграции, а для скарнового шеелита 1 - высокосимвольные грани, обладающие высокой энергоемкостью и соответственно в процессе дробления в значительной мере остающегося в сrostках (табл. 3). Для определения потерь, связанных с шеелитом 1 генерации, устанавливался процент длины низкосимвольных граней (призмы, дипирамиды и отдельно пинаконда) от общего периметра контура зерен. Сопоставление периметра зерна с результатом морфологического анализа контура зерен показывает, что до 70% шеелита 1 остается в сrostках, что составляет около 13% от общих запасов вольфрама.

Поскольку, при реальном обогащении на дезинтеграцию поступает руда, в которой присутствует несколько генераций шеелита,

был сделан прогноз раскрытия сростков для выделенных природных разновидностей (карбонатной, гранатовой, флюоритовой и апофилилитовой). Доля тонкой вкрапленности шеелиита (класс < 0.04 мм), плохо отделяющейся от нерудных минералов, и шеелиита с высокосимвольными границами пропорциональны содержанию шеелиита и уменьшается в ряду гранатовая → флюоритовая → карбонатная → апофилилитовая разновидности. Соответственно в этом направлении улучшаются результаты дробления, т.е. хуже всего при дезинтеграции будет раскрываться шеелиит гранатовой разновидности (табл. 3) независимо от времени измельчения.

Для проверки прогнозных данных проводилось дробление штуфных проб двумя способами: электронимпульсным, позволяющим наиболее полно раскрывать минералы без их переизмельчения, и традиционным, широко применяемым - механическим дроблением на валах. Анализ полученных результатов подтвердил прогнозные данные минералогических исследований и позволил сделать следующие выводы.

• Раскрываемость шеелиита улучшается от ранних генераций к поздним и от скарновых руд к апофилилитовым (табл. 3), при этом количество сростков шеелиита с гранатом значительно уменьшается в соответствии с коэффициентом срастания в руде.

Таблица 3

Морфология шеелиита и прогноз его раскрываемости при дроблении

Разновидности руд	Доля генераций шеелиита, %			Средний размер, мм	Доля поверхностей с границами, % *		Доля шеелиита, %		Количество шеелиита в сростках, %	
	I	II	III		НС	ВС	<0.04 мм	>0.04 мм с ВС	прогнозное **	фактическое ***
Карбонатная	34	42	24	0.11	60	40	18	22	<u>40</u> 38	<u>20</u> 34
Гранатовая	62	18	20	0.10	47	53	36	25	<u>61</u> 53	<u>38</u> 58
Флюоритовая	24	44	32	0.12	66	34	17	19	<u>36</u> 34	<u>20</u> 31
Апофилилитовая	10	10	80	0.13	85	15	12	6	<u>18</u> 15	<u>11</u> 21

\* Грани с низкими символами (НС), высокими (ВС).

\*\* В числителе значения с учетом количества тонкозернистого шеелиита, в знаменателе - без учета.

\*\*\* В числителе результаты электронимпульсного дробления, в знаменателе механического.

• Количество нераскрытых после дробления сростков увеличивается пропорционально числу высокосимвольных поверхностей. При механическом дроблении абсолютное содержание этих сростков для всех типов руд примерно на 10 % выше, чем при электронимпульсном (табл. 3), что обусловлено принципиальными различиями этих методов

• Прогнозное количество шеелита в сростках ближе к фактическим данным механического способа дробления, так как при электроимпульсном раскрывается даже часть шеелита с высокосимвольными гранями. На результаты обоих способов отрицательно влияет содержание тонкой вкрапленности шеелита ( $<0.04$  мм) и доля высокосимвольных граней.

Таким образом, основная часть потерь шеелита в хвостах обогащения зарождается еще на стадии рудоподготовки, обусловлена неполнотой раскрытия шеелита и связана с его ранней скарповой генерацией, ограниченной высокосимвольными гранями и образующей сростки с гранатом. Шеелит поздних генераций, граничащий с зернами флюорита, кальцита, апофиллита и характеризующийся в основном низкосимвольными гранями, вскрывается достаточно полно при дроблении до 1 мм. Основные потери шеелита в сростках максимальны для гранатовой разновидности руд и минимальны - для апофиллитовой.

Важной особенностью скарно-грейзеновых шеелитовых руд, влияющей на результаты их флотации, кроме особенностей самого шеелита, является присутствие близких по свойствам и легко флотирующихся пороодообразующих минералов. Для оценки этого влияния были отобраны мономинеральные фракции и изучены флотационные свойства основных кальцийсодержащих минералов месторождения Северный Катнар: шеелита, содержащего 4.7%  $MoO_3$ , кальцита, флюорита, граната, волластонита и апофиллита. В качестве эталонов сравнения использовались хорошо изученные шеелиты месторождений: Ингычке (0.05%  $MoO_3$ ), Чорух-Дайрон (0.6%), Тырныауз (2.5%), синтетический (0%) и флюориты месторождений: Забытое, Абагай, Тырныауз, Кличкинское, Солонечное и синтетический.

Анализ результатов флотации минералов месторождения Северный Катнар (рис. 3) позволил сделать следующие выводы.

• Основная масса всех минералов флотируется в течение 0.5 минуты, дальнейшая динамика флотации различна для каждого из них.

• По убыванию флотационных свойств выделены 3 группы минералов: карбонаты и флюориты  $\rightarrow$  шеелит  $\rightarrow$  силикаты, что объясняется их кристаллохимическими особенностями (ионами, выходящими на поверхность при дезинтеграции).

• Характер кинетических кривых флотации шеелита, флюорита и кальцита свидетельствует о наличии нескольких генераций этих минералов.

Для других месторождений рядом исследователей установлено ухудшение результатов флотации шеелита в зависимости от его состава. Проведенные автором опыты подтвердили зависимость скорости флотации шеелита от количества в нем молибдена: чистый и маломолибденный шеелиты извлекаются практически сразу, содержащий 0.6%  $MoO_3$  - в течение минуты, а остальные - на протяжении 1.5 минут, причем кинетика флотации шеелита Северного

Катнара с максимальным содержанием молибдена значительно ниже по сравнению с шеслитом Тырнауза.

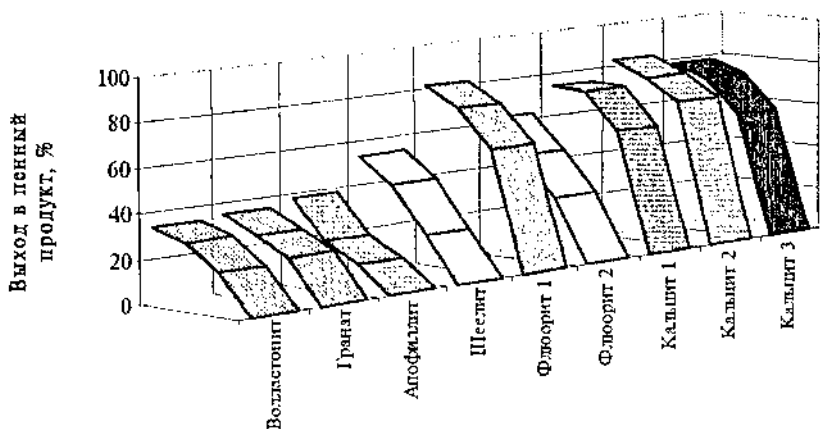


Рис. 3 Кинетика флотации кальцийсодержащих минералов месторождения Северный Катнар.

Специальные технологические опыты показали, что кроме состава шеслита на результаты флотации существенное влияние оказывает габитус его кристаллов и механические свойства. Потери в хвостах флотации наследуются от рудоподготовки: возрастают при увеличении количества зерен, ограниченных высокосимвольными поверхностями, более энергоемкими “шероховатыми”, плохо отделяющимися при дроблении от граната и ведущими себя аналогично последнему при флотации. Минимальная микротвердость и максимальный коэффициент ее вариации свидетельствуют о высокой структурной неоднородности шеслита, что приводит к возрастанию количества пыли при измельчении, а следовательно и потерь. Вышеперечисленные характеристики неодинаковы для разных генераций и технологические свойства шеслита улучшаются от ранней генерации к поздним.

Из породообразующих минералов на технологические показатели обогащения наибольшее влияние будут оказывать карбонаты и флюориты. Выделенные при минералогическом изучении руд разные генерации этих минералов, характеризующиеся различной морфологией, цветом, ассоциацией, составом и физическими свойствами, по-разному ведут себя и в технологическом процессе.

Различия в химическом составе гидротермальных карбонатов и кальцита мраморов определяют разную флотированность этих минералов, как во время основной шеслитовой флотации, так и при пропарке с

жидким стеклом. Кальцит мраморов легче растворяется с образованием гидрофильных комплексов на поверхности частиц, поэтому хорошо подавляется жидким стеклом и не флотируется во время доводки в отличие от гидротермальных кальцитов, которые вследствие примеси марганца труднее подавляются жидким стеклом и попадают в конечный концентрат при доводочной флотации (особенно кальцит 2). Таким образом, с увеличением в рудах доли марганецсодержащего кальцита ухудшится качество концентрата, и, несмотря на хорошую раскрываемость шеелита при дроблении карбонатной разновидности руд, конечные показатели переработки будут занижены.

Флюориты месторождения Северный Катпар, характеризующиеся высокой естественной флотируемостью, неодинаково ведут себя при флотации: фиолетовый, в связи с примесью редких земель извлекается хуже по сравнению с бесцветным, поэтому их соотношение в рудах будет влиять на результаты обогащения. Сравнительная характеристика флюоритов других месторождений с различными содержаниями  $\Sigma TR$  подтверждает сделанный вывод: выход флюоритов в пенный продукт зависит от примеси редких земель в них, причем это влияние значительно возрастает при содержаниях  $\Sigma TR$  более 0.1 мас. % (рис. 4).

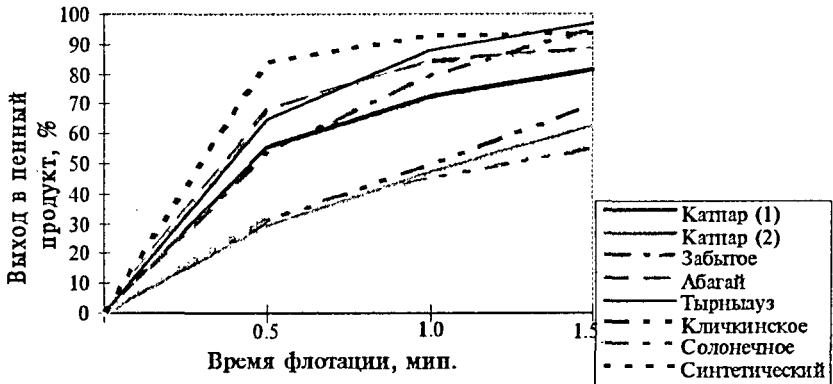


Рис. 4 Кинетика флотации флюоритов.

Лабораторные технологические испытания руд подтвердили выявленные закономерности. Руды, различающиеся особенностями минерального состава, в условиях одной технологической схемы обогащаются неодинаково и доля каждого природного типа существенно влияет на технологические показатели, т.е. природные типы можно считать технологическими сортами. Более легкообогатимы руды флюоритовой и апофиллитовой разновидностей, содержащие хорошо раскристаллизованный, легко раскрывающийся при дроблении шеелит с незначительными содержаниями молибдена, и имеют близкие технологические показатели, менее — гранатовой и карбонатной.

Характеристики последней в конечном концентрате значительно ниже, что связано с высоким содержанием марганецсодержащего кальцита и невозможностью его отделения.

Таким образом, технологические свойства руд месторождения Северный Катпар определяются особенностями шеелита и близких по свойствам легкофлотирующихся минералов.

Предложенная методика изучения влияния вещественного состава руд месторождения Северный Катпар на их технологические свойства позволяет прогнозировать конечные показатели обогащения и может быть применена для других месторождений.

**По теме диссертации опубликованы следующие работы:**

1. Исследование типоморфных и технологических свойств шеелита месторождения Северный Катпар с помощью стереометрического анализа // Обогащение руд - 1995 - №1 - С. 27-32 (соавторы В.М.Изонтко, Р.Л.Бродская, С.В.Петров).

2. Исследование кальцийсодержащих минералов с целью комплексного использования шеелитовых руд // Проблемы комплексного использования руд. Тез. докл. 2-го Международного симпозиума, С. Петербург, 1996, С. 53-54.

3. Технологическая оценка редкометаллических проявлений Центрального Казахстана // Крупные и уникальные месторождения редких и благородных металлов. Тез. докл. Международного симпозиума, С.-Петербург, 1996, С. 70-71 (соавтор - С.В.Петров).

4. Влияние типоморфных особенностей шеелитов на их технологические свойства (месторождение Северный Катпар) // Горный журнал - 1997 - №4 - С. 18-20 (соавтор - В.М.Изонтко).

5. Технологическое значение типоморфизма минералов (на примере месторождения Северный Катпар) // Обогащение руд - 1998 №5 - С. 28-33 (соавтор - В.М.Изонтко).

6. Редкие земли во флюоритах в связи с особенностями их обогащения // Стратегия использования и развития минеральной сырьевой базы редких металлов России в XXI веке. Тез. докл. Международного симпозиума, Москва, 1998, С. 270-271.

